



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

HENRIQUE ELIAS PESSOA GUTIERRES

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
GEOMORFOLÓGICOS A PARTIR DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL
DAS BARRAGENS DE SERRO AZUL E IGARAPEBA NO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

Recife

2019

HENRIQUE ELIAS PESSOA GUTIERRES

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
GEOMORFOLÓGICOS A PARTIR DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL
DAS BARRAGENS DE SERRO AZUL E IGARAPEBA NO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, na área de concentração de Dinâmica das paisagens naturais e ecossistemas, linha de pesquisa em Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas – como requisito para obtenção do Título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Regionalização e análise regional.

Orientador: Profº. Dr. Osvaldo Girão da Silva

Recife
2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves Silva, CRB4-1260

G984p

Gutierrez, Henrique Elias Pessoa.

Proposta Metodológica para a avaliação dos impactos geomorfológicos a partir dos estudos de impacto ambiental das barragens de Serro Azul e Igarapeba no Estado de Pernambuco / Henrique Elias Pessoa Gutierrez. – 2019.

315f. : il.; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.

Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2019.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Barragens – Segurança e Inundações - Represas. 3. Geomorfologia - Ambiental. 4. EIA - Documento técnico. 5. Objeto de exame - Documento de verificação. I. Silva, Osvaldo Girão da (Orientador). II. Título.

910 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2020-030)

HENRIQUE ELIAS PESSOA GUTIERRES

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
GEOMORFOLÓGICOS A PARTIR DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL
DAS BARRAGENS DE SERRO AZUL E IGARAPEBA NO ESTADO DE
PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em geografia.

Aprovado: 13/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Alberto de Freitas Castro Fonseca (Examinador Externo)

Universidade Federal de Ouro Preto

Profº. Dr. Antonio José Teixeira Guerra (Examinador Externo)

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Profº. Dr. Alcindo José de Sá (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter permitido eu viver mais essa etapa da minha vida de muito aprendizado;

Ao meu filho (Pedro Henrique) e a minha esposa (Silvana Barros), pela convivência diária, aturando as aflições e sendo fontes de alegria para a minha vida;

À minha mãe (Vera Pessoa), meu padrasto Valdilan Antão de Brito - “Dila” e ao meu irmão Heitor Brito, por toda uma vida de dedicação, amor, atenção e ajuda, principalmente nos meses de conclusão da tese;

Ao professor Osvaldo Girão, por toda dedicação, presteza e atenção ao longo do tempo de orientação, permitindo que fosse possível a conclusão da tese;

Ao professor Antonio José Teixeira Guerra, por ter aceitado o convite e pelas valiosas contribuições para a melhoria do trabalho;

Ao professor Alberto Fonseca, pela atenção em ter aceitado o convite e as contribuições para o aperfeiçoamento do trabalho;

Ao professor Lucas Cavalcanti pelas palavras de incentivo e as contribuições na qualificação, bem como na defesa final;

Ao professor Alcindo José de Sá, por ter aceitado o convite e pelas contribuições na defesa final;

Ao professor Antônio Carlos de Barros Corrêa, pela atenção nos seis primeiros meses como orientador e pelas contribuições na qualificação;

À coordenação do PPGEQ, especialmente aos técnicos Eduardo Vêras e Pablo Gomes, pelo apoio e atendimento constante ao longo desses quatro anos;

À família Barros (Ivanise – sogra, Débora e Binho – cunhados e os sobrinhos e sobrinhas) pelo apoio e incentivo;

À família Leal, especialmente a tia Maria Leal e a prima Márcia Leal, pelas receptividade e o acolhimento;

Aos colegas da turma 2016 do Mestrado/Doutorado pelas conversas e a grata convivência com todos;

Aos técnicos da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos do estado de Pernambuco, Pedro Cavalcanti e Jupira Aguiar, essenciais na viabilização das atividades de campo e para a obtenção da documentação das duas barragens;

À Carlos Bispo, pela ajuda no trabalho de campo (abril/2018), pelas conversas, pela prestatividade e pela parceria acadêmica;

À Carla Suelânia, pela análise laboratorial e conversas;

Aos colegas do ANTROPOGEO/UFPE, especialmente Carla Suelânia, Leandro Diomério, Wemerson Flávio e Caio Lima;

Um agradecimento especial aos que me acompanharam e contribuíram diretamente na etapa de campo: Pedro Cavalcanti, Jupira Aguiar, Osvaldo Girão e Carla Suelânia (agosto/2017), Diego Nunes Valadares (dezembro/2017); Carlos de Oliveira Bispo (abril/2018), André Luis Moutinho (agosto/2018 e abril/2019); Valdilan Antão de Brito- “Dila” (outubro/2019).

À Isaack Veder, pela ajuda cartográfica;

Aos colegas de trabalho do Departamento de Geociências da UFPB e a UFPB pelo meu afastamento;

À equipe de operadores e de segurança da Barragem Serro Azul (seu Severino, Ailton, Isaías Felix, José Clécio Alves, Leonardo Torres e Rafael), pela receptividade sempre calorosa e por todo o apoio ao longo das atividades de campo;

À bibliotecária da CPRH, Maria Madalena Barbosa de Albuquerque, que disponibilizou os EIAs digitais e a consulta ao acervo impresso na sede da SEMAS-PE;

E todas as pessoas que contribuíram e fazem parte da minha vida...

Obrigado, obrigado e obrigado de novo!!!

RESUMO

A construção de barragens resulta em diversos impactos nos meios (físico, biológico e antrópico), tanto a montante como a jusante. É comum o entendimento de que as barragens representam um tipo de empreendimento que gera sérias intervenções no relevo no momento da construção (instalação), por meio de cortes, aterros, exploração de jazidas de materiais pétreos e terrosos, abertura de vias, impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal e criação de novas dinâmicas processuais e morfologias, e que o relevo é um dos fatores determinantes para a localização de uma barragem e o seu reservatório. Para se iniciar a construção dessas grandes obras de engenharia, é necessário recorrer ao licenciamento ambiental, com a consequente elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA). A presente tese tem o objetivo de apresentar uma proposta metodológica de auditoria geomorfológica de EIAs de barragens, contemplando as etapas de elaboração, análise e gestão ambiental, tendo como áreas de estudo duas barragens, localizadas na Mata Sul do estado de Pernambuco. As barragens encontram-se em municípios diferentes (Igarapeba em São Benedito do Sul e Serro Azul em Palmares), porém na mesma bacia hidrográfica (do rio Una), integrando o Sistema de Contenção de Enchentes da Bacia Hidrográfica do rio Una, de iniciativa do governo do estado de Pernambuco. O trabalho fez uso do método sistêmico, tendo contemplado a pesquisa bibliográfica, o levantamento e a pesquisa documental de fontes primárias, trabalhos de campo e análise laboratorial. A aplicação da proposta de auditoria geomorfológica de EIAs de barragens demonstrou a ampla possibilidade da sua utilização, servindo como parâmetro para a análise técnica do órgão ambiental licenciador, contemplando as três etapas (planejamento, instalação e operação), permitindo confrontar aquilo que foi escrito no EIA e o que de fato é observado *in loco* e na literatura técnico-científica. Na aplicação da auditoria voltada para a gestão ambiental do empreendimento, é fundamental a avaliação da implementação das recomendações e condicionantes para as fases de instalação e operação. O uso da auditoria ambiental enquanto instrumento facilitador do acompanhamento dos impactos geomorfológicos, da implementação das medidas mitigadoras e dos programas de monitoramento, presentes num determinado Estudo de Impacto Ambiental de barragem, é fundamental para o aprimoramento do licenciamento ambiental e a otimização de uma gestão ambiental, especialmente quando se trata de uma obra pública, como são os dois casos analisados neste trabalho.

Palavras-chave: Barragens. Geomorfologia. Estudo de Impacto Ambiental. Auditoria geomorfológica.

ABSTRACT

The construction of dams results in several impacts on the environment (physical, biological and anthropic), both upstream and downstream. It is common to understand that dams represent a type of undertaking that generates serious relief interventions at the time of construction (installation), through cuts, embankments, exploration of deposits of stone and earthen materials, opening of roads, soil sealing, removal of the vegetation cover and creation of new process dynamics and morphologies, and that the relief is one of the determining factors for the location of a dam and its reservoir. In order to start the construction of these major engineering works, it is necessary to resort to environmental licensing, with the consequent elaboration of the Environmental Impact Study (EIS). This thesis aims to present a methodological proposal for the geomorphological audit of dams EISs, contemplating the stages of elaboration, analysis and environmental management, having as study areas two dams, located in the Southern Forest of Pernambuco State. The dams are located in different municipalities (Igarapeba in São Benedito do Sul and Serro Azul in Palmares), but in the same river basin (of the Una River), integrating the Flood Containment System of the Una River Basin, initiated by the Government of the state of Pernambuco. The work made use of the systemic method, having contemplated the bibliographical research, the survey and the documentary research of primary sources, fieldwork and laboratory analysis. The application of the proposed geomorphological audit of dam EIS demonstrated the wide possibility of its use, serving as a parameter for the technical analysis of the licensing environmental agency, contemplating the three steps (planning, installation and operation), allowing to confront what was written in EIS and what is actually observed on the spot and in the technical-scientific literature. In the application of the audit focused on the environmental management of the enterprise, it is essential to evaluate the implementation of the recommendations and conditions for the installation and operation phases. The use of environmental auditing as a facilitating instrument for the monitoring of geomorphological impacts, the implementation of mitigation measures and monitoring programs, present in a given dam Environmental Impact Study, is fundamental for the improvement of environmental licensing and the optimization of environmental management, especially when it is a public work, as are the two cases analyzed in this work.

Keywords: Dams. Geomorphology. Environmental Impact Study. Geomorphological audit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma simplificado das etapas de elaboração de um EIA/RIMA a partir da prática da realidade brasileira	36
Figura 2 – Principais etapas do processo de Avaliação de Impacto Ambiental com destaque para a etapa de auditoria.....	59
Figura 3 – Monitoramento e auditoria no processo de AIA.....	61
Figura 4 – Principais etapas a serem observadas pela auditoria ambiental (em destaque, as de responsabilidade do licenciador; as demais, de responsabilidade do empreendedor).....	62
Figura 5 – Relações entre o ambiente geomorfológico e o homem.....	71
Figura 6 – Fluxograma resumido da trajetória metodológica adotada no desenvolvimento do trabalho	89
Figura 7 – Imagem de satélite mostrando os pontos de coleta de solo na área da barragem de Serro Azul.....	105
Figura 8 – Imagem de satélite mostrando os pontos de coleta de solo na área da barragem de Igarapeba	106
Figura 9 – Amostras de solo coletadas nas barragens de Igarapeba e Serro Azul.....	107
Figura 10 – Procedimentos da análise granulométrica das amostras de solos coletadas	108
Figura 11 – Ilustração que mostra onde serão implantadas as barragens do Sistema de Contenção de Enchentes da Bacia Hidrográfica do rio Una.....	111
Figura 12 – Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Una	113
Figura 13 – Situação do estágio das obras da barragem de Igarapeba em 24 de agosto de 2017 e o fluxo do rio Pirangi	116
Figura 14 – Situação do estágio das obras da barragem de Igarapeba em 22 de dezembro de 2017, com a área do barramento no primeiro plano e área a montante na parte superior da foto.....	116
Figura 15 – Mapa da ADA da Barragem Igarapeba	117
Figura 16 – Planos de Controle Ambiental estabelecidos no EIA da barragem de Igarapeba.....	130
Figura 17 – Modelo digital do terreno de São Benedito do Sul	134
Figura 18 – Visão ampliada do trecho do futuro barramento da barragem de Igarapeba a montante da comunidade, que se encontra na margem direita do rio Pirangi (lado esquerdo da foto)	135

Figura 19 – Trecho do futuro barramento da barragem de Igarapeba a montante da comunidade, que se encontra na margem direita do rio Pirangi (lado esquerdo da foto).....	135
Figura 20 – Presença de residências nas margens do rio Pirangi, a jusante da futura barragem de Igarapeba, no distrito de mesmo nome.....	136
Figura 21 – Área da ombreira da barragem com a ocorrência de processos erosivos (ravinas), situada na margem direita do rio Pirangi.....	137
Figura 22 – Processo erosivo na margem direita do rio Pirangi, logo após o trecho onde será feito o barramento	137
Figura 23 – Ombreira direita com o manto de intemperismo exposto (setas azuis), sendo afetado por processo erosivo, resultando em alcovas de regressão e deposição de sedimentos no leito do rio Pirangi (seta vermelha).....	138
Figura 24 – Evolução da erosão na margem direita do rio Pirangi, a montante da área do Distrito de Igarapeba, evidenciando-se a presença de trilha e de despejo de esgoto doméstico	139
Figura 25 – Registro temporal (dezembro/2017 a abril/2019) na mesma área, a jusante do futuro barramento e a montante das moradias, com destaque para o asfalto utilizado pela obra da barragem.....	140
Figura 26 – Visão ortogonal demonstrando o relevo da área da barragem de Igarapeba (seta vermelha) e o distrito de Igarapeba a jusante do barramento (seta amarela).....	141
Figura 27 – Diagrama triangular detalhado para determinação das classes texturais das amostras de solo da barragem de Igarapeba.....	143
Figura 28 - Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 1ME.....	144
Figura 29 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 2EM.....	144
Figura 30 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 3ESH1.....	145
Figura 31 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 4ESH2.....	145
Figura 32 – Mapa da ADA da Barragem Serro Azul.....	152

Figura 33 – Panorama das alterações na morfologia da área da barragem Serro Azul decorrentes da etapa de construção	152
Figura 34 – As águas do Rio Una invadindo a cidade de Palmares – junho/2010 (a) e queda de parte da ponte sobre o rio Una, na cidade de Barreiros – junho/2010 (b).....	165
Figura 35 – Visualização do relevo colinoso à montante da área da barragem de Serro Azul	166
Figura 36 – Terraço fluvial do Rio Una em área próxima ao eixo principal da barragem...	167
Figura 37 – Mapeamento geomorfológico da barragem de Serro Azul, localizada no município de Palmares-PE.....	169
Figura 38 – Trecho do rio Una, à jusante da barragem Serro Azul, abaixo da ponte de acesso com evidências de sedimentação na sua margem direita.....	171
Figura 39 – Trecho da margem direita do rio Una, à jusante da barragem Serro Azul, após a ponte de acesso com evidências de extração ilegal de areia	172
Figura 40 – Evidências de ravinamentos e um escorregamento na encosta localizada na margem esquerda do reservatório próximo ao barramento	173
Figura 41 – Uma visão geral (com a barragem ao fundo) demonstra a existência de diversas áreas com solo exposto, sendo um facilitador para a ocorrência dos processos erosivos	173
Figura 42 – Uma visão geral da margem direita do reservatório demonstra a existência de diversas áreas com solo exposto, sendo um facilitador para a ocorrência dos processos erosivos	174
Figura 43 – As duas imagens retratam o mesmo local da barragem de Serro Azul, no mês de abril (a foto da esquerda em 2018 e a da direita em 2019)	175
Figura 44 – Imagens retratam a área junto ao paredão da barragem, sendo evidenciada a diferença no nível d'água na imagem (a) em relação à imagem (b)	176
Figura 45 – Visão do reservatório de Serro Azul, a partir da barragem auxiliar, mostrando um nível d'água mais baixo	176
Figura 46 – Diagrama triangular detalhado para determinação das classes texturais das amostras de solo da barragem de Serro Azul.....	178
Figura 47 - Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 1MEAP	179

Figura 48 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 2MDAP.....	180
Figura 49 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 3MEPP.....	180
Figura 50 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 4MDPP	181
Figura 51 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 5MDV2.....	181
Figura 52 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 6VIT	181
Figura 53 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 7VIME.....	182
Figura 54 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 8MER1	182
Figura 55 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 9MER2	183
Figura 56 – Destaque da declividade da voçoroca 1 na margem direita do reservatório; indícios de deposição dos sedimentos oriundos da voçoroca e o consequente assoreamento do lago da barragem Serro Azul.....	186
Figura 57 – Estaqueamento da voçoroca 1 na margem direita do reservatório da barragem Serro Azul, Palmares-PE	187
Figura 58 – Medições sendo realizadas para preparação do estaqueamento da voçoroca 2 na margem direita do reservatório da barragem Serro Azul, Palmares-PE	188
Figura 59 – Voçoroca estaqueada para o monitoramento	188
Figura 60 – Mapa de distribuição da elevação do terreno na área da Barragem Serro Azul	189
Figura 61 – Mapa de distribuição da declividade da barragem Serro Azul	190
Figura 62 – Visão ortogonal demonstrando o relevo da área da barragem Serro Azul e o distrito de Serro Azul (destacado em vermelho) a jusante do barramento	191
Figura 63 – Mapa das áreas de susceptibilidade à erosão da barragem Serro Azul	192

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Países e os respectivos anos de introdução da AIA, em nível federal e por meio de instrumentos legais, com destaque para o Brasil	27
Quadro 2 –	Características dos métodos Ad hoc e Listas de Verificação (Checklists).....	39
Quadro 3 –	Medidas típicas de um plano de gestão ambiental de uma barragem	47
Quadro 4 –	Conceitos de avaliação – Lee and Colley Review Package	51
Quadro 5 –	Tipologia das auditorias ambientais no âmbito do controle externo do TCU	55
Quadro 6 –	Os critérios de efetividade, eficiência e imparcialidade aplicados à avaliação da adequabilidade dos EIAs.....	58
Quadro 7 –	Exemplos de indicadores para estudo da magnitude de aspectos e impactos ambientais relacionados à geomorfologia	74
Quadro 8 –	Alterações hidrológicas e geomorfológicas em setores de um rio represado.....	78
Quadro 9 –	Objetivos da etapa do projeto de uma barragem.....	84
Quadro 10 –	Caracterização das condições geomorfológicas recomendadas para construção de cada tipo de barragem	87
Quadro 11 –	Localização dos pontos de coleta das amostras de solos na barragem de Serro Azul.....	105
Quadro 12 –	Localização dos pontos de coleta das amostras de solos na barragem de Igarapeba	107
Quadro 13 –	Tempo e temperatura necessários para a sedimentação de partículas do solo da fração argila e argila/silte	109
Quadro 14 –	Abordagem da geomorfologia de acordo com as diretrizes gerais estabelecidas no art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/1986 e dos itens que antecedem o Diagnóstico Ambiental – EIA da barragem de Igarapeba.....	118
Quadro 15 –	Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Físico do EIA da barragem de Igarapeba	120
Quadro 16 –	Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Biótico do EIA da barragem de Igarapeba	122
Quadro 17 –	Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Socioeconômico (Antrópico) do EIA da barragem de Igarapeba	125

Quadro 18 –	Lista de alguns dos impactos ambientais identificados no meio físico no projeto da Barragem de Igarapeba	128
Quadro 19 –	Abordagem da geomorfologia nos Impactos Ambientais do EIA da barragem de Igarapeba	128
Quadro 20 –	Abordagem do programa de controle de processos erosivos do EIA da barragem de Igarapeba	131
Quadro 21 –	Histórico do licenciamento ambiental da barragem de Igarapeba	132
Quadro 22 –	Códigos das amostras da barragem de Igarapeba que foram analisadas no Laboratório	142
Quadro 23 –	Abordagem da geomorfologia de acordo com as diretrizes gerais estabelecidas no art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/1986 e dos itens que antecedem o Diagnóstico Ambiental – EIA da barragem de Serro Azul.....	147
Quadro 24 –	Temas abordados nos meios do diagnóstico ambiental do EIA da Barragem Serro Azul.....	153
Quadro 25 –	Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Físico do EIA da barragem de Serro Azul.....	154
Quadro 26 –	Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Biótico do EIA da barragem de Serro Azul.....	156
Quadro 27 –	Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Antrópico do EIA da barragem de Serro Azul.....	158
Quadro 28 –	Abordagem da geomorfologia nos Impactos Ambientais do EIA da barragem de Serro Azul.....	159
Quadro 29 –	Fragmento da matriz de correlação entre as ações do empreendimento e os elementos ambientais do meio físico	160
Quadro 30 –	Histórico do licenciamento ambiental da barragem Serro Azul	164
Quadro 31 –	Códigos das amostras da barragem de Serro Azul que foram analisadas no Laboratório	177
Quadro 32 –	Dados gerais dos EIAs selecionados para a análise	194
Quadro 33 –	Matriz de análise técnico-documental para verificação de conteúdo e análise da abordagem geomorfológica dos EIAs (EIA01 A EIA08), de acordo com o atendimento mínimo as atividades técnicas elencadas no art. 6º da Resolução CONAMA nº 01/86.....	196
Quadro 34 –	Descrição dos impactos identificados e dos programas de monitoramento de cada EIA analisado, que estão relacionados à geomorfologia.....	199

Quadro 35 – Matriz de análise técnico-documental para verificação de conteúdo e análise da abordagem geomorfológica dos EIAs das barragens de Igarapeba (EIG) e de Serro Azul (ESA), de acordo com o atendimento mínimo as atividades técnicas elencadas no art. 6º da Resolução CONAMA nº 01/86	204
Quadro 36 – Levantamento da legislação dos estados do Brasil que contemplam a auditoria ambiental (de forma geral ou específica) e/ou com previsão da auditoria de Estudo de Impacto Ambiental	210
Quadro 37 – Textos das leis estaduais com expressa referência à aplicação da auditoria de EIAs	215
Quadro 38 – Modelo de Protocolo das atividades técnicas de elaboração e análise técnica do EIA – FASE: PLANEJAMENTO.....	229
Quadro 39 – Modelo de Protocolo das atividades técnicas de elaboração e análise técnica do EIA – FASE: INSTALAÇÃO.....	238
Quadro 40 – Modelo de Protocolo das atividades técnicas de elaboração e análise técnica do EIA – FASE: OPERAÇÃO.....	247
Quadro 41 – Modelo de Protocolo para a abordagem geomorfológica na elaboração de EIA de barragem	253
Quadro 42 – Modelo de Lista de Verificação para análise de conteúdo geomorfológico dos EIAs de barragens na etapa de “análise técnica”	254
Quadro 43 – Modelo de Lista de Verificação de auditoria de acompanhamento da implementação das atividades de gestão adotadas pelo empreendedor, aplicadas à geomorfologia, previstas no EIA – FASE: INSTALAÇÃO.....	259
Quadro 44 – Modelo de Lista de Verificação de auditoria de acompanhamento da implementação das atividades de gestão, adotadas pelo empreendedor, previstas no EIA – FASE: OPERAÇÃO.....	265
Quadro 45 – Auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “Análise Técnica” na fase de planejamento	273
Quadro 46 – Auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “Análise Técnica” na fase de instalação	279
Quadro 47 – Auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de operação	285
Quadro 48 – Auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais e do grau de implementação das medidas mitigadoras e dos programas ambientais aplicada a fase de operação da barragem Serro Azul	291

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Análise granulométrica das amostras de solo coletadas em Igarapeba (diâmetro da partícula – escala logarítmica, mm).....	142
Tabela 2 –	Resultados da análise granulométrica das amostras de solo coletadas na barragem de Serro Azul.....	178
Tabela 3 –	Resultado dos ensaios de consistência, massa específica e granulometria dos solos.....	184
Tabela 4 –	Dados do monitoramento de voçoroca na margem direita da barragem Serro Azul.....	185
Tabela 5 –	Dados do monitoramento de voçoroca na margem direita da barragem Serro Azul.....	187
Tabela 6 –	Modelo de tabela para quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da Lista de Verificação voltada à geomorfologia no EIA, a partir dos quesitos da “análise técnica” nas fases de planejamento, instalação e operação.....	255
Tabela 7 -	Modelo de tabela para avaliar o grau de implementação das ações da auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais e do grau de implementação das medidas mitigadoras e dos programas ambientais para as fases de instalação e de operação.....	270
Tabela 8-	Quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de planejamento.....	277
Tabela 9 –	Quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de instalação.....	283
Tabela 10 –	Quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de operação.....	289
Tabela 11 –	Grau de implementação das ações da auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais e do grau de implementação das medidas mitigadoras e dos programas ambientais aplicada a fase de operação da barragem Serro Azul.....	296

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL NO MUNDO: HISTÓRICO E REALIDADE ATUAL.....	25
2.2	A AIA NO BRASIL: HISTÓRICO E REALIDADE ATUAL	29
2.3	LICENCIAMENTO AMBIENTAL	30
2.4	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	32
2.4.1	Identificação e previsão dos impactos ambientais.....	37
2.4.2	Métodos de previsão de impactos	37
2.4.2.1	Matrizes de interação.....	39
2.4.2.2	Superposição de cartas (overlays)	41
2.4.2.3	Redes de Interação	43
2.4.2.4	Modelos	44
2.4.3	Medidas mitigadoras (prevenção, atenuação, potencialização e compensação).....	47
2.4.4	Programas de monitoramento	48
2.5	LISTAS DE VERIFICAÇÃO E A ANÁLISE TÉCNICA DE QUALIDADE DOS EIAs	50
2.6	AUDITORIA AMBIENTAL.....	53
2.7	AUDITORIA DE ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL	57
2.8	GEOMORFOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O PLANEJAMENTO E A GESTÃO AMBIENTAL	63
2.8.1	Geomorfologia e o planejamento ambiental.....	63
2.8.2	Geomorfologia ambiental.....	69
2.8.3	O meio físico nos Estudos de Impacto Ambiental	72
2.9	RECURSOS HÍDRICOS, GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E BARRAGENS ..	75
2.10	CARACTERIZAÇÃO E TIPOLOGIAS DE BARRAGENS	81
2.10.1	Tipos de barragens	82
3	METODOLOGIA	89
3.1	MÉTODO	89
3.2	CATEGORIA DE INVESTIGAÇÃO.....	92
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	93

3.3.1	Trabalho de gabinete – pesquisa da bibliografia	94
3.3.2	Análise documental	94
3.3.2.1	Seleção de casos.....	95
3.3.2.2	Levantamento da documentação do licenciamento ambiental e dos EIAs das barragens de Serro Azul e Igarapeba.....	95
3.3.3	Levantamento e análise dos EIAs de barragens em outras unidades federativas.....	96
3.3.3.1	Levantamento da legislação dos estados do Brasil que contemplam a auditoria ambiental.....	97
3.3.3.2	Elaboração das Listas de Verificação.....	98
3.3.4	Trabalhos de campo	100
3.3.5	Atividades de laboratório – análise granulométrica	103
3.3.6	Mapa geomorfológico da ADA da barragem Serro Azul.....	110
3.3.7	Atividades de gabinete (sistematização e finalização)	111
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	111
3.4.1	Município de São Benedito do Sul	112
3.4.2	Município de Palmares.....	114
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
4.1	BARRAGEM DE IGARAPEBA.....	115
4.1.1	Análise geomorfológica do Estudo de Impacto Ambiental da Barragem de Igarapeba	115
4.1.2	Análise documental: licenciamento ambiental da Barragem de Igarapeba .	132
4.1.3	Análise do diagnóstico ambiental da barragem Igarapeba.....	133
4.1.4	Coleta de amostras de solo e análise laboratorial.....	141
4.2	BARRAGEM DE SERRO AZUL	146
4.2.1	Análise geomorfológica do Estudo de Impacto Ambiental da Barragem Serro Azul.....	146
4.2.1.1	Meio físico	153
4.2.1.2	Meio biótico	156
4.2.1.3	Meio antrópico	158
4.2.1.4	Impactos ambientais	159
4.2.1.5	Programas ambientais.....	160
4.2.2	Análise documental: licenciamento ambiental da Barragem Serro Azul.....	164
4.2.2.1	Licença Prévia (LP).....	164

4.2.2.2	Licença de Instalação (LI)	165
4.2.2.3	Licença de Operação (LO).....	165
4.2.3	Análise do diagnóstico ambiental da Barragem Serro Azul	165
4.2.4	Coleta das amostras de solo e análise laboratorial – barragem Serro Azul .	177
4.2.5	Monitoramento de voçorocas.....	184
4.3	AUDITORIA GEOMORFOLÓGICA DE EIAS DE BARRAGENS EM OUTROS ESTADOS BRASILEIROS E DAS BARRAGENS DE IGARAPEBA E SERRO AZUL	194
4.4	PROPOSTA DE AUDITORIA GEOMORFOLÓGICA DE EIAS DE BARRAGENS	208
4.4.1	Auditoria ambiental compulsória nas unidades federativas.....	208
4.4.2	Detalhamento da proposta metodológica	219
4.4.3	Elaboração e análise técnica	223
4.4.4	Lista de Verificação para o acompanhamento da implementação das atividades de gestão previstas no EIA	256
4.4.5	Aplicação da proposta de Auditoria geomorfológica para o EIA da barragem Serro Azul.....	272
4.4.6	Auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais, das medidas mitigadoras e dos programas ambientais implementados, previstos no EIA.....	290
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	298
	REFERÊNCIAS	302

1 INTRODUÇÃO

A notoriedade para as questões ambientais amplamente difundidas na atualidade tem no seu passado recente a explicação para tamanha importância e destaque. Como todo ramo técnico-científico, o desenvolvimento fez surgir uma série de conceitos, ora utilizados por outras áreas científicas, ora utilizado, exclusivamente, pelas ciências afins aos estudos sobre o meio ambiente. Leff (2008, p. 56/57) entende que a

[...] problemática ambiental abriu um processo de transformação do conhecimento, expondo a necessidade de gerar um método para pensar de forma integrada e multivalente os problemas globais e complexos, assim como a articulação de processos de diferente ordem de materialidade.

A geomorfologia é uma das áreas do conhecimento que compõe essa análise integrada e que, cada vez mais, se estreita o relacionamento com as ações antrópicas, seja como recurso, seja como risco para as atividades econômicas e sociais.

Os estudos geomorfológicos voltados para ações de planejamento e gestão requerem considerar o papel das forças endógenas e exógenas, e suas consequentes dinâmicas processuais, bem como um entendimento do contexto geológico e, especialmente, da chamada Geomorfologia do Quaternário, como heranças de processos pretéritos recentes que se evidenciam em muitas áreas ou que foram alteradas na atualidade. Elorza (2007) considera que as alterações no relevo são decorrentes de causas tectônicas, climáticas e antrópicas, pois essas causas interagem entre si. Além disso, enfatiza-se a necessidade de estudar e inserir a questão do desenvolvimento da população humana e as diversas etapas culturais, a fim de compreender as mudanças ambientais impetradas pelas ações antrópicas e os marcos significativos relacionados às atividades humanas ao longo da história.

A construção de barragens existe já há alguns milênios, aproximadamente 5.000 anos, mas só mais recentemente as preocupações com relação aos impactos ambientais vieram a ser objeto de preocupação no meio científico. Estima-se que, no final do século XX, existiam mais de 45.000 grandes barragens no mundo (WORLD COMMISSION ON DAMS – WCD, 2000). É comum o entendimento de que as barragens representam um tipo de empreendimento que gera sérias intervenções no relevo no momento da construção (instalação), por meio de cortes, aterros, exploração de jazidas de materiais pétreos e terrosos, abertura de vias, impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal e criação de novas dinâmicas processuais e morfologias, e que o relevo é um dos fatores determinantes para a localização de uma barragem e o seu reservatório.

Sendo assim, tais intervenções promovem adaptações dos processos geomorfológicos diante das intervenções humanas implementadas (RODRIGUES, 2000). A construção de barragens acarreta em diversos impactos nos mais diversos meios (físico, biológico e antrópico), tanto a montante como a jusante, resultando em sérias alterações no espaço natural e na produção de dinâmicas ambientais diferenciadas. Logo, um bom planejamento na construção de uma barragem, visando ao aproveitamento múltiplo e às consequências ambientais do seu reservatório, é fundamental. Durante a vida útil de uma barragem, diversos problemas podem surgir, e alguns são de cunho geomorfológico.

Cada vez mais, busca-se tratar desse assunto como meio de aprimorar e propor novas pesquisas, metodologias e técnicas que contribuam na redução dos efeitos negativos e na maximização dos positivos. Coelho (2008) propõe a discussão de um tema ainda pouco abordado na geomorfologia fluvial brasileira, pois pesquisas nacionais que tratam a respeito dos efeitos hidrogeomorfológicos em canais fluviais decorrentes da construção de reservatórios/barragens ainda são escassas. Para uma melhor compreensão dos impactos decorrentes das barragens e da gestão ambiental, faz-se necessário entender as características básicas na concepção do projeto, instalação e operação de uma barragem, sendo fundamentais o aprimoramento das metodologias e o fortalecimento do controle da efetividade da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

Dessa forma, em parte dos países, a exemplo do Brasil, para se iniciar a construção dessas grandes obras de engenharia é necessário recorrer ao licenciamento ambiental, com a consequente elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), inserido na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Dentro dessa perspectiva, busca-se realizar uma análise crítica a respeito da aplicação e contribuições que o EIA pode proporcionar na execução dessas obras de engenharia, especialmente na área da geomorfologia. E, assim, demonstrar metodologias voltadas ao aprimoramento de uma AIA mais eficaz com foco na tomada de decisão do planejamento ambiental desse tipo de empreendimento. E investigar as alterações sobre a dinâmica geomorfológica que esse tipo de empreendimento pode causar, indicando a implementação de medidas para evitar ou atenuar tais alterações.

Diante do nível dos estudos, métodos e resultados obtidos pela Geomorfologia, essa área do conhecimento se constitui em pilar fundamental e imprescindível no campo das pesquisas voltadas ao planejamento e gestão do ambiente físico-natural e mesmo territorial, considerando as formas de usos e ocupações relacionadas com as áreas polarizadas por empreendimentos de barragens.

A problematização da pesquisa se origina das poucas publicações científicas que abordam a inserção da geomorfologia nos Estudos de Impacto Ambiental para fins de licenciamento ambiental. Trabalhos como o de Panizza (1996), Ross (2000), Morris e Therivel (2001), Guerra e Marçal (2006) e Downs e Booth (2011) abordam a relação da geomorfologia com os EIAs numa perspectiva mais geral em relação às tipologias. Diante de uma ampla revisão da literatura, são escassos os trabalhos, no Brasil, que se proponham a analisar a abordagem da geomorfologia nos EIAs (ROSS, 2000; AKIOSSI, 2010; AGUIAR, 2015, GUTIERRES *et al.*, 2017). No entanto, constata-se que o meio biológico (FONSECA, 1998; SILVEIRA, 2006; SCHERER, 2011) e o meio socioeconômico (CONDE, 2012; PAIVA *et al.*, 2015) também apresentam publicações relacionadas aos EIAs.

Além disso, pesquisas realizadas com esse foco de preocupação na geomorfologia, a exemplo de Gutierrez *et al.* (2017), apontaram o tratamento superficial da geomorfologia em muitos desses estudos e a necessidade do aprofundamento dos conhecimentos e do aprimoramento dos procedimentos e técnicas de campo, laboratório e gabinete, inerentes à geomorfologia, que precisam estar presentes nesses estudos.

Dessa feita, a pesquisa busca contribuir com o ramo da geomorfologia aplicada¹, entendendo-a como o estudo voltado à avaliação do ambiente e dos processos ambientais, com o objetivo de demonstrar as características de um determinado espaço para apropriação visando formas particulares de utilização do meio ambiente (GIRÃO; CORRÊA, 2004). A identificação do grau de instabilidade de setores do relevo e o diagnóstico dos tipos de processos que predominam na dinâmica geomorfológica de uma área, constituem alguns dos objetivos fundamentais da abordagem geomorfológica nos EIAs.

Sendo o EIA um instrumento voltado, inicialmente, ao planejamento ambiental na ocupação e uso de uma determinada área, a inserção da geomorfologia é inquestionável, contudo, visando ao aprimoramento da AIA, outros instrumentos podem ser utilizados para uma melhor implementação daquilo que se encontra previsto no estudo ambiental. Logo, a auditoria ambiental é um exemplo de instrumento que possibilita, por meio das suas ferramentas e técnicas de aplicação (Protocolo e a Lista de Verificação – Checklist), que a geomorfologia (e outras áreas do conhecimento) possa ser contemplada nas diversas etapas, especialmente na verificação da implementação das ações recomendadas no EIA.

¹ A publicação de “*Applied Geomorphology: theory and practice*”, editada por Robert J. Allison, foi concebida devido à necessidade diante dos problemas ambientais decorrentes da implantação de empreendimentos e o desenvolvimento de atividades sem a atenção criteriosa dos aspectos naturais, especialmente de cunho geomorfológico.

A intenção de uma auditoria geomorfológica de EIAs é mostrar que a geomorfologia é um dos temas ambientais a serem avaliados numa auditoria (a exemplo do ar, resíduos sólidos, riscos ambientais, uso de recursos naturais, água dentre outros) e destacar o papel desempenhado por essa área do conhecimento no diagnóstico, na avaliação e na mitigação dos impactos, portanto, como um dos conhecimentos utilizados para a gestão ambiental do empreendimento. No entanto, cabe destacar que a intenção não foi apenas incorporar o conhecimento geomorfológico por si só, puro, mas apresentar uma abordagem interdisciplinar, não só voltada aos outros conhecimentos do meio físico, que não se tem dúvida da relação com a geomorfologia, como também aos conhecimentos do meio biológico e do meio antrópico, que guardam relação com a geomorfologia, buscando uma análise integrada entre os meios. Por sinal, esses meios ainda são pouco explorados na literatura de uma forma geral. Portanto, faz-se necessário desenvolver metodologias apropriadas de auditoria.

Sendo assim, foram escolhidas duas barragens: Serro Azul (município de Palmares) e Igarapeba (município de São Benedito do Sul), na Mata Sul do estado de Pernambuco. Tais barragens foram concebidas para contenção de cheias na bacia do rio Una, após os recorrentes episódios hidrometeorológicos²³.

Este trabalho se propõe a abordar os principais efeitos geomorfológicos resultantes do projeto, da construção e da operação de barragens. A pesquisa contemplará os efeitos inter-relacionados intrínsecos a uma tipologia de obra de engenharia, através da espacialização dos impactos, a partir da divisão resultante da implantação da barragem: a montante, a jusante e as áreas inseridas no reservatório.

O trabalho oferta uma sistemática visando à padronização das atividades que envolvem a abordagem geomorfológica nos EIAs, incorporando procedimentos e instrumentos da

² As maiores cheias registradas na bacia do rio Una ocorreram em 1973, 1975, 1988, 2000, 2004, 2010 e 2011. Os municípios que, em geral, vêm sendo mais atingidos pelas cheias na bacia do rio Una são: Belém de Maria, Maraial, Catende, Palmares, Água Preta e Barreiros. Ressalta-se que a cheia de 2010 foi de maiores proporções que a cheia de 2000. Em 24 horas, choveu na região afetada 170 milímetros, o equivalente à metade da média histórica para todo o mês de junho (EIA, 2011, p.14.1-2). Segundo Girão *et al.* (2013, p. 147), “[...] durante o evento de junho de 2010, os três dias de precipitação mais intensa foram 16, 17 e 18 de junho [...]. Em algumas áreas, o acumulado de chuva chegou a ultrapassar 250mm nos três dias, principalmente nas cabeceiras dos rios”.

³ No tocante ao ano de 2010, as enchentes ocorridas ao longo dos rios Una, Sirinhaém, Pirangi, Mundaú e Canhoto, nos dias 17, 18 e 19 de junho de 2010, resultaram em um desastre de grandes proporções e que atingiram 68 municípios, deixando nove deles em Estado de Calamidade Pública (Decretos nº 35.192, de 21/06/2010, e nº 35.231, de 27/06/2010), 33 em Situação de Emergência (Decretos nº 35.191, de 21/06/2010 e nº 35.312, de 15/07/2010), 14.136 casas destruídas ou danificadas, 20 mortos, 26.966 desabrigados e 55.643 desalojados. Decorridos onze meses da tragédia que assolou Pernambuco em 2010, o estado novamente é impactado pelas chuvas caídas em 3 de maio de 2011, que atingiu 56 municípios, dos quais 26 decretaram situação de emergência e nove, de calamidade pública, atingindo mais de 15 mil famílias foram desalojados de suas moradias (APAC, 2011).

auditoria ambiental para a efetivação dos objetivos. No entanto, vale salientar que, tal padronização para análise, não esgota a adoção de outros procedimentos, já que ela, por si só, não garantirá a plena qualidade esperada na elaboração e implementação das recomendações constantes no EIA. Logo, tal proposta busca contribuir com uma melhor elaboração dos EIAs, sendo fundamental para isso, o aprimoramento da elaboração dos Termos de Referência, além de auxiliar a prática profissional, especialmente dos menos experientes e/ou qualificados para atuar com a elaboração, análise técnica e/ou implementação das recomendações do EIA, e, por fim, ser uma opção na literatura técnica da AIA voltada à abordagem da geomorfologia nos EIAs de barragens.

Portanto, tem o objetivo de apresentar uma proposta metodológica de auditoria geomorfológica de EIAs de barragens, no contexto do licenciamento ambiental brasileiro, contemplando as etapas de elaboração, análise e gestão ambiental, tendo como áreas de estudo as barragens de Serro Azul e Igarapeba, localizadas na Mata Sul do estado de Pernambuco, no nordeste brasileiro. Como objetivos específicos, destacam-se:

- a) discutir a inserção da geomorfologia nos Estudos de Impacto Ambiental para fins de licenciamento ambiental;
- b) analisar a abordagem da geomorfologia nos Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) de barragens, protocolados nos órgãos ambientais estaduais, entre os anos de 2010 e 2017;
- c) expor o diagnóstico ambiental de duas barragens de contenção de cheias;
- d) detalhar os instrumentos de auditoria aplicados as etapas de elaboração, análise técnica e gestão voltados para a análise geomorfológica dos EIAs de barragens;
- e) aplicar a proposta de auditoria geomorfológica de acompanhamento das atividades de gestão da fase de operação previstas no EIA da barragem Serro Azul.

Assim, o questionamento que fica é: a geomorfologia, nos EIAs para fins de licenciamento ambiental de barragens, tem sido contemplada de forma criteriosa, de modo integrado aos outros meios (biótico e antrópico) e aplicada na elaboração e na análise técnica dos EIAs, além da efetiva implementação das ações de gestão propostas?

Logo, compreende-se a importância dessa área do conhecimento para a implantação e operação de empreendimentos e atividades de significativo poder de degradação. Como colocado no questionamento, a importância da geomorfologia perpassa por várias fases, desde a elaboração do EIA, passando pela sua análise, até a implementação das medidas mitigadoras e programas de monitoramento.

Portanto, ao buscar analisar a questão geomorfológica, por meio dos erros, acertos e deficiências dessa abordagem, este trabalho busca auxiliar o aperfeiçoamento da prática da elaboração e da análise dos EIAs, a partir do viés geomorfológico, contribuindo, conseqüentemente, para um aprimoramento da etapa de implementação do que consta nos EIAs voltados para a gestão ambiental do empreendimento ou da atividade. A ideia é que a proposta apresentada, tendo a realidade brasileira da AIA como contexto empírico, que guarda similaridades com diversos pontos praticados em muitos países, possibilite o aperfeiçoamento e/ou a aplicação para as diversas realidades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão apresentada se mostra desafiante, por relacionar três campos de conhecimento (Geomorfologia, Estudo de Impacto Ambiental e Auditoria Ambiental), de vasta bibliografia nacional e internacional, aplicando a um quarto – as barragens. Por outro lado, a abordagem de dois (“a abordagem geomorfológica nos EIAs”; “Auditoria de Estudo de Impacto Ambiental” ou “Auditoria Ambiental Geomorfológica”) ou os três (objetivo geral deste trabalho) demonstra a escassez de bibliografias que foquem nessas perspectivas apresentadas.

Desse modo, o desafio é buscar as bibliografias mais pertinentes aos nossos objetivos, e estabelecer suas conexões, buscando inovar a abordagem das três temáticas, de modo teórico, como também o caráter prático da aplicação da proposta metodológica a ser apresentada.

2.1 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL NO MUNDO: HISTÓRICO E REALIDADE ATUAL

Ao se falar de Estudo de Impacto Ambiental, é imprescindível abordar a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), entendida como um instrumento analítico com o objetivo de entender as consequências dos impactos identificados, buscando a tomada de decisão a partir de tal conhecimento. Para Sánchez (2013, p. 41), a AIA possui características comuns: “[...] caráter prévio e vínculo com o processo decisório são atributos essenciais da AIA, aos quais se junta a necessidade de envolvimento público nesse processo. É um exercício prospectivo, antecipatório, prévio e preventivo”. Para Moreira (1997, p. 35), a AIA é um:

Instrumento de política ambiental e gestão ambiental de empreendimentos, formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma proposta (projeto, programa, plano ou política) e de suas alternativas, e que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e por eles considerados. Além disso, os procedimentos devem garantir a adoção das medidas de proteção do meio ambiente determinadas, no caso de decisão sobre a implantação do projeto.

A AIA se encontra adotada em cerca de duzentos países, especialmente na esfera governamental, como também em organizações internacionais (bancos de desenvolvimento) e entidades privadas.

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente dos EUA (*National Environmental Policy Act* – NEPA) foi a pioneira na instituição da AIA, tendo entrado em vigor no dia 1º de janeiro

de 1970. Sem dúvida, enquanto instrumento de planejamento e de gestão ambiental, a AIA surgiu diante de um contexto social favorável. Segundo Ribeiro (2014, p. 856), “[...] o NEPA foi formulado graças à pressão feita aos órgãos governamentais federais por grupos de coalizão de ambientalistas, pacifistas, defensores de direitos humanos e forças *anti-establishment* que receberam apoio da sociedade e do Poder Legislativo”. Nas palavras de Dias (2001, p. 9), “[...] o NEPA era uma resposta às pressões crescentes da sociedade organizada para que os aspectos ambientais passassem a ser considerados na tomada de decisão sobre a implantação de projetos capazes de causar significativa degradação ambiental”.

Para Sánchez (2013, p. 50), a AIA vem evoluindo e passando por modificações de acordo com os contextos culturais ou políticos de cada país, mas mantendo o “[...] objetivo primário de prevenir a degradação ambiental e de subsidiar um processo decisório, para que as consequências sejam apreendidas antes mesmo de cada decisão ser tomada”.

Pouco depois da NEPA, em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, proclamou a AIA como um instrumento efetivo para atingir o desenvolvimento sustentável, favorecendo o seu surgimento em outros países, a exemplo do Canadá (1973), Nova Zelândia (1973) e Austrália (1974), tornando a inserção da AIA essencial nas decisões governamentais importantes (SÁNCHEZ, 2013).

A consolidação e disseminação por outros países veio acontecer a partir da década de 1980 (Quadro 1), tendo a União Europeia aprovado uma Diretiva sobre a AIA, passando a ser obrigatória em todos os países membros (BITAR *et al.*, 2018). O primeiro país europeu a adotar a AIA foi a França⁴. Porém, houve muita resistência de alguns setores governamentais e empresariais à nova exigência de preparação prévia de um Estudo de Impacto Ambiental (SÁNCHEZ, 2013). No grupo dos países em desenvolvimento, especialmente aqueles de industrialização “mais recente”, os problemas ambientais verificados nos países desenvolvidos também foram constatados. No entanto, a busca e a adoção por tais instrumentos nos países em desenvolvimento resultaram, inicialmente, da exigência das agências bilaterais e multilaterais. “O Banco Mundial teve papel muito importante na difusão da AIA, na medida em que movimentava bilhões de dólares por ano em projetos de desenvolvimento nos países do Sul, muitos deles capazes de causar impactos ambientais significativos” (SÁNCHEZ, 2013, p. 57).

Portanto, demonstra-se o nível de importância da AIA pelo seu alcance geográfico em nível mundial, envolvendo países de diferentes níveis de desenvolvimento em todos os continentes, bem como a sua capacidade na previsão dos impactos, possibilitando estabelecer

⁴ Até os dias atuais o termo AIA é muito pouco usual no país, predominando simplesmente o termo *étude d’impact*, que resume tanto o próprio estudo como o processo de avaliação de impacto ambiental (SÁNCHEZ, 2013).

medidas para mitigação dos impactos negativos e a potencialização dos impactos positivos, e o acompanhamento contínuo das atividades do empreendimento durante a sua vida útil.

Quadro 1 – Países e os respectivos anos de introdução da AIA, em nível federal e por meio de instrumentos legais, com destaque para o Brasil

País	Ano de Introdução
Estados Unidos	1970
Canadá	1973
Nova Zelândia	1973
Austrália	1974
Colômbia	1974
França	1976
Filipinas	1978
China	1979
Brasil	1981
México	1982
Rússia	1985
Espanha	1986
Indonésia	1986
Holanda	1987
Malásia	1987
Portugal	1987
Alemanha	1990
África do Sul	1991
Tunísia	1991
Bolívia	1992
República Tcheca	1992
Hungria	1993
Chile	1994
Uruguai	1994
Bangladesh	1995
Moçambique	1997
Angola	1998
Japão	1999

Fonte: Adaptado de Sánchez (2013).

Vale salientar que, desde o ano de 1989, o Banco Mundial⁵ segue uma política de avaliação ambiental que, a exemplo de outros organismos internacionais, foi e tem sido responsável pela realização de numerosos estudos ambientais em países em desenvolvimento, induzindo-os à adoção dos procedimentos de AIA em sua política ambiental nacional.

Destacam-se também como fatores para difusão internacional da AIA a ação de ONGs (Organizações Não Governamentais) e o estabelecimento de acordos internacionais. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) (Rio-92) é um exemplo da grande difusão internacional da AIA, além da menção do termo em alguns

⁵ “Uma das principais razões do envolvimento do Banco Mundial foi a pressão exercida pelas organizações não governamentais ambientalistas e suas fortes críticas aos importantes impactos ecológicos e socioculturais dos grandes projetos financiados pelo Banco” (RICH, 1985 *apud* SÁNCHEZ, 2013, p.58).

documentos produzidos pelo evento⁶ (Declaração do Rio; Agenda 21; Convenção sobre Diversidade Biológica; Convenção sobre Mudança do Clima). Daí em diante, a AIA se difundiu mundialmente, sendo adotada formalmente na maioria dos países, tendo um alcance nos sistemas de regulação estaduais e municipais, em boa parte dos países (BITAR *et al.*, 2018). O que se observa no Quadro 1, analisando as três décadas (1970, 1980 e 1990), é que em todas é possível identificar uma mistura de países desenvolvidos e subdesenvolvidos, apesar de o país pioneiro e os primeiros países serem enquadrados como desenvolvidos.

Nas palavras de Bitar e Ortega (1998, p. 500), a AIA é constituída de “[...] uma série de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos, que visa identificar os possíveis impactos decorrentes da futura instalação de um empreendimento, prever a magnitude destes impactos e avaliar a sua importância”. Para Sánchez (1995), a AIA pode desempenhar quatro papéis: ajuda à decisão; ajuda à concepção de projetos; instrumento de gestão ambiental; e instrumento de negociação social. No entendimento de Sadler (1996), o processo de avaliação de impacto ambiental é dividido em três grandes estágios:

- a) avaliação preliminar, que corresponde à classificação da atividade proposta com relação ao tipo e o nível de avaliação requerida;
- b) avaliação detalhada, que engloba uma abordagem científica multidisciplinar para a coleta e análise de informações e opiniões, a elaboração de um relatório de impacto ambiental e sua análise, que deve sempre considerar a participação do público;
- c) acompanhamento da decisão, que pode incluir modificações na proposta original ou imposição de condições a ser implementadas.

Portanto, a partir dos autores citados, todos demonstram a importância da AIA para o planejamento e a gestão do meio ambiente, independente da iniciativa, seja do setor público, seja do privado.

⁶ O princípio nº 17 da Declaração Final da Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento expressamente anuncia que: “A avaliação de impacto ambiental, como um instrumento nacional, deve ser empreendida para atividades propostas que tenham probabilidade de causar um impacto adverso significativo no ambiente e sujeitas a uma decisão da autoridade nacional competente”.

2.2 A AIA NO BRASIL: HISTÓRICO E REALIDADE ATUAL

Na realidade brasileira, a Avaliação de Impacto Ambiental foi introduzida⁷, em nível federal, de modo discreto, pela Lei Federal nº 6.803, de 02 de julho de 1980, que “[...] dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição” (MILARÉ, 2013). Sánchez (2013) também destaca tal lei como pioneira em nível federal e aponta que a primeira menção da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) na legislação brasileira remonta a uma lei do estado do Rio de Janeiro promulgada em 1975⁸.

Diante ainda da vigência de um regime ditatorial, que, durante a Estocolmo-72, adotou a posição de não abrir mão do “desenvolvimento” para adotar restrições legais na área ambiental, mesmo assim, em 1973, foi criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA). O cenário internacional, segundo Monosowski (1993), ainda não era tão animador, já que, no ano de 1972, apenas onze órgãos ambientais nacionais existiam, sendo a maior parte em países desenvolvidos industrializados. Já “[...] em 1981, a situação havia mudado de forma dramática: contavam-se 106 países, na maioria em desenvolvimento. Uma nova década se passa, em 1991, praticamente todos os países dispõem de algum tipo de instituição similar” (MONOSOWSKI, 1993, p.3).

Logo, diante das influências/pressões endógenas e exógenas, as políticas ambientais conseguiram avançar no país, culminando com a lei da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Lei Federal nº 6.938/81), que trouxe a avaliação de impacto ambiental como um dos instrumentos. Contudo, antes da sua promulgação, segundo Moreira (1999), a AIA pioneira no país se deu, em 1972, a partir do financiamento do Banco Mundial, da barragem e usina hidrelétrica de Sobradinho, localizada no estado da Bahia. É pertinente destacar que, dessa vez, a AIA não apresentava qualquer limitação para sua aplicação, pois passou a ser exigida nos projetos públicos e privados (pessoa física e jurídica), industriais ou não industriais, urbanos ou rurais, em áreas consideradas críticas de poluição ou não (MILARÉ, 2013). Sendo assim, a AIA encontra-se diretamente relacionada ao Estudo de Impacto Ambiental e ao licenciamento ambiental, que serão discutidos a seguir.

⁷ “Em termos de institucionalização, a avaliação de impacto ambiental chegou ao Brasil por meio das legislações estaduais – Rio de Janeiro e Minas Gerais adiantando-se à legislação federal” (SÁNCHEZ, 2013, p. 67).

⁸ “O caso do Rio de Janeiro tem maior interesse, pois foi a partir dessa experiência pioneira que mais tarde foi regulamentado o estudo de impacto ambiental no País” (SÁNCHEZ, 2013, p. 67).

2.3 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

No art. 9º da lei da Política Nacional do Meio Ambiente, o licenciamento ambiental é elencado como um dos instrumentos (inciso IV – “[...] o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;”), sendo o seu objetivo melhor definido pela Resolução do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 237/97, que define como o:

Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

Mais recentemente, a Lei Complementar nº 140/2011⁹, em seu inciso I do art. 2º, define-o como “[...] o procedimento administrativo destinado a licenciar atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental”. Na literatura técnica-científica, alguns autores têm se debruçado no estudo do licenciamento ambiental no Brasil (BRASIL, 2004; MÜLLER-PLANTENBERG, C.; AB’SABER, 2006; SÁNCHEZ, 2013; BIM, 2015; FARIAS, 2018). Independente da referência, compreende-se que o licenciamento ambiental constitui um instrumento utilizado pelo poder público para o controle das atividades e empreendimentos, públicos ou privados, que possam vir a causar impactos ou degradação ao meio ambiente e que necessitam de monitoramento ambiental no seu cotidiano.

As atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental foram listados na Resolução CONAMA nº 237 (BRASIL, 1997), em seu anexo I, mas não é uma lista taxativa, cabendo ao órgão ambiental competente “[...] definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação dessa relação, considerando as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade” (BARBIERI, 2007, p. 293).

O licenciamento vai além da análise para emissão de uma licença ambiental, devendo ser adotado desde a fase de planejamento (controle prévio para a análise da viabilidade locacional e legal, por exemplo), passando pelo acompanhamento contínuo nas fases de

⁹ Vale registrar que, atualmente, se encontra em tramitação na Câmara dos Deputados, o Projeto de Lei (PL) nº 3729/2004, popularmente conhecido como a Lei Geral do Licenciamento Ambiental, que dispõe sobre o licenciamento ambiental e tem o objetivo de regulamentar o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, e dá outras providências.

instalação e de operação do empreendimento, até a desativação, em alguns casos. Em se tratando de um procedimento administrativo, divide-se em três etapas básicas, de acordo com o tipo da licença ambiental (BRASIL, 1997):

- I - **Licença Prévia (LP)** – concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- II - **Licença de Instalação (LI)** – autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- III - **Licença de Operação (LO)** – autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Em nível estadual, o estado de Pernambuco promulgou a Lei Ordinária nº 14.249/2010, que dispõe sobre o licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente. No ano seguinte, a Lei Estadual nº 14.326 instituiu um procedimento especial para o licenciamento ambiental das obras públicas de construção de barragens nas bacias hidrográficas no território estadual.

Dessa forma, em alguns casos de licenciamento ambiental se faz necessária a exigência de algum estudo ambiental, que permita subsidiar a análise da licença solicitada. De modo geral, no tocante à exigência de estudos ambientais¹⁰ no licenciamento ambiental, temos: com a exigência do EIA; com a exigência de um estudo ambiental simplificado; ou sem a exigência de um estudo ambiental. Logo, percebe-se que o licenciamento ambiental com a exigência do EIA/RIMA será aquele de maior complexidade, exigido para algumas tipologias de empreendimentos e atividades com significativo poder de degradação ambiental, o que demonstra total relação do EIA com o licenciamento ambiental.

¹⁰ “Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco” (inciso III, art.1º, Resolução CONAMA nº 237/97).

2.4 ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

A partir da compreensão da avaliação de impacto ambiental e do licenciamento ambiental, é fundamental que se aborde o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (e o seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA¹¹), que se encontra inserido na AIA e é exigido para o licenciamento ambiental de empreendimentos e obras com significativo poder de degradação ambiental. Entender a sua estrutura e as exigências decorrentes da legislação, dos órgãos ambientais licenciadores e das boas práticas internacionais faz com que o Estudo de Impacto Ambiental seja objeto de estudo de diversas áreas do conhecimento.

Inicialmente, cabe frisar que, no Brasil, a sua previsão legal se encontra no art. 225 da Constituição Federal, em especial no inciso IV:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:
[...]

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

Em nível estadual, a Constituição do Estado de Pernambuco dedica o art. 215 ao Estudo de Impacto Ambiental¹².

Na legislação infraconstitucional, a Resolução CONAMA nº 01/86 é lembrada como aquela que detalha vários aspectos ligados ao planejamento, à elaboração e à aplicação do EIA. Apresenta uma lista de empreendimentos/atividades¹³ sujeitos ao EIA, tendo sido gerada uma

¹¹ O EIA é diferente do RIMA. Para a elaboração do EIA, faz-se necessário o levantamento da literatura técnica, científica e legal, além da realização de trabalhos de campo, de mapeamento e análises de laboratório. Portanto, é um documento detalhado e complexo, que faz uso de linguagem que, em muitos casos, são inacessíveis ao público leigo. Por outro lado, o RIMA expressa as vantagens, desvantagens e consequências do empreendimento/atividade, a partir de uma linguagem mais objetiva e acessível ao público leigo (sociedade em geral).

¹² “Art. 215. Para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação ambiental, será exigido estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade e, na forma da lei, submetido à audiência pública” (CONSTITUIÇÃO DO ESTADO DE PERNAMBUCO).

¹³ No entanto, atentando para a redação do art. 2º percebe-se que ele finaliza com a expressão “tais como”, o que demonstra que a lista é exemplificativa, mas que pode ser solicitado EIA a outros empreendimentos, dependendo da análise do órgão ambiental competente e a decisão sobre a necessidade no tocante ao tipo do empreendimento e/ou as condições de fragilidade do ambiente a ser impactado. Talvez, uma forma de amenizar tais “inseguranças” seria uma atualização do art. 2º da Resolução CONAMA nº 01/86, de forma a acrescentar atividades que não tenham sido contempladas na época da sua edição, como também outras atividades que tenham surgido nos anos seguintes após a sua aprovação. Ao mesmo tempo, vale salientar que tal exigência não deve ficar restrita às tipologias dos empreendimentos/atividades, mas devem levar em consideração os critérios de porte e ao nível de fragilidade do ambiente a ser impactado.

discussão se ela tem um caráter taxativo ou exemplificativo. Por outro lado, a exigência de elaborar e submeter o EIA ao licenciamento ambiental é tratada na resolução citada anteriormente, conjuntamente ao art. 3º da Resolução CONAMA nº 237/97, condicionando à existência da “significativa degradação do meio”. Para Milaré (2013), a expressão “significativa degradação ambiental”, prevista no texto constitucional, resulta num conceito jurídico indeterminado, exigindo uma interpretação da norma, a fim de evitar margem de interpretações diversas. Por outro lado, Oliveira *et al.* (2015, p. 8) explicam que:

O termo “atividade potencialmente causadora de significativa degradação ambiental” está associada à capacidade de suporte do meio e ao padrão de qualidade do ambiente em questão. Portanto, trata-se de um termo devidamente parametrizado, com definições muito claras nas normas ambientais, em especial nas Resoluções CONAMA, nas diversas modalidades de padrão de qualidade expressas e no zoneamento ambiental, sendo menos discricionário que se imagina.

Portanto, o EIA é (e pode ser) um eficiente instrumento de planejamento e gestão ambiental, que necessita ser aperfeiçoado, não só pelos profissionais e empresas de consultoria ambiental que o elaboram, mas pelos órgãos ambientais que analisam e tomam as suas decisões, de forma a alcançar a efetividade de um instrumento de avaliação de impactos ambientais, sendo o único a gozar de status constitucional. Para a sua elaboração, necessário se faz compreender o conceito de planejamento ambiental, conforme foi dado por Cendrero (1982) *apud* Ribeiro (2014, p. 853):

Uma atividade intelectual pela qual se analisam os fatores físico-naturais, econômicos, sociais e políticos de uma zona (um país, uma região, uma província, um município etc.) e se estabelecem as formas de uso que consideram adequadas para ela, definindo sua amplitude e localização e fazendo recomendações sobre as normas que devem regulamentar o uso do território e de seus recursos na área considerada.

De acordo com o autor, o planejamento ambiental se realiza em três níveis (macro, meso e micro). Segundo Ribeiro (2014, p. 855), é no nível micro “[...] que os estudos de impacto ambiental têm sido empregados, ou seja, para avaliar impactos ambientais de um empreendimento proposto [...]”.

E, em se tratando de um subsídio para o licenciamento ambiental, o empreendedor (pessoa física ou jurídica – de direito público ou privado) adquire o dever de realizar as suas atividades, atentando para as condicionantes da licença ambiental, que devem buscar contemplar aspectos importantes que foram levantados no EIA. No entanto, vale frisar que a importância dos EIAs transcende o pensamento em se considerar que estão associados apenas

aos processos de licenciamento ambiental, mas se aplicam àquilo que foi determinado e, buscando a sua atualização permanente, “[...] deixam de ser o simples EIA para atender ao processo de licenças públicas de um projeto, passando a ser material essencial à gestão ambiental e da sustentabilidade da organização em que o projeto se transformará” (MACEDO, 2015, p. 356).

O EIA é um instrumento de planejamento, que visa implementar ações nas diversas fases do empreendimento (construção/instalação, operação e desativação – em alguns casos); logo, necessita ser exigido e apresentado, preferencialmente, como condição para análise da emissão da Licença Prévia (LP). Tais estudos “[...] têm por finalidade prever e beneficiar as relações que serão mantidas entre o projeto de um empreendimento e a região em que ele será implantado e operado” (MACEDO, 2015, p. 355). Vale salientar que essas relações vão além das de ordem física, química e biológica, incluindo também aspectos econômicos, sociais, políticos, culturais e tecnológicos.

O art. 6º da Resolução CONAMA nº 01/86 elencou algumas atividades técnicas, que devem ser observadas para os três grandes compartimentos legalmente considerados (físico, biológico e antrópico), como uma estrutura mínima a ser obedecida na elaboração do EIA, destacando-se as seguintes: “Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto (meio físico, meio biológico e o meio socioeconômico)”; “Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas”; “Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos”; e a “Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados)”. Apesar de não ter sido expressamente mencionado, acrescenta-se também a “descrição do projeto”. Essa é uma etapa pioneira, já que consiste na apresentação das informações do futuro empreendimento. Ribeiro (2014, p. 862) explica da necessidade em

[...] descrever todas as atividades e formas como serão desenvolvidas, os recursos utilizados e os produtos e resíduos que serão gerados em função das atividades. O conhecimento de todas as ações que o projeto desencadeará e de seus produtos é imprescindível para a fase posterior de identificação dos impactos ambientais.

Logo, para que se possa avaliar os impactos ambientais de um determinado empreendimento/atividade, é preciso tomar conhecimento de como se dará a sua construção, sua operação, o uso de insumos e/ou a emissão de rejeitos, além da sua inserção na escala local e regional.

Em seguida, a *descrição do meio ambiente na área de influência do projeto* é uma etapa com maior densidade de informações. Inclui a definição das áreas de influência do projeto, sendo necessária uma abordagem de cunho geográfico, a exemplo de conceitos-chave como o de território, associados ao alcance espacial dos impactos ambientais significativos. No entanto, tal alcance difere do elemento ambiental considerado, tanto entre grupos (meio físico, biológico e antrópico) como também dentro dos próprios meios. Diante da definição das áreas de influência, procede-se ao diagnóstico ambiental.

Para Ross (2009), ao se tratar do “Diagnóstico Ambiental”, é necessário pensar no todo (o natural e o social) e de que modo esse todo se manifesta na realidade. Entendimentos parciais dessa realidade, sem se obter uma visão global, ou de conjunto ou holística, fatalmente induzem às decisões no futuro, erradas ou pelo menos insatisfatórias. Sánchez (2013, p. 244) intitula tal etapa de “Estudos de base e diagnóstico ambiental”, como sendo os “[...] levantamentos acerca de alguns componentes e processos selecionados do meio ambiente que podem ser afetados pela proposta em análise”. A partir das palavras do autor, cabe registrar que o EIA não se restringe a levantar e compilar dados sobre o ambiente a ser impactado, mas analisar a viabilidade ambiental do empreendimento/atividade proposto.

A etapa de elaboração é essencial para a obtenção de informações necessárias para o estabelecimento de um panorama atual da área, visando à identificação e à previsão dos impactos, à sua posterior avaliação e aos elementos para a elaboração do plano de gestão ambiental. Em torno dessa etapa é que “[...] gira a organização dos trabalhos de campo e de gabinete, assim como a estruturação do próprio documento” (SÁNCHEZ, 2013, p. 244). São funções do estudo de base em um EIA:

- Fornecer informações necessárias para a identificação e previsão dos impactos, e para sua posterior avaliação;
- Contribuir para a definição de programas de gestão ambiental (medidas mitigadoras, compensatórias, programas de monitoramento e demais componentes de um plano de gestão ambiental integrante de um EIA); e
- Estabelecer uma base de dados para futura comparação com a real situação, em caso de implementação do projeto.

Portanto, um conhecimento mais aprofundado da área diminui a possibilidade de desconhecimento dos processos ambientais, da presença de elementos valorizados do ambiente e da vulnerabilidade ou da resiliência desse ambiente.

Na perspectiva do “Planejamento dos Estudos”, as diretrizes para a elaboração do estudo ambiental devem constar nos Termos de Referência emitidos pelo órgão ambiental licenciador e serem previamente planejadas pela equipe profissional responsável pela elaboração do estudo

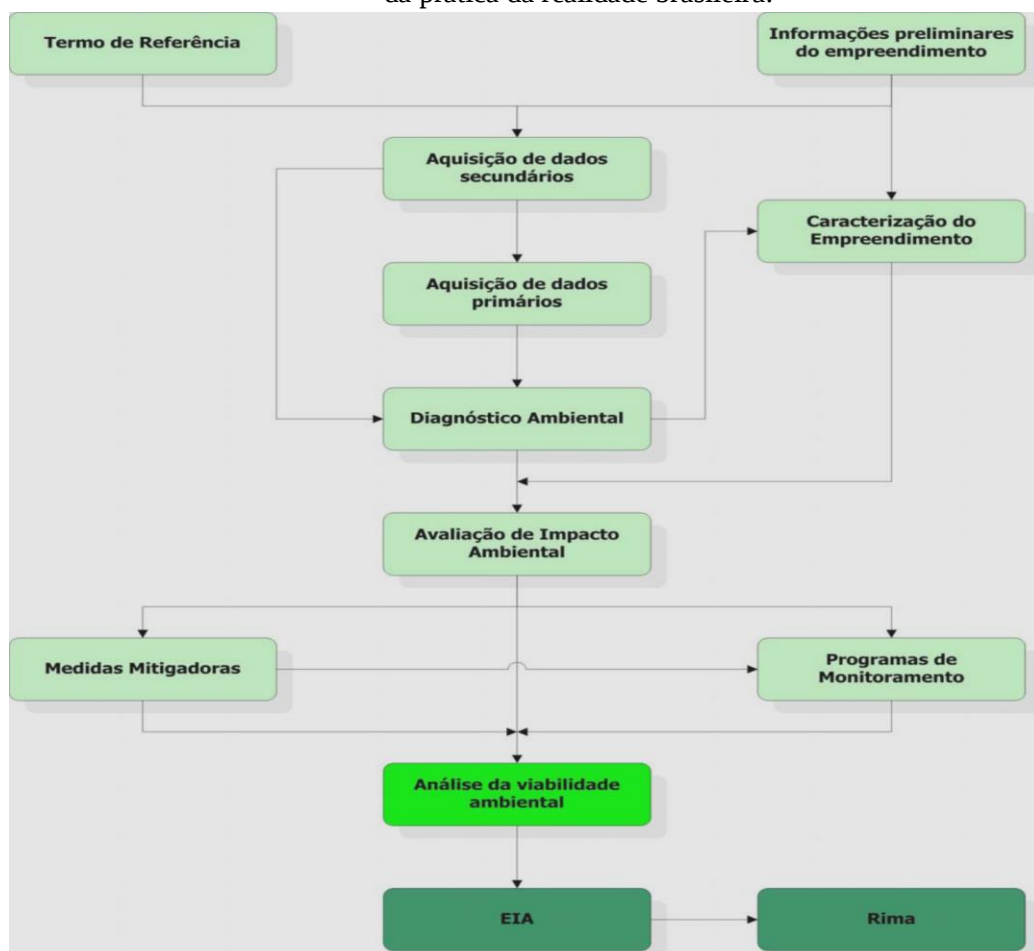
ambiental. Sánchez (2013, p. 248) elenca quatro perguntas voltadas para o planejamento dos estudos: Quais as informações necessárias e para qual finalidade são utilizadas?; Como serão coletadas essas informações?; Onde serão coletadas?; e Durante quanto tempo, com qual frequência e em que épocas do ano serão coletadas? Partindo desses questionamentos, complementa-se com as palavras de Sánchez (2013), que explica a importância em se elaborar um estudo de base bem fundamentado:

Logo, os estudos de base não podem se limitar a uma descrição, por mais rigorosa, completa ou detalhada que seja; seu objetivo não é apenas possibilitar comparações multitemporais, mas também, e principalmente, permitir que os analistas ambientais façam previsões cientificamente bem fundamentadas sobre a provável situação futura.

Os estudos de base também devem ser realizados de forma a mostrar a dinâmica ambiental da área afetada, apresentando uma caracterização dos principais processos atuantes na área de estudo, em vez de se limitar a uma descrição estática do ambiente afetado (SÁNCHEZ, 2013, p. 245).

Conforme demonstra a Figura 1, são diversas as etapas voltadas para a elaboração do EIA e do seu respectivo RIMA.

Figura 1 – Fluxograma simplificado das etapas de elaboração de um EIA/RIMA a partir da prática da realidade brasileira.



Fonte: Akiossi (2010).

2.4.1 Identificação e previsão dos impactos ambientais

O EIA tem o intuito de apresentar o prognóstico da situação futura de um determinado ambiente devido à implantação/operação de um empreendimento/atividade, como algo essencial. Tal prognóstico necessita “[...] ser fundamentado em hipóteses plausíveis e previsões confiáveis” (SÁNCHEZ, 2013, p. 290). Para o citado autor, as funções da previsão de impactos são: estimar a magnitude (intensidade) dos impactos ambientais; fornecer informações para a etapa seguinte, avaliação da importância dos impactos; prognosticar a situação futura do ambiente com o projeto em análise; comparar e selecionar alternativas; e fornecer subsídios para a definição de medidas mitigadoras.

O entendimento é que não se deve prever e avaliar todos os impactos, mas dar ênfase àqueles mais significativos, de forma que sejam mais bem trabalhados nos EIAs. Exemplos de trabalhos que relacionam a atividade e/ou empreendimentos à identificação de impactos ambientais são comuns no Brasil e em outros países (FORNASARI FILHO *et al.*, 1992; CARROLL; TURPIN, 2009; FERNÁNDEZ-VÍTORA, 2010).

2.4.2 Métodos de previsão de impactos

De acordo com Tommasi (1993, p. 213), os “[...] métodos de EIA são aqueles que visam coletar, analisar, comparar e organizar informações sobre os impactos ambientais de um dado projeto”. Para Sánchez (2013, p. 296), “[...] não existe um método intrinsecamente melhor que os demais. O melhor método é aquele mais adaptado ao problema que se pretende resolver, dentro de seu contexto”. Canter (1977) *apud* Tommasi (1993, p. 213) afirmava, no final da década de 1970, que existiam “[...] mais de 50 métodos para realizar as exigências do NEPA quanto aos EIAs, visando coletar, analisar, avaliar e apresentar as informações sobre um dado projeto”, procurando, inclusive, avaliar as condições futuras ambientais, objetivando prever seu comportamento, como resultado dos efeitos induzidos por um projeto.

A escolha do(s) método(s) para a avaliação dos impactos ambientais é uma das etapas necessárias na elaboração de um EIA. Segundo Ribeiro (2014), os métodos mais utilizados seriam: o método *ad hoc*¹⁴; os Checklists (ou listas de controle); as matrizes (Leopold e de interação); as redes sequenciais de impactos; sobreposições de cartas temáticas e os Sistemas de Informações Geográficas; o sistema Battelle; e a listagem de questões elaborada pelo *Urban*

¹⁴ *Ad hoc* é uma expressão latina que significa “com este objetivo”, cuja explicação se encontra no Quadro 2.

Affairs Program, da Boston University (Massachussets). Já Macedo (2015) cita os seguintes métodos: *ad hoc*; Listas de Verificação – Checklists; matrizes de interação; superposição de cartas – *overlays*; redes de interação – *networks*; e métodos integrados e assistidos por computador. Portanto, a maior parte dos métodos citados se originou nos Estados Unidos, diante da vigoração da NEPA. E, posteriormente, “[...] vários métodos de AIA foram concebidos, modificados e atualizados de acordo com a evolução dos próprios estudos ambientais e dos avanços tecnológicos, principalmente nas áreas da computação e da tecnologia da informação” (MACEDO, 2015, p. 184).

Em relação à análise crítica desses métodos, a subjetividade dos métodos é destacada por Rohde (2013, p. 83), considerando que “[...] muitos constituem apenas listas de controle mais apropriadas e portanto, em última análise, são matrizes”. Cremonez *et al.* (2014, p. 3.822), com ênfase no meio físico, afirmam que “[...] a maioria dos métodos de avaliação ambiental atuais apresentam caráter subjetivo na abordagem do meio físico, portanto, devem ser utilizados critérios bem definidos para a escolha do mesmo, visto que cada um tem uma aplicação definida”. Com relação aos métodos e ao direcionamento para a avaliação dos impactos geomorfológicos, compreende-se que os métodos *Ad hoc* e da Lista de Verificação podem e já vêm sendo aplicados aos impactos geomorfológicos. Já as redes de interação, por identificarem impactos indiretos e secundários de forma subsequente ao impacto principal e possibilitarem o cruzamento de disciplinas, permitem analisar, numa mesma cadeia de impactos, os efeitos sobre as atividades econômicas, flora, fauna, patrimônio cultural etc., não sendo tão limitante quanto os dois primeiros. Já no método da superposição de cartas, a cartografia geomorfológica representa uma das possibilidades para a execução de tal método.

De acordo com Ribeiro (2014, p. 867), “[...] o mais frequente é que diferentes equipes elaboradoras de EIA acabem por montar a própria metodologia de avaliação, fruto de uma adaptação ou de modificações das metodologias mencionadas anteriormente”. A autora destaca que “[...] por ser extremamente complexa e frequentemente bastante subjetiva e de ordem qualitativa, a avaliação não pode ser feita por um único técnico, e sim por uma equipe interdisciplinar, de preferência subsidiada por audiência (s) pública (s) e por consultorias especializadas” (RIBEIRO, 2014, p. 869). A seguir, no Quadro 2 e no texto, serão comentados alguns métodos.

Quadro 2 – Características dos métodos *Ad hoc* e Listas de Verificação (Checklists)

Método	Características
Ad hoc	De acordo com Macedo (2015, p. 184), o método <i>ad hoc</i> “propicia uma orientação mínima para a análise de impactos de forma qualitativa, destacando as áreas ou setores passíveis de ser impactados”. Consiste, normalmente, na reunião entre os membros da equipe, que deve ser composta por especialistas das diferentes áreas que contemplem o projeto, em que são listados e discutidos os principais impactos ambientais referentes à instalação e operação de um determinado empreendimento. Para Tommasi (1993), o grupo precisa ser multidisciplinar e composto por profissionais com o maior grau de experiência possível no tipo de projeto de desenvolvimento em análise. Segundo Tommasi (1993, p. 214), o método <i>ad hoc</i> “[...] não tem como objetivo fazer uma listagem exhaustiva de todas as ações propostas e fatores a serem avaliados, mas assegurar que os fatores ambientais relevantes não sejam omitidos do EIA”.
Método	Características
Listas de Verificação (Checklists)	Esse método visa elaborar uma lista que apresente uma série de ações do empreendimento, que podem gerar impactos ambientais em seus diferentes ambientes (físico, biológico e socioeconômico). Macedo (2015) explica que essas listas (de parâmetros) podem ser definidas em quatro grupos e que, em alguns casos, são mais úteis para os órgãos ambientais prepararem termos de referência do que para serem empregadas como métodos de análise e avaliação. Sánchez (2013) entende que as listas são instrumentos bastante práticos e fáceis de usar. No entanto, explica que, apesar do amplo uso pelos órgãos ambientais, dificilmente se utiliza uma Lista de Verificação sem inserir correções ou adaptações, devido às características do projeto ou por conta das condições do meio ambiente. Conforme descrito por Tommasi (1993, p. 214), tal método “[...] permite identificar as principais consequências de uma ação, assim como, hierarquizar, estimular as avaliações de possíveis impactos”. E completa o autor afirmando que não permitem identificar os impactos de segunda ordem.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.4.2.1 Matrizes de interação

As matrizes de interação são utilizadas na identificação dos impactos, tendo um caráter bidimensional, associando as ações de implantação do projeto no eixo vertical e os fatores ambientais passíveis de ser impactados no eixo horizontal. Para Tommasi (1993, p. 216), “[...] é um método barato, mas muito informativo, que permite comparações fáceis. Se, porém, envolver um grande número de informações, fica difícil de ser analisado”. Segundo Macedo (2015, p. 185):

Uma vez completada a matriz, o elenco de impactos gerados pelo empreendimento é analisado, e as ações que provocam maior número de impactos são destacadas e trabalhadas no sentido de serem substituídas por alternativas menos impactantes. [...] Essa forma matricial, em que as relações de causa e efeito são assinaladas, inspiraram a concepção de métodos mais avançados.

Apesar de o nome sugerir um operador matemático, as matrizes de identificação de impactos têm esse nome somente devido à sua forma (MACEDO, 2015). De acordo com a literatura especializada, a Matriz de Leopold é uma das primeiras no formato de matriz propostas para avaliação de impacto ambiental e o método matricial mais disseminado (CHRISTOFOLETTI, 1999), tendo sido desenvolvido por Luna Bergere Leopold *et al.* (1971), do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*), voltado para projetos de mineração.

De acordo com Sánchez (2013, p.223), “[...] os autores prepararam uma lista de cem ações humanas que podem causar impactos ambientais, e outra lista de 88 componentes ambientais que podem ser afetados por ações humanas. São, portanto, 8800 as interações possíveis”. Sendo assim, a descrição dessas interações é feita por meio de dois atributos (magnitude e importância). Nas palavras de Macedo (2015), a magnitude mede a intensidade do impacto e a importância mede a relevância do impacto e do fator ambiental afetado, em face dos outros impactos e das características ambientais da área em questão. A forma de preenchimento dessas matrizes é explicada por Macedo (2015, p. 187):

Cada célula representando um possível impacto é marcada com um traço em diagonal. Na parte superior da diagonal, registra-se o valor da magnitude, usando uma escala de 1 (menor magnitude) a 10 (maior magnitude), além de identificar se o impacto é positivo ou negativo. Na parte inferior, registra-se o valor da importância do impacto. Os impactos podem ser agregados, ou por linhas, ou por coluna, ou ainda pela soma algébrica dos produtos dos valores de magnitude e importância de cada um.

Complementando tal entendimento, “[...] sob a matriz e ao lado direito da mesma, há um espaço para se computar a soma da ‘importância’ e ‘magnitude’ de cada ação sobre os fatores ambientais” (TOMMASI, 1993, p. 216). De acordo com Leopold *et al.* (1971, p. 1 *apud* Sánchez, 2013, p. 224), a matriz teria uma função de comunicação, pois serviria como “[...] um resumo do texto da avaliação ambiental” e possibilitaria que “[...] os vários leitores dos estudos de impacto determinem rapidamente quais são os impactos considerados significativos e sua importância relativa”. Contudo, Sánchez (2013) aponta que uma das críticas mais marcantes à

matriz de Leopold e suas congêneres é que representam o meio ambiente como um conjunto de compartimentos que não se inter-relacionam.

Macedo (2015, p. 187) complementa dizendo que “[...] essas matrizes apenas identificam os impactos diretos, não considerando seus aspectos temporários e espaciais”, e exemplifica que uma determinada ação pode causar impactos sobre determinados componentes, no entanto os mecanismos como se manifestam os impactos não são descritos. E o autor destaca que “[...] a interação entre uma ação e um compartimento ambiental não caracteriza propriamente um impacto, entendido como alteração da qualidade ambiental” (SÁNCHEZ, 2013, p. 225-226). Para Tommasi (1993), a principal crítica a esse método é que esse não considera as alterações entre impactos, nem os impactos indiretos.

Posteriormente, foram desenvolvidos outros tipos de matrizes de interação. A “[...] matriz tem sofrido numerosas adaptações, que permitem sua utilização em grande variedade de projetos” (TOMMASI, 1993, p. 215). Atualmente, existem inúmeras variações da matriz de Leopold, que, na verdade, pouco têm a ver com a original, a não ser a forma de apresentação e de organização das linhas e colunas (SÁNCHEZ, 2013). Para Macedo (2015, p. 187), “[...] essas matrizes têm aplicação com eficiência na identificação dos impactos diretos, sendo, porém, bastante limitadas para utilização como método de AIA, isoladamente”. Além dos problemas da subjetividade de julgamento sobre os valores dos impactos destacados pelo autor, afirma-se que “[...] as matrizes de interação não atendem a maioria das tarefas necessárias ao desenvolvimento de um estudo ambiental, pois normalmente fazem a ‘contabilidade dos valores dos impactos’” (MACEDO, 2015, p. 187).

2.4.2.2 Superposição de cartas (overlays)

Tal método tem como base o uso do conjunto de mapas temáticos que contemplam os meios físico, biológico e antrópico da área de influência de um determinado empreendimento. Segundo Macedo (2015, p. 187), tal método “[...] herda algumas características das cartas ecodinâmicas de Tricart (1977), que se fundamentam nas restrições impostas pela dinâmica dos sistemas ambientais para a determinação de um zoneamento territorial, visando a reduzir as alterações adversas sobre os recursos naturais”. Um ambiente apresentará, sempre, limitações e oportunidades para um dado projeto de desenvolvimento; além disso, apresenta também diferentes graus de sensibilidade e variações, induzidas pelo projeto (BISSET, 1984 *apud* TOMMASI, 1993).

Para isso, necessita-se que as cartas sejam preparadas na mesma escala e projeção cartográfica, objetivando representar (individualmente) os diversos componentes ambientais/temas ambientais (relevo, cobertura vegetal, rede de drenagem, solos, uso da terra etc.). A partir dessa representação, empregam-se cores (azul, amarelo e vermelho, por exemplo), como critério de classificação para delimitar e representar as áreas menos restritivas ou mais aptas à implantação de um determinado empreendimento. Para Sánchez (2013, p. 234), “[...] a identificação de impactos deve ser refinada à proporção que se avança na confecção do estudo de impacto ambiental, em particular quando se pode utilizar os resultados dos estudos de base”. Em relação a tal cenário, o autor destaca o papel da cartografia, ao afirmar que:

No início dos trabalhos, nem sempre se dispõe de cartografia adequada, mas, à medida que os levantamentos de campo e a interpretação de imagens produzam mapas com escalas mais precisas, torna-se possível sobrepor mapas temáticos e simular a implantação do empreendimento em diferentes localizações, o que pode levar à identificação de novos impactos (SÁNCHEZ, 2013, p. 234).

Nas palavras de Macedo (2015, p. 188):

Esse método é aplicado a estudos ambientais de empreendimentos com características lineares, como estradas, linhas de transmissão e oleodutos. Entretanto, apresenta algumas restrições básicas, como sérias limitações na quantificação dos impactos, ausência dos fatores ambientais que não podem ser representados geograficamente e, por consequência, a difícil representação dos impactos sociais e econômicos.

No entanto, vale destacar que tal método ganhou um forte impulso com o surgimento e o acesso cada vez maior aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que “[...] vêm suprindo parte das principais restrições encontradas nesse método [...]” (MACEDO, 2015, p. 188)¹⁵.

Um outro destaque é com relação ao uso do SIG na análise da distribuição espacial dos impactos. Segundo Sánchez (2013), em projetos de obras lineares é comum a confecção de mapas temáticos (vegetação, declividade do terreno, hidrografia e outros) e a posterior superposição, de forma a permitir a melhor escolha do traçado do ponto de vista ambiental. A tal procedimento podem ser atribuídos pesos, de acordo com as fragilidades e os riscos dos

¹⁵ Macedo (2015, p.189) também apresenta os “Métodos integrados e assistidos por computador”, tendo como exemplos clássicos o *Environmental Impact Assessment Study for Army Military Programs*, de Jain *et al.* (1973), e o *Computer-Aided Environmental Impact Analysis for Construction Activities: User Manual*, de Urban *et al.* (1975). De acordo ainda com o autor, segundo diversos especialistas brasileiros em processos de AIA, o Modelo de Avaliação e Gestão de Impactos Ambientais (MAGIA) (1986/89) e o software dele derivado, Instrumento para Desenvolvimento de Estudos Ambientais (IDEA) for Windows (1993/95) representam um dos maiores avanços para os métodos de AIA. São considerados mais do que métodos de AIA; são metodologias de avaliação, planejamento, gestão do ambiente e organizações.

diversos compartimentos do ambiente analisados. De acordo com Sánchez (2013), os resultados da aplicação desse procedimento dependem da: escala adotada (tamanho da quadrícula); a acurácia das informações temáticas de cada quadrícula; a escolha dos temas e a escolha das classes dentro de cada tema; os pesos atribuídos a cada tema e a cada classe; e os critérios de combinação dos atributos. Sendo assim, tal método demonstra a necessidade e importância da incorporação dos produtos cartográficos em todos os EIAs, independente da tipologia do empreendimento, da localização geográfica ou das características do ambiente impactado.

2.4.2.3 Redes de Interação

O surgimento desse método data de 1971, quando Sorensen, então aluno da Universidade da Califórnia, em Berkeley, aplicou essa abordagem em um estudo sobre ordenamento territorial de uma região costeira da Califórnia (MACEDO, 2015). Segundo Macedo (2015, p. 188), “[...] esse método possibilita a identificação de impactos secundários e suas causações, por meio do uso de diagramas”. Tal caracterização parte do entendimento de que, na maioria dos casos, as ações sobre o meio ambiente resultam em mais de um impacto, além de desencadear uma série de outros eventos. É o que reforça Sánchez (2013, p. 233) ao explicar que:

Uma vantagem, contudo, é que tais redes permitem um bom entendimento das relações entre as ações e os impactos resultantes, sejam eles diretos ou indiretos, enquanto as matrizes dividem o meio ambiente em compartimentos estanques, dificultando o entendimento da relação entre as partes. Os diagramas de interação também possibilitam evidenciar impactos indiretos de segunda e terceira ordem, e assim sucessivamente, sem limite.

A rede de interação de Sorensen considerou seis componentes ambientais: água, clima, condições geofísicas, condições de acesso e estética, além do conjunto de atividades que os modificaram. Tommasi (1993) elenca algumas características do método: permite identificar ações e interações; visualiza as interações entre ações e impactos relacionados com as cadeias de impacto; permite, unicamente, identificar os efeitos de ações externas sobre os fluxos de energia de um sistema ambiental; não é recomendado para grandes ações de caráter regional (pode ficar muito grande); não é de natureza quantitativa; e, geralmente, não tem capacidade para indicar retroalimentações.

Sánchez (2013) entende como um método para identificar impactos por meio do uso do raciocínio lógico-dedutivo, em que, a partir de uma ação, inferem-se seus possíveis impactos ambientais. E complementa Macedo (2015, p. 188), que, “[...] ao contrário das matrizes e listas

de controle, que podem restringir a apreciação de cada fator ambiental isoladamente, essas redes promovem a integração interdisciplinar inerente aos estudos ambientais”. No entanto, “[...] uma das mais importantes críticas ao trabalho de Sorensen refere-se ao fato de que ele se dedica apenas aos impactos negativos, deixando de estudar os positivos e suas interações” (MACEDO, 2015, p. 188).

2.4.2.4 Modelos

Possuem uma capacidade preditiva, com a possibilidade de utilização de uma grande quantidade de dados, possibilitando também identificar necessidades adicionais de pesquisa e estudar as relações entre fatores físicos, biológicos e socioeconômicos. É, porém, um método caro, que exige capacitação, trabalho, tempo e custos disponíveis, dependendo muito da qualidade das informações disponíveis, que nem sempre podem ser consideradas homogêneas (TOMMASI, 1993, p.215). Ribeiro (2014, p. 870) comenta que:

Vem crescendo a utilização de modelos matemáticos para dar mais confiabilidade às previsões. Os modelos e simulações têm sido úteis para quantificar parâmetros físicos, químicos ou biológicos do meio ambiente, além de permitir o estabelecimento de diferentes cenários para os fatores demográficos, econômicos e sociais. Os itens para os quais as modelagens matemáticas têm sido empregadas com maior sucesso são: hidrologia das águas superficiais; qualidade das águas e dispersão de poluentes; lençol freático e áreas de recarga; erosão do solo; dispersão de contaminantes nos solos; acústica e vibração; qualidade do ar e dispersão de poluentes, inclusive odor; transferência de contaminantes nos ecossistemas; e dinâmicas demográficas.

A partir dos métodos descritos, compactua-se com o pensamento de Macedo (2015, p. 189) ao afirmar que “[...] a maioria absoluta das iniciativas de desenvolvimento de métodos e metodologias de AIA coube aos Estados Unidos, tanto por parte de instituições de Estado quanto por meio da ação de universidades”. E não resta dúvida da influência da promulgação da *National Environmental Policy Act* (NEPA), que propiciou as condições para o surgimento e desenvolvimento dessas metodologias. O autor também enfatiza que:

Os demais países do mundo ocidental quase se limitaram a seguir a trilha norte-americana, com pequenas contribuições isoladas e ocasionais aos métodos já existentes, as quais, em grande parte, constituíram simplificações perigosas de seus processos originais. Porém, sem ufanismo, vale salientar que no Brasil o tema é tratado com dedicação técnica. Vários profissionais do setor do ambiente e segurança,

desde a década de 1970, têm tido destaque em suas proposições de métodos e metodologias para a prática da AIA (MACEDO, 2015, p. 189).

Apesar de a Resolução CONAMA nº 001/1986 ser omissa em obrigar que se mencione e descreva(m) o(s) método(s) de AIA utilizado(s) na elaboração do EIA, tal lacuna pode ser sanada por meio do Termo de Referência. Glasson *et al.* (1999, p. 104) explicam que, em muitos casos, a discussão dos métodos refere-se à identificação do impacto, “[...] mas que na maioria das vezes também é de uso considerável em atividades, a exemplo da previsão de impacto, avaliação, comunicação, mitigação, apresentação, monitoramento e auditoria”. O autor destaca também a identificação de impactos com um enfoque participativo (métodos de envolvimento da comunidade). No caso da abordagem geomorfológica, os conhecimentos e metodologias inerentes à etnogeomorfologia podem ser de grande valia, sendo definida como:

[...] uma ciência híbrida, que estuda o conhecimento que uma comunidade tem acerca dos processos geomorfológicos, levando em consideração os saberes sobre a natureza e os valores da cultura e da tradição locais, sendo a base antropológica da utilização das formas de relevo por dada cultura (RIBEIRO, 2012, p. 49).

Para a citada autora, o estudo das formas e dos processos geomorfológicos contribui para uma melhor organização do uso e manejo da paisagem pelas sociedades. E, assim, constitui uma área que aglutina conhecimentos de diversas campos científicos, além da geomorfologia, a exemplo da geografia, pedologia, ecologia, antropologia etc. Ribeiro (2012) considera que a etnogeomorfologia pode ser aplicada no planejamento e na gestão do uso do espaço, além dos usos no processo de ensino-aprendizagem nos ciclos básicos da educação.

Por outro lado, devem ser destacados os impactos cumulativos (ou acumulativos), como aqueles que se acumulam no tempo ou no espaço, resultando de uma combinação de efeitos decorrentes de uma ou diversas ações. Cumulatividade e sinergismo referem-se, respectivamente, à possibilidade de os impactos se somarem ou se multiplicarem.

A abordagem e o tratamento insatisfatório dos impactos cumulativos nos EIAs vêm sendo objeto de análise. “Tais deficiências decorrem de duas ordens de causas: (i) dificuldade ou mesmo impossibilidade de obter informação sobre outros projetos presentes e, ainda mais, sobre projetos futuros; (ii) problemas de planejamento e condução dos estudos ambientais” (SÁNCHEZ, 2013, p. 238).

Uma outra atividade consiste na avaliação da importância dos impactos, constituindo numa das mais difíceis de um EIA, dentre outros motivos, devido ao alto grau de subjetividade a tal atividade. Para isso, o EIA surge como um estudo técnico que fundamenta a tomada de

decisão, ou seja, por meio de um juízo de valor. Sánchez (2013, p. 322) acrescenta que “[...] é um paradigma racionalista que fundamenta a avaliação de impacto ambiental, mas a inevitabilidade da subjetividade na avaliação deve ser reconhecida”.

No tocante à reversibilidade, Sánchez (2013, p. 328) considera que “[...] a alteração da topografia causada por uma grande obra de engenharia ou uma mineração é praticamente irreversível pois, mesmo se tecnicamente exequível, é na maioria dos casos inviável economicamente recompor a conformação topográfica original”. Como se sabe, um dos objetivos da AIA é nortear o planejamento e a gestão ambiental¹⁶ das atividades de um determinado empreendimento. Contudo, o EIA foca em prováveis impactos e a implementação de determinadas ações de gestão, que serão implementadas caso o empreendimento venha a ser licenciado, tanto para a sua instalação como para a sua operação.

Sendo assim, o plano de gestão ambiental¹⁷ oriundo de um EIA leva em consideração as fases de planejamento, implantação (construção), operação e desativação do empreendimento¹⁸. Sánchez (2013) explica que o plano de gestão ambiental resultante da avaliação de impactos é essencial para se ter uma contribuição efetiva. Destaca três condições para se alcançar tal objetivo:

- a) a preparação cuidadosa do plano de gestão, visando buscar atenuar os impactos adversos significativos e reduzir as lacunas de conhecimento e as incertezas sobre os impactos reais do projeto;
- b) envolvimento das partes interessadas na elaboração do plano (empreendedor, órgãos públicos, ONGs etc.);
- c) adequada implementação do plano de gestão ambiental dentro de prazos compatíveis com o cronograma do empreendimento. Recomenda-se o uso de instrumentos, como: a supervisão ambiental, a fiscalização, a auditoria ambiental e o monitoramento ambiental.

¹⁶ GESTÃO AMBIENTAL: “Um conjunto de medidas de ordem técnica e gerencial que visam a assegurar que o empreendimento seja implantado, operado e desativado em conformidade com a legislação ambiental e outras diretrizes relevantes, a fim de minimizar os riscos ambientais e os impactos adversos, além de maximizar os efeitos benéficos” (SÁNCHEZ, 2013, p. 380).

¹⁷ “Um plano de gestão ambiental é um conjunto de medidas propostas para prevenir, atenuar ou compensar impactos adversos e riscos ambientais, além de medidas voltadas para valorizar os impactos positivos” (SÁNCHEZ, 2013, p. 382).

¹⁸ “Durante muitos anos, o foco da avaliação de impacto ambiental foi evitar e minimizar as consequências negativas dos investimentos públicos e privados. O enfoque atual é muito mais amplo, pois vários protagonistas perceberam que o potencial do processo de AIA é muito maior: em vez de concentrar-se na redução dos impactos negativos, o processo de AIA pode permitir uma análise, sob a perspectiva de múltiplos atores, da contribuição que os projetos analisados podem trazer para a recuperação da qualidade ambiental, para o desenvolvimento social e para a atividade econômica da comunidade ou da região sob sua influência” (SÁNCHEZ, 2013, p. 380).

O plano de gestão ambiental inclui as medidas mitigadoras, o plano de monitoramento, as medidas compensatórias e as medidas de valorização dos impactos benéficos, sendo exemplificado, no quadro 3, um plano de gestão ambiental de uma barragem e as suas medidas mais comumente aplicadas.

Quadro 3 – Medidas típicas de um plano de gestão ambiental de uma barragem

Remoção da vegetação antes da inundação
Compensação pela perda de habitats mediante a proteção de uma área equivalente
Extrair os materiais de construção das áreas a serem inundadas
Adotar medidas de controle da poluição durante as obras
Adotar medidas de controle de erosão durante as obras
Recuperar as áreas degradadas
Educação ambiental e treinamento da mão de obra
Salvamento arqueológico na área diretamente afetada
Reassentamento de populações atingidas
Provisão de infraestrutura e serviços nas áreas de reassentamento
Indenização das benfeitorias perdidas
Indenização de direitos de exploração mineral
Assistência técnica para os reassentados
Regularização jurídica das propriedades
Manutenção de vazão mínima a jusante
Regularização da vazão a jusante de forma a reproduzir o regime hídrico preexistente
Construção de escada para passagem de peixes
Desenvolvimento da produção pesqueira no reservatório
Desenvolvimento do potencial turístico e recreativo
Reconstrução da infraestrutura inundada (estradas, linhas de transmissão, armazéns, infraestrutura social)
Documentação cultural e programa de valorização da cultura local
Documentação e registro do patrimônio natural perdido
Medidas de proteção da bacia hidrográfica (revegetação das margens do reservatório, programas de conservação de solos etc.)

Fonte: Sánchez (2013, p. 382).

O Quadro 3 demonstra o alcance dos impactos ambientais gerados pela construção e operação de uma barragem, pois elenca medidas que afetam elementos de todos os três meios (físico, biótico e socioeconômico). No caso específico da geomorfologia, verificam-se medidas diretamente associadas (“controle de erosão durante as obras”, “recuperar as áreas degradadas” e “medidas de proteção da bacia hidrográfica”) e que, obrigatoriamente, precisam ser implementadas em qualquer obra de barragem.

2.4.3 Medidas mitigadoras (prevenção, atenuação, potencialização e compensação)

As medidas mitigadoras são ações propostas visando à redução da magnitude ou da importância dos impactos ambientais adversos. Sánchez (2013, p. 394) afirma que, “[...] para

obras de infraestrutura, minas, barragens e outros tipos de projetos cujas características estão diretamente ligadas às condições do terreno, é sempre necessário que os programas de mitigação sejam desenhados sob medida”. Vale lembrar que muitas medidas estabelecidas nos EIAs são decorrentes de exigências legais, o que não parece ser conveniente à inclusão e restrição a tais exigências.

Cada impacto significativo deve ter sua mitigação, mas é preciso considerar se as diferentes medidas a serem implementadas em um mesmo empreendimento são compatíveis entre si e se a própria mitigação não poderia ser fonte de outros impactos adversos. A discussão que se coloca é se as medidas mitigadoras e compensatórias são eficazes. Sánchez (2013) chama a atenção para a necessidade do monitoramento e a avaliação *ex post* para que se gerem meios de responder a cada caso.

De acordo com a Comissão Mundial de Barragens (WCD, 2000), em muitos casos as medidas mitigadoras não atingem seus objetivos. Segundo a entidade, para que se tenha uma boa implementação das medidas mitigadoras se fazem necessárias: uma base de informação (diagnóstico); cooperação, desde o início da avaliação ambiental, entre ecólogos, projetistas da barragem e a população afetada; monitoramento sistemático, acompanhado de análises sobre a eficácia das medidas mitigadoras que possam ser difundidas para aplicação em outros projetos.

Diante da existência de impactos de ocorrência incerta, Sánchez (2013) propõe o plano de gerenciamento de riscos¹⁹ e o plano de atendimento a emergências. No entanto, não se faz necessário um grande detalhamento para algumas tipologias de empreendimento, sendo suficiente descrever os procedimentos de prevenção de riscos e das ações previstas em caso de ocorrência de acidentes. Também existem as medidas compensatórias, já que

[...] alguns impactos ambientais não podem ser evitados. Outros, mesmo que reduzidos ou mitigados, podem ainda ter magnitude muito elevada. Nessas situações, fala-se em medidas para compensar os danos ambientais que vierem a ser causados e que não poderão ser mitigados de modo aceitável (SÁNCHEZ, 2013, p. 397).

2.4.4 Programas de monitoramento

O monitoramento tem a essência da sua existência decorrente das previsões dos impactos ambientais e das medidas mitigadoras propostas, constantes num determinado EIA.

¹⁹ “O Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) deve contemplar todas as ações voltadas para a prevenção de acidentes ambientais e todas as ações a serem implementadas em caso de ocorrência de um acidente” (SÁNCHEZ, 2013, p. 394).

Essas previsões, conforme afirma Sánchez (2013), constituem hipóteses sobre possíveis respostas do ambiente diante das solicitações impostas pelo empreendimento. Por outro lado, só serão confirmadas ou não se houver a implantação do empreendimento e os impactos sejam monitorados.

Sendo assim, o desafio é fazer com que os programas de gestão sejam eficientes no objetivo de conservar e proteger o meio ambiente. Sánchez (2013) destaca que o monitoramento ambiental pode ser classificado segundo as etapas do empreendimento: pré-operacional (durante os estudos de base, podendo continuar depois da conclusão do EIA, mas antes de ser iniciada a implantação do empreendimento), operacional (durante as etapas de implantação, funcionamento e desativação) e pós-operacional (depois do fechamento da atividade). Para Sánchez (2013), o plano de monitoramento²⁰ necessita apresentar, no mínimo: os parâmetros a serem monitorados; a localização das estações de coleta; a periodicidade das amostragens; a técnica de coleta, preservação e a análise das amostras.

Logo, o monitoramento ambiental visa buscar controlar o desempenho ambiental da atividade ou empreendimento, o que acarreta na existência e aplicação de medidas corretivas diante do surgimento de alguma eventualidade.

A partir da afirmação anterior, confirma-se aquilo que foi dito, inicialmente, de que o EIA é um instrumento de planejamento, como também de gestão, devendo ser aplicado, principalmente, nas fases de construção e de operação de um empreendimento. Arts *et al.* (2001) *apud* Sánchez (2013, p. 516) definem a fase de acompanhamento (EIA *follow-up*) como “[...] o monitoramento e a avaliação dos impactos de um projeto [...] para sua gestão e comunicação sobre seu desempenho ambiental”. Para esses autores, “monitoramento”, “[...] avaliação da conformidade com padrões preestabelecidos e do desempenho ambiental do projeto”, “gestão” e “comunicação” constituem os quatro elementos de acompanhamento no processo de AIA. Sánchez (2013, p. 516-517) comenta que:

O monitoramento ambiental refere-se à coleta sistemática e periódica de dados previamente selecionados, com o objetivo principal de verificar o atendimento a requisitos predeterminados, de cumprimento voluntário ou obrigatório, como padrões legais e condições impostas pela licença ambiental. Os itens monitorados abarcam parâmetros do ambiente afetado e parâmetros do empreendimento. Quando o monitoramento ambiental usa os mesmos parâmetros, as mesmas estações de amostragem e os mesmos métodos de coleta e análise que foram usados para a preparação do diagnóstico ambiental,

²⁰ “O monitoramento ambiental do projeto não deve ser confundido com o controle geral de qualidade do meio ambiente, feito por órgãos governamentais; deve ser concebido em função dos impactos identificados e previstos, de modo que possa ser capaz de distinguir as mudanças induzidas pelo empreendimento daquelas ocasionadas por outras ações ou por causas naturais” (SÁNCHEZ, 2013, p. 411).

é possível constatar os impactos reais do projeto, por meio de uma comparação com a situação pré-projeto (dada no diagnóstico ambiental prévio).

Vale destacar que o EIA e o licenciamento ambiental não devem ser vistos como instrumentos que visam obstaculizar o desenvolvimento das atividades econômicas ou de interesse social, sejam elas públicas, sejam privadas. No entanto, constituem meios para que se possam avaliar as condições de instalação e de desenvolvimento da atividade, associando às características do ambiente que será objeto de ocupação, de forma a avaliar os impactos ambientais, estabelecendo medidas mitigadoras e programas ambientais de monitoramento, que permitirão concluir sobre a viabilidade daquele tipo de empreendimento numa determinada área.

2.5 LISTAS DE VERIFICAÇÃO E A ANÁLISE TÉCNICA DE QUALIDADE DOS EIAs

As Listas de Verificação vêm sendo mundialmente utilizadas, principalmente voltadas à elaboração e à avaliação da qualidade dos estudos de impacto. No Brasil, as listas de Pinho, Maia e Monterroso (2007), Sánchez (2013) e Montaña *et al.* (2014) são exemplos de iniciativas para os estudos ambientais. No entanto, vale salientar que tais listas tomam como referência algumas listas produzidas em outros países, a exemplo de Hickie e Wade (1998), Lee e Colley (1999), de Glasson, Therivel e Chadwick (1999) e o Guia da Comissão Europeia (2001). Mais recentemente, segundo Fonseca *et al.* (2020), impulsionado pelas expectativas de eficiência administrativa, modernização e efetividade, as agências de alto nível do governo federal (IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e o ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) estão promovendo a padronização de métodos para prever impactos e avaliar a significância (IBAMA, 2016, ICMBio, 2018ba). Foram criados grupos de trabalho técnico para desenvolver padrões para orientar a prática. Essas iniciativas ainda estão em andamento, mas, segundo os autores, consistem na criação de "protocolos" para o uso de listas de verificação padrão e respectivas terminologias, procedimentos e critérios.

Pode-se dizer que, no Brasil, a Resolução CONAMA nº 01/86 estabelece o conteúdo mínimo dos EIAs. São diversos os pesquisadores brasileiros e estrangeiros que vêm se debruçando sobre a avaliação crítica²¹ dos EIAs elaborados, como forma de demonstrar a real efetividade nas realidades analisadas. A qualidade dos estudos de impacto ambiental pode ser avaliada em função dos critérios de efetividade, eficiência e imparcialidade (CANADIAN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT RESEARCH COUNCIL, 1988 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1999).

Na literatura internacional, destacam-se alguns modelos voltados para a análise da qualidade dos EIAs: *EIS Review Checklist* (EISRC) (EUROPEAN COMMISSION, 2001); *Lee and Colley Review Package* (LCRP) (LEE; COLLEY, 1992); *Environmental Impact Statement Review Package* (EISRP) (GLASSON; THERIVEL; CHADWICK, 2005). Venonez (2018, p. 48) apresentou um quadro listando a aplicação de tais modelos por diversos autores em diferentes países, destacando “[...] a ampla utilização do *Lee and Colley Review Package* em diversos contextos” (Quadro 4). Segundo Lee e Colley (1992), a publicação tem o objetivo de abordar o fortalecimento do controle da qualidade no processo de AIA, por meio de uma revisão sistemática de EIAs.

Quadro 4 – Conceitos de avaliação – *Lee and Colley Review Package*

Conceito	Critério
A	Bem realizado, nenhuma tarefa importante incompleta
B	Geralmente satisfatório e completo, apenas omissões menores e poucos pontos inadequados
C	Satisfatório, apesar de omissões ou pontos inadequados
D	Contém partes satisfatórias, mas o conjunto é considerado insatisfatório devido a omissões importantes ou pontos inadequados
E	Insatisfatório, omissões ou pontos inadequados significativos
F	Muito insatisfatório, tarefas importantes desempenhadas de modo inadequado ou deixadas de lado
NA	Não aplicável. O tópico não é aplicável ou irrelevante para o contexto

Fonte: Lee e Colley (1992, p. 53, parte B, tradução VERONEZ, 2018).

Org.: autor.

²¹ “A percepção de que muitos consultores eram mal qualificados, que não entendiam os objetivos e muito menos os fundamentos da AIA, e que reduziam sua atividade a preparar documentos que pudessem facilitar a obtenção de uma licença ambiental levou ao surgimento da expressão ‘indústria do Rima’, indicando a preparação em série de relatórios quase idênticos, embora para projetos distintos” (SÁNCHEZ, 2013, p. 450).

Sendo assim, mesmo considerando a possibilidade de um EIA para um determinado empreendimento apresentar uma maior quantidade de impactos positivos, deve-se salientar que os EIAs são voltados para empreendimentos enquadrados como causadores de significativa degradação ambiental, o que leva à conclusão que, na maioria das vezes, os EIAs apresentarão o predomínio de impactos negativos. Sendo assim, Sánchez (2013, p. 453) destaca que os órgãos ambientais no Brasil (e a maioria em outros países) “[...] não fazem uma análise ou uma classificação sistemática da qualidade dos estudos apresentados, de forma tal que seja possível alguma comparação ou aferição de sua qualidade”. O autor destaca que é natural pensar que a qualidade dos EIAs apresente uma melhora com o passar do tempo, considerando que os profissionais que elaboram e que analisam passem a ter mais experiência por meio dos seus erros e acertos. Vale lembrar que, muitas vezes, as deficiências constatadas nos EIAs são decorrentes dos Termos de Referência mal elaborados, que se caracterizam por ser pouco exigentes e sem objetividade. Para Sánchez (2013, p. 453):

O diagnóstico ambiental é a parte mais facilmente criticável dos EIAs, haja vista que os inventários sempre podem ser mais detalhados e as análises mais aprofundadas. Há, portanto, de se estabelecer qual a extensão e o grau de detalhe dos estudos necessários para fundamentar a análise dos impactos e a proposição de medidas de gestão, de modo que a análise técnica do EIA tenha como referência esses requisitos mínimos. Logo, é na etapa de preparação dos termos de referência que devem ser buscadas as causas das falhas mais comuns dos diagnósticos ambientais, pois é antes de ter início a preparação propriamente dita do EIA que devem ser definidos os levantamentos necessários, a extensão da área de estudo, os métodos empregados e vários outros parâmetros para orientar o estudo a ser feito. Com termos de referência falhos, grande é a probabilidade de se encontrar estudos ambientais falhos. Naturalmente, um EIA feito a partir de excelentes termos de referência também pode ser de má qualidade, concorrendo para isso outros fatores, como capacitação de equipe e os recursos disponíveis.

Brasil – MPF (2004) identificou desconexão entre o diagnóstico ambiental, a análise de impactos e as propostas de mitigação, e “[...] um bom EIA não se faz somente com um bom diagnóstico, mas com um adequado balanço entre diagnóstico, prognóstico e propostas factíveis e eficazes de atenuação dos impactos adversos e valorização dos impactos benéficos” (SÁNCHEZ, 2013, p. 453 e 455).

Um outro ponto a ser tocado é com relação à ética envolvida nos EIAs, quando alguns estudos omitem determinadas informações relevantes que poderiam gerar uma decisão desfavorável ao projeto. Para os técnicos do órgão ambiental licenciador, a análise técnica se constitui na segunda tarefa mais importante, após a preparação dos termos de referência (SÁNCHEZ, 2013).

A leitura crítica do EIA é a tarefa central, mas a análise costuma ser facilitada por outras atividades, como as imprescindíveis vistorias de campo, a eventual visita de empreendimentos similares, a consulta à bibliografia técnica e científica e a consulta a bases de informação e conhecimento da própria organização (pareceres anteriores, relatórios de monitoramento), que contribui para a coerência entre sucessivos pareceres. O trabalho de análise deve ser multidisciplinar, como deve também ser a preparação do EIA e, naturalmente, deve-se levar em conta os resultados da consulta pública (SÁNCHEZ, 2013, p. 456).

Portanto, compreende-se que a obtenção de melhorias na qualidade dos EIAs e a obtenção de bons índices de efetividade na aplicação do que foi recomendado para o empreendimento requerem o uso de outros instrumentos de planejamento e de gestão ambiental, voltados para o EIA. Como exemplo, destaca-se a auditoria ambiental, que pode ser útil durante todas as etapas que permeiam o EIA: elaboração do EIA, análise técnica do EIA (tendo como referência, principalmente, o Termo de Referência) e a implementação/gestão do que foi previsto para as suas diversas fases.

2.6 AUDITORIA AMBIENTAL

Uma das motivações para o surgimento e disseminação da auditoria ambiental foram os graves acidentes ambientais, principalmente ligados ao setor industrial. Enquanto que o poder público, nas palavras de La Rovere *et al.* (2011, p. 9), “[...] representado pelas agências ambientais, absorveu instrumentos criados pela gestão empresarial”, passando, em alguns países, a auditoria ambiental a “[...] ser utilizada como instrumento de políticas públicas voluntária e estimulada, em outros se apresenta como compulsória” (LA ROVERE *et al.*, 2011, p. 10), sendo essa última situação comum em alguns estados brasileiros, conforme descrito no Quadro 36. As auditorias também passaram a ser exigidas pelos bancos de financiamento, a exemplo, segundo Glasson *et al.* (1999), do Banco Africano de Desenvolvimento, diante das exigências ambientais para os projetos financiados, que recomendava uma auditoria para garantir que as medidas de mitigação e os danos fossem reduzidos ao mínimo.

No Brasil, vários autores têm se debruçado em tal temática contemplando os diversos aspectos (BARATA, 1995; SILVA, 1996; LA ROVERE; BARATA, 1996; D’AVIGNON *et al.*, 2000; SALES, 2001; CERQUEIRA, 2004; MACHADO, 2004; PHILIPPI JR.; AGUIAR, 2004; BARBIERI, 2007; ALMEIDA, 2008; CAMPOS; LERÍPIO, 2009; LA ROVERE *et al.*, 2011; OLIVEIRA, 2014), como também em outros países (BISSET, 1984; TOMLINSON; ATKINSON, 1987a e 1987b; BUCKLEY, 1991; JACOBS, 1991; GRAYSON, 1992;

WOOLSTON, 1993; BIRD, 1996; BIRD; THERIVEL, 1996; MORRISON-SAUNDERS *et al.*, 2014).

Conceitualmente, a auditoria é “[...] um exame e/ou avaliação independente, relacionada a um determinado assunto, realizada por especialista no objeto de exame, que faça uso de julgamento profissional e comunique o resultado aos interessados (clientes)” (LA ROVERE *et al.*, 2011, p. 13). Já Oliveira e Rodrigues (2001) explicam que “auditar” significa ouvir e inquirir, a partir do uso de conhecimentos prévios de um determinado fenômeno, visando ao teste da veracidade ou consistência de certas hipóteses, fatos ou informações. Para os citados autores, a auditoria é “[...] o exercício de desvendar a verdade pela obtenção de evidências objetivas. [...], como processo sistemático de verificação e análise, desenvolve-se por etapas que vão desde o planejamento até a execução dos trabalhos de campo” (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2001, p. 27).

A auditoria ambiental, segundo a Resolução CONAMA nº 306/2002, é definida como o:

Processo sistemático e documentado de verificação, executado para obter e avaliar, de forma objetiva, evidências que determinem se as atividades, eventos, sistemas de gestão e condições ambientais especificados ou se as informações relacionadas a estes estão em conformidade com os critérios de auditoria estabelecidos nesta Resolução, e para comunicar os resultados desse processo.

Para La Rovere *et al.* (2011, p. 13), “[...] a auditoria ambiental é um instrumento usado por empresas para auxiliá-las a controlar o atendimento a políticas, práticas, procedimentos e/ou requisitos estipulados com o objetivo de evitar a degradação ambiental”. E Oliveira (2014, p. 29) define como:

[...] o processo documentado de verificação, executado para obter e avaliar, de forma sempre objetiva, evidências que determinem se as atividades, eventos, sistemas de gestão e condições ambientais especificados ou as informações relacionadas a estes estão em conformidade com os critérios de auditoria, e para comunicar os resultados desse processo.

No tocante à aplicação da auditoria ambiental em obras públicas, como é o caso da proposta apresentada neste trabalho, Oliveira e Rodrigues (2001, p. 23) defendem que “[...] a realização de auditorias ambientais nortearia o gestor público quanto às restrições e exigências ambientais a serem observadas por empreendimentos públicos impactantes [...]”, enfatizando o

papel do Tribunal de Contas da União (TCU)²², por meio da verificação do cumprimento das determinações ambientais mais importantes. Os autores elencam procedimentos voltados ao planejamento da auditoria ambiental de um empreendimento público passível de licenciamento ambiental. Lima (2001) lista os tipos de auditorias ambientais no âmbito do TCU (Quadro 5), sendo citado o EIA na auditoria do licenciamento ambiental.

Quadro 5 – Tipologia das auditorias ambientais no âmbito do controle externo do TCU

TIPO	OBJETO
Auditoria de orçamento ambiental	Análise da aplicação dos recursos alocados para programas ambientais, oriundos de dotações orçamentárias, de empréstimos ou doações internacionais, ou da receita própria dos órgãos ambientais.
Auditoria de impactos ambientais	Análise dos impactos causados ao meio ambiente pelas atividades do próprio Estado, diretamente ou mediante concessões, permissões e autorizações.
Auditoria dos resultados das políticas ambientais	Análise da eficiência e da eficácia das políticas públicas afetas ao meio ambiente.
Auditoria da fiscalização ambiental pública	Análise da eficiência da atuação do poder público como fiscal do meio ambiente.
Auditoria de cumprimento dos tratados ambientais internacionais	Análise da adequada execução de tratados firmados pelo Brasil.

Fonte: Lima (2009).

Org.: autor.

A auditoria ambiental precisa ser preparada, por meio de um rigoroso planejamento, voltado à sua aplicação. Aspectos como o objetivo, escopo, escolha dos auditores e a disponibilização dos recursos para a realização da auditoria são imprescindíveis.

Sendo assim, o Protocolo e a Lista de Verificação (Checklist) são os instrumentos essenciais para a realização da auditoria ambiental. De acordo com La Rovere *et al.* (2011, p. 60), o Protocolo “[...] é um plano que o auditor deve seguir na aplicação da Auditoria Ambiental, no local, para atingir seus objetivos”. No caso da pesquisa aplicada aos EIAs, o “auditor” pode ter seu papel desempenhado, prioritariamente, pelos consultores responsáveis pela elaboração do EIA, pelos técnicos dos órgãos ambientais licenciadores incumbidos da análise e pelos profissionais encarregados da gestão ambiental do empreendimento, seja na fase de instalação, seja na de operação, contudo não excluindo outros profissionais, a exemplo dos auditores dos Tribunais de Contas, pesquisadores das universidades e institutos de pesquisa, membros de ONGs etc.

²² “Se as instituições são da esfera pública federal ou administram recursos de origem federal, o Tribunal de Contas da União (TCU) é por excelência o órgão destinado a realizar esse tipo de atividade” (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2001, p. 23).

Se tal instrumento, na realidade empresarial, tem o intuito de estabelecer o passo a passo dos “[...] procedimentos que devem ser seguidos para coletar evidências das práticas de gestão da empresa” (LA ROVERE *et al.*, 2011, p. 60), na aplicação proposta neste trabalho o instrumento visará expor um roteiro do que deve ser contemplado no estudo ambiental e do que deve ser atendido na atividade de implementação (gestão ambiental), e de como realizar a obtenção de tais conhecimentos, seja em campo, no laboratório ou no gabinete, e os materiais que poderão vir ser usados: cartográfico, instrumentos de campo, documentos, entrevistas etc. Vale salientar que, a depender do projeto e do ambiente impactado, algumas situações necessitarão ser incluídas no Protocolo, o que irá depender dos conhecimentos e da experiência do(s) profissional(is) incumbido(s) da aplicação do instrumento. Ou seja, o Protocolo não deve ser visto como algo rígido, absoluto, que não permita desvios e não venha substituir o julgamento profissional (LA ROVERE *et al.*, 2011).

Já a lista de verificação constitui um outro instrumento a ser utilizado numa auditoria, visando nortear a aplicação da auditoria ambiental de acordo com o seu objetivo e atentando para as particularidades inerentes ao caso analisado. Segundo La Rovere *et al.* (2011, p. 95), a lista “[...] tende a ser longa e detalhada, frequentemente estruturada para incorporar todas as questões relevantes”.

Segundo o IBAMA (2016, p.29), as listas “são documentos que relacionam ações para o desenvolvimento de atividades, análises, controles ou auditorias a serem executadas, garantindo qualidade, aumento de segurança ou redução de falhas”. Logo, com o objetivo de orientar, padronizar e registrar as ações e providências elencadas. Podendo ser simples ou complexa, contudo, é sempre uma ferramenta estruturada, geralmente específica para determinado componente, e usada para verificar se um conjunto de etapas foi executado de modo satisfatório (IBAMA, 2016). Em sua publicação, o IBAMA identificou e analisou listas de verificação nos órgãos estaduais no Brasil (total de 386 listas) e em alguns países (Alemanha, Holanda, Portugal, Estados Unidos, Canadá, Austrália, Chile e Brasil), total de 132 listas, voltadas para as etapas de triagem, definição do escopo, identificação de impactos e monitoramento e acompanhamento.

Em se pensando numa auditoria ambiental aplicável aos Estudos de Impacto Ambiental, não resta dúvida o papel desempenhado como instrumento que pode contribuir com a fiscalização ambiental dos órgãos públicos, já que a aplicação dela perpassa por todas as fases do licenciamento ambiental de um determinado empreendimento, bem como pode contribuir nas atividades de gestão ambiental do empreendimento ao permitir a verificação do cumprimento do que consta no estudo ambiental, seja na fase de instalação, seja na de operação.

Já a fiscalização ambiental, utilizada por alguns autores como sinônimo de inspeção ambiental é caracterizada pelo caráter não periódico e por não ser submetida a uma programação vinculante para o órgão ambiental. A falta dela acarreta na ausência de monitoramento do licenciamento ambiental do empreendimento (MACHADO, 2004). Logo, a fiscalização fará uso dos dados do monitoramento ambiental, caso existam. Na sua falta, deverá levantar os dados da realidade atual do ambiente. Portanto, a realização da auditoria ambiental não descarta a ação de fiscalização pelo órgão ambiental, o que evidencia as diferenças entre esses dois instrumentos.

2.7 AUDITORIA DE ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

No tocante à auditoria de Estudo de Impacto Ambiental, em nível internacional, destacam-se as publicações de Munro *et al.* (1986), Htun (1988), Sadler (1989), Bailey e Hobbs (1990), Davies e Sadler (1990), Culhane (1993) e Frost (1997). No Brasil, destaca-se o trabalho de Silva (1996) como um dos primeiros trabalhos sobre o tema.

Tratar da auditoria de EIA é remeter à busca em analisar a eficiência desses estudos. A “auditoria de EIA”, nas palavras de Sadler (1988), está diretamente associada ao monitoramento dos impactos e das medidas mitigadoras indicadas. A inserção da auditoria nos EIAs contribui para o monitoramento, bem como no melhor conhecimento das predições dos impactos, de modo a aperfeiçoar as práticas de gerenciamento dos impactos identificados e avaliados. Logo, a auditoria torna-se um instrumento fundamental para que se garanta a conformidade com os programas de monitoramento e outros itens do EIA.

Para Bisset e Tomlinson (1988, p. 117), esse tipo de auditoria tem o objetivo de “[...] descrever o processo de comparação dos impactos previstos em um EIA com os que realmente ocorrem após a implementação, a fim de avaliar se o processo de previsão de impactos apresenta desempenho satisfatório”. Os autores consideram que o objetivo da auditoria é, entretanto, não para examinar a lógica do tomador de decisão, mas para estudar a qualidade das informações disponíveis para o processo de tomada de decisão. Sánchez (2013, p.69), ao abordar a legislação ambiental brasileira, afirma que “[...] em teoria, a regulamentação brasileira, de modo inovador, previa que o EIA fosse o equivalente de uma auditoria de terceira parte, na qual uma equipe independente formula um parecer sobre determinada atividade, à imagem da auditoria contábil”.

Nessa discussão, faz-se necessário remeter à revisão do EIA “*review EIS audit*”, como sendo a atividade que deve analisar se o EIA atendeu as exigências legais e ao que foi proposto

no Termo de Referência emitido pelo órgão ambiental licenciador. Enquanto isso, na fase de análise (revisão) pelo órgão ambiental, pode-se considerar que esse desempenha o principal papel no controle da qualidade desses estudos. Contudo, dificuldades inerentes à realidade brasileira demonstram a necessidade de aperfeiçoamento e avanços. Sánchez (2013, p.195) aponta que “reter pessoal qualificado é um grande desafio que influencia diretamente a qualidade da revisão”. No Quadro 6, Christofolletti (1999) detalha os critérios de efetividade, eficiência e imparcialidade aplicados à realidade dos EIAs.

Quadro 6 – Os critérios de efetividade, eficiência e imparcialidade aplicados à avaliação da adequabilidade dos EIAs

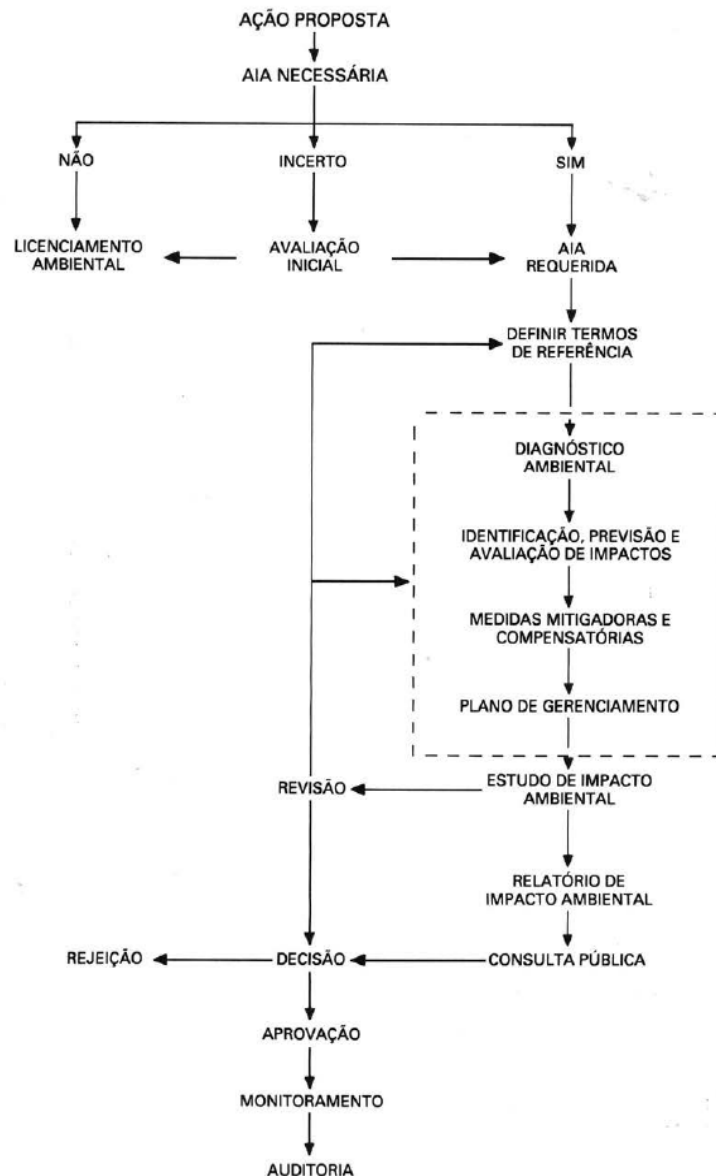
Critério de efetividade	Critério da eficiência	Critério da imparcialidade
As informações geradas no EIA contribuíram para a tomada de decisão	As decisões do EIA estejam feitas em tempo hábil para a economia e outros fatores que determinam as decisões do projeto	Todas as partes interessadas possuem oportunidade igual para influenciar as decisões antes que elas sejam tomadas
Foram corretas as predições da efetividade sobre as medidas dos impactos	Os custos relacionados com a condução do EIA e manejo dos inputs durante a implementação do projeto possam ser determinados e sejam razoáveis	As pessoas diretamente afetadas pelo projeto possuem igual acesso às normas de compensação
As medidas mitigatórias e compensatórias atingiram os objetivos almejados		

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1999).

Org.: autor.

A Figura 2 detalha as principais etapas do processo de AIA, com ênfase nas atividades desenvolvidas no EIA, culminando, após a aprovação, diante do monitoramento, com a etapa de auditoria.

Figura 2 – Principais etapas do processo de Avaliação de Impacto Ambiental com destaque para a etapa de auditoria



Fonte: Adaptado de Wathern (1988) por Sánchez (2013).

Glasson *et al.* (1999) estabelecem que a auditoria encontra-se totalmente relacionada ao monitoramento, por permitir a comparação dos resultados reais com os previstos e pode ser utilizada para avaliar a qualidade das previsões e a eficácia da mitigação. É o entendimento de Machado (2004, p. 101) de que

[...] a auditoria ambiental não pode dispensar o monitoramento ambiental, pois sem os seus dados dificulta-se a tal ponto uma idônea avaliação ambiental, que a auditoria transforma-se numa inspeção ambiental, isto é, avaliará as condições presentes, sem abranger o período anterior.

Sánchez destaca que o monitoramento ambiental é dinâmico, necessitando ser revisto, ajustado e atualizado.

Ademais, é da maior importância que os futuros gerentes do empreendimento conheçam a fundo os programas de gestão ambiental idealizados durante a fase de planejamento e incorporados como condicionantes da licença ambiental. Estudos empíricos realizados no Brasil mostraram que os gestores ambientais de empreendimentos sujeitos à apresentação prévia de um EIA raramente levam em consideração as recomendações desses estudos (PRADO FILHO; SOUZA, 2004 *apud* SÁNCHEZ, 2013, p. 414).

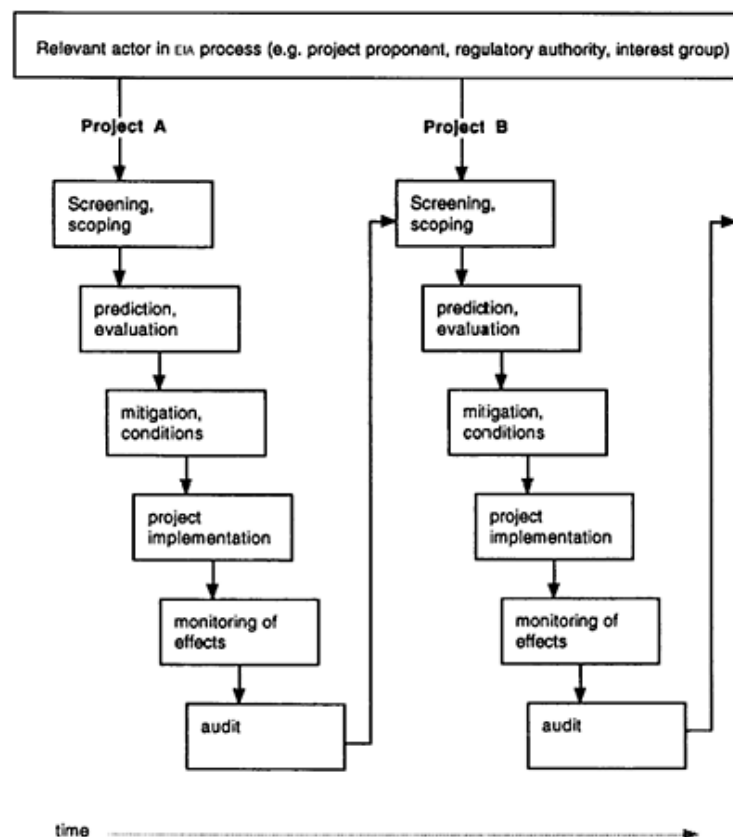
A auditoria de EIA torna-se um desafio, já que deve se propor a analisar a qualidade do que foi abordado no estudo, como também em indicar, por meio das não conformidades, aquilo que seria pertinente abordar, mas se encontra ausente, seja por algo que não foi cobrado no TR, seja por ter sido cobrado pelo órgão ambiental, e a equipe elaboradora tenha omitido. Sendo assim, a proposta de auditoria de EIA desta pesquisa recai não apenas sobre a etapa de implementação da gestão ambiental nas etapas de construção e de operação, mas alcança o uso dos seus instrumentos, como o protocolo, voltado a orientar a elaboração do EIA, bem como um Checklist para a análise do EIA, especialmente pelo órgão ambiental licenciador. Tal desafio é exemplificado por Mills (1992) *apud* Glasson *et al.* (1999), que, diante da análise do monitoramento de grandes projetos no Reino Unido, constatou a dificuldade em auditar as previsões do estudo, visto que havia muitas diferenças significativas entre o que foi declarado em um EIA e o que realmente aconteceu. Sendo assim, a efetividade da auditoria de EIA requer que a elaboração prévia e a análise do estudo sejam aprimoradas para que os itens auditáveis enriqueçam a auditoria ambiental a ser realizada.

Htun (1988), ao discorrer sobre o monitoramento e a auditoria de EIA, aponta a necessidade de uma maior disseminação de mecanismos específicos para monitoramento e para a auditoria de impactos ambientais. Para o autor, há falta de metodologias voltadas para a avaliação da qualidade dos itens monitorados durante a construção e na operação do empreendimento. Sem esses mecanismos, fica difícil avaliar se os efeitos e os impactos previstos estão realmente ocorrendo, bem como se as medidas mitigatórias estão sendo implementadas pelo proponente.

Machado (2004, p.100) defende que a “[...] auditoria ambiental será sempre posterior ao Estudo Prévio de Impacto Ambiental – EPIA exigido constitucionalmente para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente”. O autor entende que tal instrumento visa avaliar se as orientações contidas no EIA estão sendo observadas e se os métodos de controle ambiental estão sendo eficazes.

Para Htun (1988), a incorporação do monitoramento e da auditoria ao processo de AIA são requisitos importantes, pois não apenas fortalecerá, mas também possibilitará o uso de vários procedimentos, técnicas e metodologias voltados para a identificação, previsão e avaliação a serem melhoradas, o que resultará na melhoria da utilidade do EIA. Posição similar é defendida por Glasson *et al.* (1999, p. 184), que acreditam que a AIA não deve parar na decisão, mas deve ser um meio de obter uma boa gestão ambiental ao longo da vida do projeto, o que significa incluir o monitoramento e a auditoria no cotidiano da gestão ambiental do empreendimento. Os autores abordam a auditoria de impacto ambiental, com o objetivo de comparar os impactos previstos em um EIA com os que realmente ocorrem após a implementação, a fim de avaliar se a previsão dos impactos indicada no estudo foi observada na realidade (quão boas foram as previsões?) e se as medidas mitigadoras e os programas estão sendo implementados e se estão sendo eficazes. Tal a perspectiva encontra-se resumida na Figura 3, que indica a possibilidade de uma experiência bem-sucedida num determinado projeto, ser aplicada em outros.

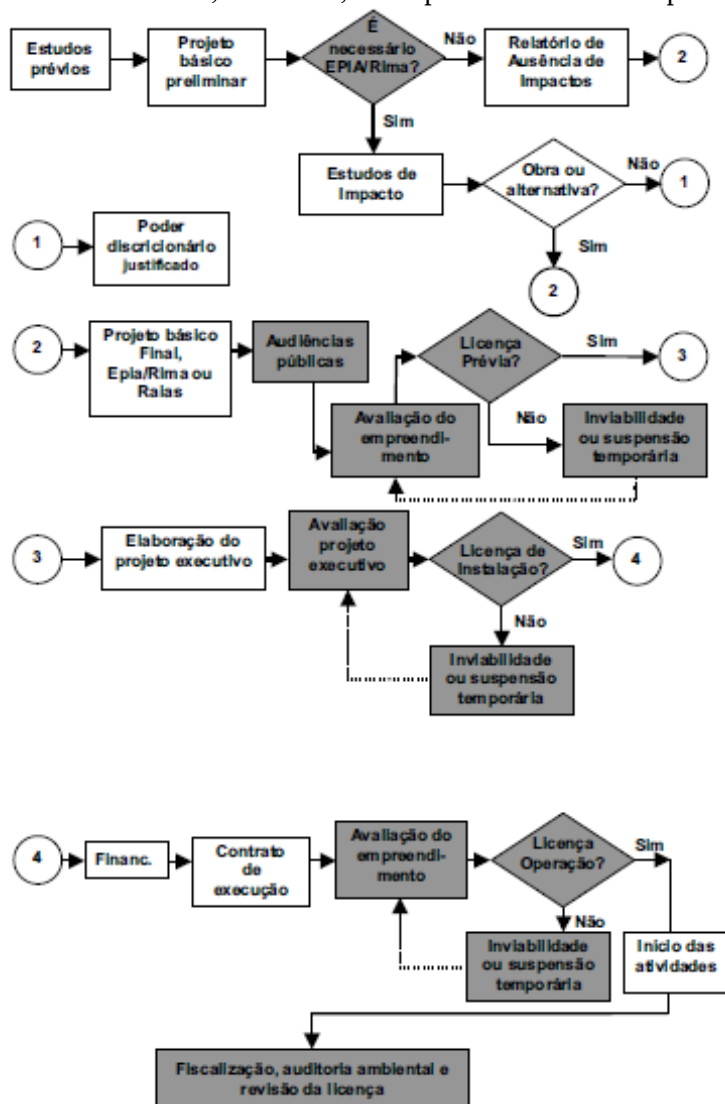
Figura 3 – Monitoramento e auditoria no processo de AIA



Fonte: Adaptada de Bisset, Tomlinson (1988) e Sadler (1988).

Já o fluxograma de Oliveira e Rodrigues (2001) elenca as principais etapas a serem observadas pela auditoria ambiental, destacando aquelas de responsabilidade do licenciador e as demais de responsabilidade do empreendedor.

Figura 4 – Principais etapas a serem observadas pela auditoria ambiental (em destaque, as de responsabilidade do licenciador; as demais, de responsabilidade do empreendedor)



Fonte: Oliveira e Rodrigues (2001).

Considera-se que a última etapa da Figura 4, “fiscalização, auditoria ambiental e revisão da licença”, em especial a atividade de auditoria, não se encontra restrita na responsabilidade do licenciador, mas também de responsabilidade do empreendedor.

No tocante à relação entre órgão licenciador e o empreendedor, a realização da auditoria ambiental no momento da renovação da licença de operação será de grande valia para esse momento, já que o órgão ambiental terá mais subsídios para avaliar a renovação em si, bem

como a possibilidade de aumentar ou diminuir o prazo da nova licença, e suprimir ou acrescentar condicionantes.

2.8 GEOMORFOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O PLANEJAMENTO E A GESTÃO AMBIENTAL

Quando se estuda o meio ambiente, a geomorfologia se situa numa posição privilegiada naquilo que se refere às suas contribuições na estruturação e dinâmica do ambiente físico-natural, impactando, positivamente e/ou negativamente, nos outros componentes naturais e nas formas de usos e ocupações espaciais por parte da sociedade humana.

Diante do avanço da degradação ambiental, resultante das atividades antrópicas, os instrumentos de planejamento e de gestão ambiental foram e continuam sendo criados e aprimorados para uma ocupação e um uso mais racional dos diversos locais do planeta. Sendo assim, a geomorfologia representa um conhecimento inserido nos diversos instrumentos visando o planejar e gerenciar espaços na superfície terrestre.

2.8.1 Geomorfologia e o planejamento ambiental

A evolução das pesquisas em geomorfologia resulta do próprio interesse da sociedade humana em ter o relevo como um dos referenciais para o desenvolvimento das suas diversas atividades (moradia, sistema viário, práticas econômicas – agricultura, indústrias, turismo etc.). Marques (2007, p. 24-25) expõe que:

A evolução do conhecimento humano na direção da Geomorfologia, entretanto, não se restringiu, apenas, a procurar reconhecer tipos de relevo e os processos a eles relacionados. Tem procurado ir sempre mais além, buscando encontrar respostas para muitas questões que pudessem explicar, por exemplo: como os processos se articulam entre si; como evoluem os grandes conjuntos de relevo; qual o significado do relevo no contexto ambiental; como interferir ou controlar o funcionamento dos processos geomorfológicos; como conviver com os processos catastróficos; como projetar (no espaço e no tempo) o comportamento dos processos e as formas de relevo resultantes.

Sendo assim, o relevo torna-se elemento fundamental na prática do planejamento do espaço geográfico. Portanto, entende-se que os conhecimentos geomorfológicos apresentam um viés de aplicação prática ao subsidiar, de modo significativo, o ordenamento territorial, principalmente por entender que a atuação da sociedade humana pode contribuir para a

manutenção do equilíbrio dos processos geomorfológicos, porém, como geralmente acontece, provocar a desestabilização das dinâmicas processuais de ambientes naturais, o que condiz com o entendimento de Paschoal *et al.* (2015), ao destacarem a contribuição da geomorfologia para o planejamento na ocupação do espaço geográfico, já que as ações humanas resultam em alteração que promovem a reorganização da morfodinâmica numa determinada escala de tempo. E citam a abordagem da antropogeomorfologia, que se utiliza de técnicas utilizadas pela geomorfologia tradicional e busca envolver “[...] a relação entre o sistema socioeconômico com o sistema físico-ambiental e que podem contribuir para o planejamento do processo de ocupação e uso da terra” (PASCHOAL *et al.*, 2015, p. 120).

Ross (2009) entende que a geomorfologia é o campo das ciências da Terra utilizada mais diretamente e que proporciona suporte absoluto às atividades humanas. Para ele:

É uma preocupação permanente desenvolver trabalhos geomorfológicos de base cartográfica, com fins claros de aplicação para as grandes obras de engenharia civil e para a organização ou o ordenamento territorial de espaços geográficos pouco ocupados ou reordenamento de espaços geográficos pouco ocupados ou reordenamento territorial de espaços produzidos há mais tempo no contexto da história (ROSS, 2009, p. 10).

Sendo assim, nota-se que todas as grandes obras de engenharia, incluindo as barragens, necessitam da contribuição dos estudos geomorfológicos, tanto no planejamento da obra, no diagnóstico ambiental como também para a avaliação dos impactos, o estabelecimento das medidas de mitigação e os planos de monitoramento e gestão. Girão e Corrêa (2004, p. 42) apontam que:

Percebe-se que a ação de planejar envolve invariavelmente a questão da espacialidade, pois incide na implementação de atividades em determinado território, sejam essas de micro a macroescala. Assim, o planejamento constitui-se em um processo que repercute na interação de fatores e, por conseguinte, nas características, funcionamento e dinâmica das organizações espaciais de um território. Dessa forma, na ação de planejar deve-se considerar os aspectos inerentes aos sistemas ambientais físicos (geossistemas) e socioeconômicos.

É a linha defendida por Christofolletti (2007), que demonstra a aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. Diante da intensificação das intervenções antrópicas em gerar e alterar processos, além de construir e destruir as formas do relevo, à ciência geomorfológica incumbe o papel de entender essas diferentes práticas, principalmente envolvendo as diversas obras de engenharia, com o dever de indicar as melhores ações a serem tomadas, evitando situações de risco geomorfológico. O que se pode afirmar é

que, a intensidade dos impactos a serem gerados, se acompanhados e analisados por geomorfólogos, acarretará em minimização dessas ações.

Dessa forma, Downs e Booth (2011) consideram a geomorfologia como parte da base científica da gestão ambiental, existindo uma preocupação, com a geomorfologia aplicada, que enfatiza os processos geomorfológicos e as modificações processuais e consequentes formas de relevo resultantes da influência das atividades antrópicas.

Os autores destacam que, apesar de uma extensa literatura sobre a aplicabilidade da geomorfologia para a gestão dos problemas ambientais, são encontradas poucas descrições da aplicação geomorfológica direta. Para tanto, apresentam uma tabela com quarenta e uma publicações de *Example texts in 'applied' geomorphology*, entre os anos de 1971 e 2007. Destacam três aplicações específicas para a geomorfologia voltadas à gestão ambiental: “prevenção e redução de riscos naturais”, “restauração e conservação ambiental” e “desenvolvimento sustentável dos recursos naturais” (DOWNS; BOOTH, 2011).

Sendo assim, “[...] passa a Geomorfologia (leia-se geomorfólogos) a preocupar-se com a dinâmica dos processos, com os sistemas de erosão e com a dinamicidade da natureza em contraposição a Geomorfologia que imperou até os anos 1950, descritiva e classificatória” (SUERTEGARAY, 2018, p.26). Para Tricart (1977), a morfogênese do relevo ganha relevância ao contribuir para o ordenamento territorial e o planejamento, sendo a compreensão de tal dinâmica fundamental para a análise ambiental. Logo, a Geomorfologia, “[...] ao apreender o estudo dos processos do passado e do presente na constituição do relevo, é capaz de visualizar os ritmos de degradação” (SUERTEGARAY, 2018, p. 26). Vale destacar que alguns aspectos dos estudos ambientais não conseguem ser analisados, exclusivamente, pela geomorfologia.

Downs e Booth (2011) comentam que, por muito tempo, existia a ideia de paisagens estáticas na execução de um projeto de engenharia e, sendo assim, os processos geomorfológicos foram ignorados. Porém, a pesquisa e o empirismo demonstraram a falácia dessa suposição, resultando numa integração progressiva da geomorfologia no gerenciamento ambiental. Os autores afirmam que, atualmente, como os objetivos do gerenciamento ambiental, normalmente, envolvem a redução do risco para o ambiente construído decorrente das mudanças no uso da terra, minimizar o impacto de inundações ou dos movimentos de massa ou restaurar espécies aquáticas e terrestres nativas, a geomorfologia está, frequentemente a serviço da engenharia, do planejamento do uso da terra e da biologia. Nessa perspectiva, Downs e Booth (2011) apresentam sete categorias de serviços geomorfológicos:

- a) **orientação do projeto** (“*Project orientation*”): projetada para fornecer informações iniciais sobre o problema ou questão;

- b) **determinação das condições atuais do local** (*“Determination of current site conditions”*): usando estudo de gabinete, trabalho de campo, monitoramento e análise, e geralmente projetado, pelo menos implicitamente, para entender a sensibilidade à mudança do relevo;
- c) **investigação analítica interpretativa das condições passadas do local** (*“Interpretative analytical investigation of past site conditions”*): usando modelos conceituais, bancos de dados históricos e várias técnicas de datação de relevo para informar condições históricas prováveis;
- d) **previsão de condições futuras do local** (*“Prediction of future site conditions”*): interpretativa ou utilizando ferramentas de modelagem numérica aplicadas para prever a sensibilidade do relevo a vários cenários de gerenciamento em potencial;
- e) **solução e design de problemas** (*“Problem solution and design”*): quase sempre como parte de uma equipe multidisciplinar;
- f) **monitoramento e avaliação da avaliação pós-projeto** (*“Post-project appraisal monitoring and evaluation”*): idealmente incluindo o monitoramento da implementação, eficácia e validação para informar uma avaliação da sustentabilidade do projeto;
- g) **consultoria especializada** (*“Expert advisory”*): frequentemente relacionada a litígios, reclamações de seguros e testemunhos de profissionais especializados.

Ao elencar tais serviços, entende-se que todos guardam relação direta com a prática da avaliação de impactos ambientais, considerando que se trabalha com um cenário atual, histórico, voltado ao planejamento, à etapa de construção e ao funcionamento (operação) do empreendimento.

Ainda sobre as considerações de Downs e Booth (2011), os autores destacam a “[...] avaliação de impacto no abastecimento de água: geomorfologia e a gestão de grandes barragens” (*“Water supply impact assessments: geomorphology and the management of large dams”*) como um dos campos de preocupação da geomorfologia e os geomorfólogos fornecendo serviços para avaliar os futuros impactos a jusante de grandes barragens, modificar os cronogramas de liberação de fluxo ou avaliar os possíveis impactos da remoção de barragens, considerando que, em alguns lugares, as barragens estão sendo desativadas e removidas (O’CONNOR *et al.*, 2015).

Compreende-se que a maioria dos projetos requer o geomorfólogo para determinar os processos atuais do relevo, não só restrito à dinâmica do local do projeto, como também no

contexto espacial e ao contexto regional. Downs e Booth (2011) reforçam o entendimento de que a previsão de condições futuras, embora crítica para a gestão ambiental, é um tópico relativamente novo para a geomorfologia e o papel específico que ela deve desempenhar nas aplicações geomorfológicas para a gestão ambiental ainda está sendo debatido.

Logo, tal previsão encontra-se diretamente relacionada ao Estudo de Impacto Ambiental e à necessidade em se aprimorar o tratamento dado à geomorfologia nos diversos itens desse estudo, no aspecto do planejamento, mas, como comentam os autores, tal estudo também deve contemplar as aplicações geomorfológicas voltadas à gestão ambiental. Ao citarem a expressão “*engineering geomorphology*”²³, consideram que expressa o aumento do uso da geomorfologia na solução de problemas, contudo consideram que não reflete uma verdadeira abordagem geomorfológica da gestão ambiental, sendo mais limitada e com foco estreito do que poderia razoavelmente derivar do patrimônio acadêmico da geomorfologia (DOWNS; BOOTH, 2011).

Hooke (1999) analisou a contribuição da geomorfologia para a engenharia fluvial e a gestão costeira, avaliando o potencial e os desafios de futuras contribuições, tomando alguns exemplos na Grã-Bretanha. O autor mostrou que a política, a dimensão social e o contexto científico têm uma profunda influência sobre as oportunidades de contribuição da geomorfologia e o tipo de trabalho que é feito. Para isso, a discussão foi embasada a partir de três fases de atividades (passado, presente e futuro). Destaca que, em meados da década de 1980, os engenheiros britânicos executavam diversas obras e naquela época a maioria dos projetos de engenharia foi baseada na avaliação de problemas em um local, utilizando dados de curto prazo sobre processos e características, tendo sido cada vez mais percebida a necessidade de uma perspectiva mais ampla e que as consequências teriam que ser consideradas (HOOKE, 1999).

O autor explica que havia uma demanda crescente e um movimento real para longe das chamadas soluções de engenharia “difíceis” em direção à engenharia “leve”. A última implica o desenvolvimento de métodos que trabalham com a natureza e agem por meio da modificação de processos naturais para produzir soluções, em vez de tentar controlar a natureza. Isso, é claro, deve envolver uma compreensão completa dos processos e mudanças dessas características físicas, ou seja, a geomorfologia, uma abordagem que há muito tempo é defendida pelos profissionais da geomorfologia (HOOKE, 1999). Sendo assim, a geomorfologia passou a ser

²³ O termo foi proposto por Hutchinson (1979) *apud* (Cooke; Doornkamp, 1990, p.11). COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. *Geomorphology in Environmental Management: a New Introduction*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1990.

uma parte essencial dos documentos de políticas, as estruturas de políticas foram alteradas e as políticas e práticas foram alteradas para adotar uma postura baseada no entendimento de processos físicos e nas formas de relevo. A necessidade de amplas perspectivas espaciais e de investigar dinâmicas de longo prazo e a importância de entender um sistema como um todo foram finalmente aceitas (HOOKE, 1999). Dessa forma, o autor aponta que as mudanças ocorreram como uma combinação de alteração dos valores e atitudes da sociedade, dificuldades na engenharia e com esquemas, pressões econômicas e por geomorfólogos, comunicando fora de sua própria profissão e produzindo o tipo de trabalho que era necessário.

Logo, o autor enfatiza que os geomorfólogos também são cada vez mais solicitados a responder a perguntas sobre “o que”, “como” e “por que” algo está acontecendo em um local específico e como isso pode ser resolvido. Para isso, os estudos geomorfológicos necessitam entender todo o sistema, a sua dinâmica de longo prazo e a observação da perspectiva espacial, por meio de uma abordagem muito mais holística para a análise de mudanças e a dinâmica dos sistemas, está sendo usada e defendida como a abordagem apropriada para a análise de problemas ambientais e a busca de soluções (NEWSON, 1992 *apud* HOOKE, 1999, p. 385).

A sustentabilidade requer um ambiente físico base para ações e a implementação de políticas. As associações entre as características geomorfológicas e ecológicas significa que a variação geomorfológica é também um componente-chave da diversidade biológica. A abordagem geomorfológica precisa incorporar a bipolaridade: desenvolvimento econômico e social *versus* preservação e conservação da natureza. De acordo com Clark (1978), o objetivo da Geomorfologia aplicada²⁴ não é prevenir ou reduzir o desenvolvimento ou o uso dos recursos, mas, em vez disto, otimizar aquele uso, reduzindo tanto os custos quanto os impactos. Achkar *et al.* (2011) explicam que a geomorfologia aplicada estará diretamente ligada ao planejamento ambiental do território, sendo algo favorável para a união da geomorfologia com a geografia em trabalhos práticos aplicados. Gregory (1992) aponta que a geomorfologia aplicada na Grã-Bretanha é, normalmente, realizada para desenvolver investigações lineares, a exemplo de linhas de rodovias, estudos locais muito detalhados ou lugares específicos que são aplicados em função de projetos de engenharia. Complementa o autor que a aplicação da geografia física e também, especificamente, da geomorfologia e da climatologia, expandiu-se diante da obrigatoriedade dos Estudos de Impacto Ambiental para a viabilização dos projetos de desenvolvimento nos EUA, a partir de 1969, tendo se propagado para outros países.

²⁴ “[...] em 1978, Brunsden, Doornkamp e Jones (*apud* Brunsden, 1988) definiam a Geomorfologia Aplicada como a aplicação das técnicas e análises geomorfológicas para a solução de um planejamento, manejo ambiental, atividade de engenharia ou problema similar” (GIRÃO; CORRÊA, 2004, p. 42).

Para Ross (2009), no Brasil, o desenvolvimento da geografia física aplicada, que inclui a geomorfologia, aconteceu a partir da promulgação da Lei Federal nº 6.938/81,

[...] que instituiu a obrigatoriedade dos EIAs (Estudos de Impactos Ambientais) e dos RIMAs (Relatórios de Impactos Ambientais), como parte dos instrumentos legais da Política Nacional do Meio Ambiente, sobretudo com a Resolução CONAMA nº 001, de 23/1/1986” (ROSS, 2009, p. 18).

Portanto, segundo Ab’Saber (1969), os geógrafos, especialmente aqueles de formação científica adequada, “têm tido sensibilidade para explicar a organização natural das paisagens e diagnosticar o teor das modificações nelas introduzidas pelas ações antrópicas espontâneas ou voluntárias” (AB’SABER, 1969, p. 263). Portanto, a ligação da geomorfologia com a área ambiental é cada vez maior e mais promissora.

2.8.2 Geomorfologia ambiental

O termo “geomorfologia ambiental” foi introduzido por Donald Coates e definida como o uso prático da geomorfologia para a solução de problemas em que o homem deseja transformar ou usar e alterar os processos superficiais (COATES, 1971 *apud* PANIZZA, 1996, p. 4). Para Coates (1972 *apud* PANIZZA, 1996, p. 4), tal enfoque envolveria as seguintes questões:

- a) o estudo de processos geomórficos e terrenos que afetam o homem, incluindo fenômenos de risco como inundações e deslizamentos de terra;
- b) a análise de problemas em que o homem planeja perturbar ou já degradou o ecossistema terra-água;
- c) utilização pelo homem de agentes ou produtos geomórficos como recursos, como água ou areia e cascalho;
- d) como a ciência geomorfológica pode ser usada no planejamento e no gerenciamento ambiental.

De acordo com Guerra e Guerra (2003, p. 315), a geomorfologia ambiental “[...] refere-se à aplicação dos conhecimentos geomorfológicos, ao planejamento e ao manejo ambiental”. Para os autores, esse ramo incluiria: o levantamento dos recursos naturais, a análise do terreno, a avaliação das formas de relevo, a determinação das propriedades físicas e químicas dos materiais, o monitoramento dos processos geomorfológicos, as análises de laboratório e a elaboração dos mapas de riscos. Já Achkar *et al.* (2011, p.137-138) afirmam que:

É possível definir Geomorfologia Ambiental como a Geomorfologia que, na abordagem dialética ambiental, além de incluir os processos ligados à dinâmica biofísica e biogeoquímica, incorpora relações político-econômicas, modelos de desenvolvimento (tradicional, sustentável, sustentabilidade, ecodesenvolvimento, etc.) como determinações dos resultados nos processos. A compreensão da essência dos processos contribuirá para a transformação de espaços frequentemente degradados em espaços socialmente apropriados.

Para Girão e Corrêa (2004, p. 37),

[...] a pesquisa aplicada em Geomorfologia envolve-se diretamente com a coleta e análise de dados geomorfológicos, em função de objetivos para o uso do solo, inserindo-se nos procedimentos de planejamento, manejo e tomada de decisão acerca de potencialidades para a ocupação.

Segundo Achkar *et al.* (2011), a década de 1970 pode ser tomada como o marco inicial de uma discussão mais abrangente das questões ambientais, com destaque para a Conferência de Estocolmo-72 e o surgimento da designação geomorfologia ambiental (Simpósio de Brighton, 1970), tendo por objetivo incluir o social ao contexto das aplicações geomorfológicas (CASSETI, 1991). Para Achkar *et al.* (2011, p. 136), tal desdobramento acontece no início dos anos 1970, mas “[...] sus resultados más significativos a fines de la década de 1980, cuando ya es posible diferenciar la Geomorfología Ambiental como corriente Epistemológica”.

No final da década de 1980, essa corrente de produção geomorfológica está estruturada, com base em conceituações holísticas em geomorfologia, e está organizada em torno de quatro pilares principais (ACHKAR *et al.*, 2011):

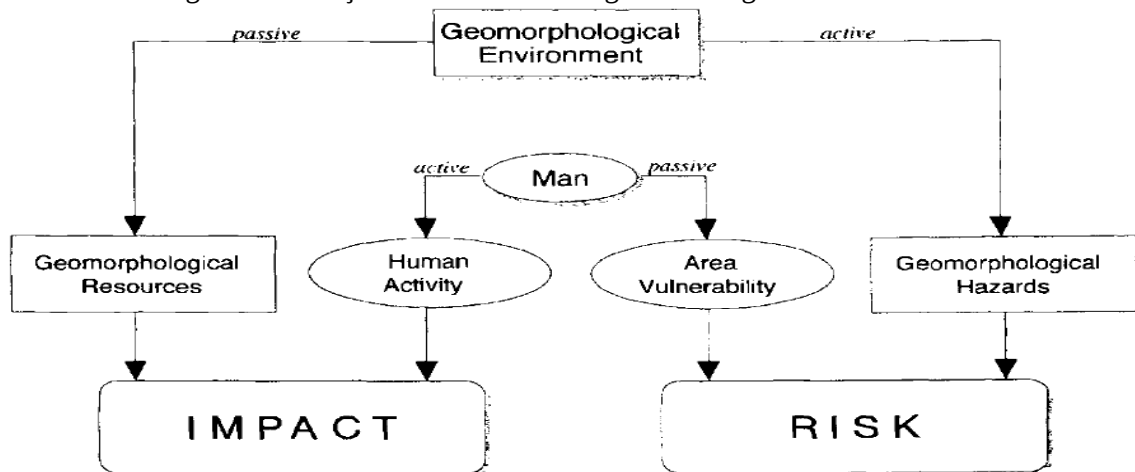
- a) nova conceitualização da relação sociedade-natureza, opondo-se à visão dualista uma interpretação monista;
- b) no nível da geomorfologia aplicada, o desafio de gerar respostas às determinações não bem definidas da bem definida crise ambiental;
- c) quanto ao método, a geomorfologia busca uma proposta concreta, vinculada à elaboração de cartas de diagnóstico ambiental, como insumo para o planejamento ambiental;
- d) a revalorização dos antecedentes da geomorfologia alemã, no início do século XX, estabelecendo uma estreita relação da geomorfologia com a geografia.

Dessa maneira, pode-se trabalhar nessa perspectiva no tocante às formas de relevo criadas/alteradas e as mudanças processuais ocasionados pelas ações antrópicas. É o que alguns

autores intitulam de geomorfologia antropogênica, a exemplo de Felds, que, em 1958, propôs o desenvolvimento de uma geomorfologia antropogênica (ACHKAR *et al.*, 2011).

Em sua obra específica sobre Geomorfologia Ambiental, Panizza (1996, p. 4) esclarece que a “*Environmental Geomorphology is defined as that area of Earth Sciences which examines the relationships between man and environment, the latter being considered from the geomorphological point of view*”. É essa proposta que adotamos no presente trabalho. O autor entende que podem existir duas situações principais resultantes da relação do homem com o ambiente geomorfológico: recursos geomorfológicos e as atividades humanas, e os riscos geomorfológicos em relação à vulnerabilidade de uma área. No primeiro caso, o ambiente é considerado passivo em relação ao homem (ativo), podendo haver a alteração ou mesmo destruição do mesmo. No segundo cenário, o ambiente torna-se ativo e o homem seria passivo, já que a ocorrência de determinados processos geomorfológicos poderá acarretar em efeitos negativos para as diversas atividades e obras de engenharia (Figura 5).

Figura 5 – Relações entre o ambiente geomorfológico e o homem



Fonte: Panizza (1996).

Dentro do trabalho geomorfológico, é necessária uma abordagem holística e integrada que incorpore as interações entre todos os componentes ambientais, incluindo a resposta humana (HOOKE, 1988; HOOKE, 1999; MEITZEN *et al.*, 2013). Conforme se demonstra na Figura 5, o resultado da ação humana nos recursos geomorfológicos resultaria no impacto ambiental. Tal conceito se relaciona com a divisão do ambiente em seus meios (físico, biológico e socioeconômico ou antrópico). Entende-se que o relevo é um recurso para os empreendimentos do tipo barragens, mas se constitui em risco a partir do momento que contribui para o desenvolvimento de processos modeladores da superfície (processos criados e

processos induzidos), que ocasionam o transporte de materiais que podem vir a afetar a vida útil da barragem, bem como em riscos para as comunidades próximas.

Sendo assim, pode-se conceber a matriz da geomorfologia ambiental por meio de uma abordagem integrada (sociedade e natureza), focando nos processos e formas advindos da influência antrópica. Essa ação humana é responsável por gerar feições e formas de relevo em escala local. Tal área passou a se chamar de “antrogeomorfologia²⁵”, destacando o papel desempenhado pelo homem enquanto agente de alteração das formas e dos processos geomorfológicos. A obra *Man and nature* ou *Physical geography as modified by human action*, de 1864, de autoria de George Perkins Marsh, demonstra a influência antrópica sobre a natureza, com forte apelo biológico, porém, surgem alguns assuntos pertinentes à geomorfologia, a exemplo da preocupação com a relação entre atuação humana, declividade das encostas e chuvas (NIR, 1983). A publicação *De l'influence de l'homme sur la nature*, de A. Woeikof (1901), também abordou aspectos relacionados ao desmatamento, drenagem artificial e os efeitos nos processos da dinâmica superficial, a exemplo de processos erosivos. Portanto, demonstrando um ramo da geomorfologia voltado, dentre outros interesses, para a ação humana no relevo para fins de obras de engenharia.

2.8.3 O meio físico nos Estudos de Impacto Ambiental

Quando se trata do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), é impossível não se contemplar o meio físico nas diversas partes desse estudo. Fornasari Filho *et al.* (1992) entendem o meio físico como o conjunto do meio ambiente definido pelas interações de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solos, rochas, água e ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana. Considerando o caráter atual e dinâmico dessas interações, Bitar (1995, p. 155) conceitua processo do meio físico como aquele que:

Refere-se ao desenvolvimento e sucessão de fenômenos potencializados pela interação de componentes materiais e tipos de energia, podendo ser deflagrado, acelerado ou retardado por agentes físicos, químicos, biológicos (fauna e flora) ou humanos, num determinado ambiente. Consideram-se, para fins de EIA, os fenômenos tais como se desenvolvem no ambiente antes da implantação do projeto, inclusive com as influências de outras atividades humanas no seu comportamento.

²⁵ Neogeomorfologia, equivalente aos termos geomorfologia antrópica (NIR, 1983) e antropogeomorfologia (GOUDIE, 1993).

Portanto, a compreensão do dinamismo do meio físico propiciará um ordenamento e uma gestão mais efetiva. A proteção das populações contra as inundações de um determinado curso-d'água exemplifica tal benefício proporcionado por um melhor entendimento da dinâmica do meio físico de uma região. Sendo assim, uma previsão cada vez mais confiável dos sistemas naturais dinâmicos é diretamente relacionada ao nível de conhecimento das características e das leis que regem essa dinâmica, contudo podendo tal “normalidade” ser rompida por situações de anomalias. Além disso, as alterações produzidas pela sociedade humana ao longo do tempo levam a um novo estado de funcionamento e de equilíbrio do meio físico de uma determinada área, tamanho o nível de desequilíbrio sofrido ao longo do tempo.

Para conflitar com o conceito de processo do meio físico, Fornasari Filho *et al.* (1992) *apud* Bitar (1995, p. 154) conceituam processo tecnológico como sendo o

[...] conjunto de técnicas aplicadas em operações que caracterizam a implantação, o funcionamento ou a desativação de uma atividade modificadora do meio ambiente. São técnicas voltadas à ocupação do meio, à extração, ao cultivo, à manufatura, à produção industrial ou à construção civil.

Na construção de uma barragem, o trabalho de movimentação de solo e rocha (terraplenagem, cortes e aterros) são exemplos desse tipo de processo. Assim, faz-se necessário identificar e caracterizar as alterações no ambiente, já que os processos tecnológicos tendem a modificar a dinâmica do meio físico. Portanto, temos uma relação entre processo do meio físico versus processo tecnológico. Bitar (1995) enfatiza a importância na caracterização dos processos do meio físico para fins de EIA:

A caracterização de processos do meio físico, em termos qualitativos ou quantitativos, deve ser tomada como um dos alicerces de um estudo de impacto. Sua importância é tão relevante quanto maior forem a clareza, a precisão e a eficiência que se desejem na previsão de alterações no ambiente, na avaliação de impactos e na formulação de medidas mitigadoras e de monitoramento (BITAR, 1995, p. 159).

Dentro da concepção de elaboração do EIA, após a identificação dos processos existentes na área, “[...] deverão ser destacados os mais atuantes naquele ambiente. Este procedimento é necessário na medida em que muitos processos poderão ser reconhecidos em maior ou menor escala, mas nem todos adquirem relevância para análise em EIA” (BITAR, 1992, p. 159). E o autor chama a atenção para o fato de que, na elaboração de um EIA, é fundamental explicitar o conceito de cada processo, registrando detalhes de seu mecanismo

decorrente das particularidades do ambiente analisado, permitindo uma melhor orientação na sua análise e na avaliação das alterações.

Sánchez (2013, p. 292) lembra que “[...] os profissionais das geociências vêm se preocupando em definir indicadores para medir e acompanhar os processos do meio físico modificados pela ação humana”. O autor destaca exemplos, como: “[...] feições erosivas de pequeno porte (sulcos e ravinas), cuja magnitude pode ser indicada por meio de parâmetros como comprimento, profundidade e área afetada”; e “[...] assoreamento, cuja magnitude pode ser indicada pela área afetada e pelo volume de sedimentos depositados”. Logo, podemos considerar os dois exemplos citados como diretamente relacionados à geomorfologia na realidade da construção e operação de uma barragem. A questão que fica é se existem outros indicadores de cunho geomorfológico que possam ser aplicados a realidade discutida, o que é demonstrado no Quadro 7, que expõe exemplos para o estudo da magnitude de aspectos e impactos ambientais.

Quadro 7 – Exemplos de indicadores para estudo da magnitude de aspectos e impactos ambientais relacionados à geomorfologia

ASPECTO/IMPACTO	INDICADORES
Aumento das taxas de erosão	Superfície afetada (ha), taxa de perda de solo (t/ha.ano)
Aumento da carga de sedimentos nos corpos d’água	Contribuição do empreendimento em relação a outras fontes situadas na mesma sub-bacia hidrográfica
Alteração da topografia	Volume de solo e rocha movimentados (m ³)

Fonte: Adaptado de Sánchez (2013, p. 294).

Org.: autor.

Portanto, os estudos geomorfológicos necessitam de critérios de espacialidade e temporalidade para muitas das suas investigações e a necessidade da obtenção de dados primários e secundários, sendo os primeiros os mais indicados para uma avaliação de impactos com maior confiabilidade e rigor técnico-científico. Ao abordar os exemplos de estratégias para alguns levantamentos de dados em estudos de base, Sánchez (2013) enquadra o “relevo” na coluna dos dados primários a serem obtidos²⁶.

²⁶ “Os levantamentos primários não prescindem de levantamentos secundários sobre os mesmos assuntos, seja para obter dados do passado, seja para ampliar a área sobre qual informação é obtida, seja, ainda, porque é sempre recomendado conhecer os estudos anteriores realizados para o mesmo local ou região” (SÁNCHEZ, 2013, p. 252).

2.9 RECURSOS HÍDRICOS, GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E BARRAGENS

As águas nos rios se constituem em um desafio histórico, já que ao longo do tempo os assentamentos humanos buscaram se fixar nas áreas próximas com uma boa disponibilidade e acesso à água. Nos dias atuais, os rios passaram a ser cada vez mais cobiçados, pois inúmeros são os usos demandados (abastecimento humano, dessedentação de animais, uso agrícola, uso industrial, geração de energia elétrica, navegação, lazer etc.). A Lei Federal nº 9.433/97, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como um dos seus fundamentos que “[...] a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”. Sendo assim, as barragens, seja qual for o objetivo principal, encontram-se inseridas nessa gestão pública.

A hidrologia é uma ciência que tem ganhado espaço decorrente do avanço da ocupação humana que tem levado a perdas quantitativas e qualitativas dos recursos hídricos. Sendo assim, a ocupação da bacia hidrográfica deve levar em consideração o aumento dos usos da água, bem como as áreas sujeitas a inundações e outros tipos de desastres, o que gera a necessidade de projetos com múltiplas finalidades.

Tucci (2013) considera algumas subáreas relacionadas ao tratamento da análise dos processos físicos que ocorrem na bacia, tendo a geomorfologia o papel através da análise quantitativa das características do relevo de bacias hidrográficas e sua associação com o escoamento. O controle estrutural dos rios também é outro aspecto a ser pensado, visto que a direção seguida por um rio, em muitos casos, está associada ao tipo de rocha atravessada e às estruturas presentes nessas litologias. De acordo com Chiossi (2013, p. 222), “[...] no caso de ausência de elementos estruturais na rocha, o curso-d’água, dependendo da resistência da rocha, poderá traçar à vontade a sua direção, sendo comuns, nesses casos, os meandros e as planícies de inundação”. Deve-se pensar na ação das águas subterrâneas e superficiais na paisagem e nas áreas construídas, a exemplo das barragens, e os processos que podem ser deflagrados: ravinas, voçorocas, movimentos de massa, dentro outros. Chiossi (2013, p.228) destaca que “[...] a barragem de Euclides da Cunha, no rio Pardo (SP), sofreu alguns escorregamentos na área dos vertedouros”.

A geomorfologia dos ambientes fluviais, segundo Stevaux e Latrubesse (2017), tem suas raízes na geologia, na geografia e na engenharia (hidrologia e hidráulica) e relaciona-se com outros ramos da ciência, como: química, física, história, sociologia, biologia, ecologia etc. O tratamento do ambiente fluvial requer buscar o entendimento de que o sistema fluvial funciona em diferentes escalas espaciais e temporais, sendo a abordagem desses dois parâmetros de

análise no processo geomorfológico pensados pelos princípios do uniformitarismo e da ergodicidade. A geomorfologia fluvial tem como uma de suas missões estudar as mudanças de fisionomia dos rios e dos canais ao longo da história, ora por fatores naturais, ora por ação humana, ou a combinação desses (GRAF, 2005; REMO *et al.*, 2018). Cunha (2007, p. 219) esclarece que:

[...] os rios devem ser examinados sob a ótica das bacias de drenagem, uma vez que refletem a forma de uso do solo e sua dinâmica, além de considerar as dimensões temporal e espacial. A primeira dimensão pode englobar as escalas de curta e longa durações (escala geológica), e a dimensão espacial permite analisar os rios em setores (diferentes sensibilidades de ajustes).

É o entendimento de Stevaux e Latrubesse (2017), que consideram a bacia de drenagem como a unidade fundamental de análise da geomorfologia fluvial e explicam que:

A bacia de drenagem de um rio corresponde não apenas à rede de canais, mas a toda a área de captação de água pluvial (e da neve), que pode escoar sob a forma de fluxo superficial acanalado, fluxo superficial não acanalado (hortoniano e hipodérmico) e fluxo subterrâneo (água freática) (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 59).

Schumm (1977) (*apud* STEVAUX; LATRUBESSE, 2017) considera que o estudo geomorfológico pode ser desenvolvido pelos pontos de vista funcional e histórico. O primeiro estaria relacionado aos trabalhos dos engenheiros hidráulicos ou civis, compreendendo os estudos relacionados aos processos atuais que agem no sistema. Por outro lado, “[...] a abordagem histórica supõe que suas variáveis tenham uma dimensão temporal e que o funcionamento do sistema derive não apenas das condições atuais, mas também da herança de processos evolutivos, que podem ter se estendido por centenas a milhares de anos” (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 19). Segundo os autores, a paleoidrologia seria o elo entre as duas abordagens citadas (funcional e histórica). Afirmam que, “[...] atualmente, o acerto nas previsões do comportamento de algumas variáveis fluviais (principalmente das cheias extraordinárias, por exemplo) tem aumentado em virtude do emprego dos conceitos paleoidrológicos” (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 19).

Brookes e Gregory (1988) (*apud* GUERRA; MARÇAL, 2006) fazem uma crítica ao fato de grande parte da geomorfologia ter ignorado as consequências das obras de engenharia nos canais fluviais, até meados do século XX. No entanto, entendem que, a partir do final da década de 1960, os conhecimentos básicos da geomorfologia fluvial passaram a ser utilizados objetivando compreender as mudanças promovidas pela ação humana nos rios. Cunha (2007) destaca que uma forma de degradação do canal está relacionada à participação direta nos canais,

por meio das obras de engenharia (canalização – retificação, alargamento e aprofundamento do canal; barramentos para controle de vazão; e construção de pontes e diques artificiais). Tais impactos e magnitudes estariam relacionados ao porte do empreendimento e à sua localização.

No tocante às barragens, Sánchez (2013) considera os efeitos hidráulicos como uma das principais questões a serem trabalhadas no EIA desse tipo de empreendimento, entendendo que a regulação do regime hídrico é função inerente a esse tipo de empreendimento. Para o autor, conhecer antecipadamente as variações de vazão de um rio é um dos itens fundamentais para o EIA. Logo, é fundamental a análise dos dados do regime sazonal do rio, a exemplo dos meses de menor vazão; meses de maior vazão; mês de pico; quanto aumentou a vazão de estiagem; quanto reduziu a vazão do período de cheia e no mês de pico. Sánchez (2013), ao citar o estudo de Rossi e Antoine (1990), referente à barragem de Nangbéto, situada sobre o rio Mono (Togo), afirma que os autores identificaram e previram os seguintes efeitos sedimentológicos e hidráulicos: redução do aporte de sedimentos a jusante; mudanças no traçado do rio a jusante da barragem (perda de meandros); erosão das margens a jusante; redução da salinidade do sistema lagunar da foz do rio; e elevação de 0,40m do nível médio do lago Togo.

Coelho (2008) detalha os impactos hidrológicos e geomorfológicos, a partir da pesquisa de Cunha (1995), nos diferentes setores de um rio represado (Quadro 8). Para apresentar os impactos, a autora os divide nos três “compartimentos” comumente utilizados quando se estuda os impactos ambientais de uma barragem (montante, reservatório e jusante). Observa-se que a preocupação com os impactos geomorfológicos vai além da área do barramento, já que os rios principais e seus tributários podem ser afetados pelos processos geomorfológicos, a exemplo do assoreamento. Os impactos no “reservatório e periferia” apresentam a maior quantidade, estando associados às áreas marginais do reservatório, como também aos reflexos dos processos incidentes a montante do reservatório. Por fim, o setor a jusante passará a sofrer com os impactos decorrentes do barramento em si, como também da liberação das diferentes vazões e dos eventos de precipitação que afetam diretamente tais trechos.

Quadro 8 – Alterações hidrológicas e geomorfológicas em setores de um rio represado

TABELA 1
Alterações Hidrológicas e Geomorfológicas em Setores de um Rio Represado³

SETOR DA BACIA	PRINCIPAIS IMPACTOS HIDROLÓGICOS	PRINCIPAIS IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS
Montante da Barragem	Deposição de carga sólida; Mudança térmica das águas; Redução da velocidade das águas; Subida do nível das águas.	Assoreamento na desembocadura dos rios principais; Assoreamento no fundo dos vales principais; Assoreamento na desembocadura e no fundo dos vales afluentes; Formação de novas áreas de inundação.
No Reservatório e Periferia	Armazenamento de carga líquida; Armazenamento de carga sólida; Modificação no conteúdo de gases dissolvidos; Elevação do nível piezométrico (compressibilidade dos líquidos); Alteração na taxas de infiltração; Maior disponibilidade de água subterrânea; Ocorrência de Inundações; Assoreamento no reservatório; Redução da vida útil da barragem; Alteração na transparência da água; Alteração na estrutura térmica da água.	Submersão das formas de relevo; Processos de abrasão lacustre; Recuo das margens ou das falésias lacustres; Formação de praias e depósitos de abrasão; Processos de assoreamento; Formação de bancos arenosos emersos ou imersos; Formação de lagoas fechadas; Colmatção da desembocadura dos rios principais; Formação de novas áreas de Inundação.
A Jusante da Barragem	Controle da regularização das descargas; Redução da carga sólida (sedimentos); Sanilização da água; Alteração na estrutura térmica; Redução do nível piezométrico; Alteração nas taxas de infiltração; Menor disponibilidade de água subterrânea.	Entalhe no leito do rio, com conseqüente descida do nível de base local; Descida do nível de base dos afluentes com retomada erosiva (entalhe) dos seus leitos; Processos de erosão nas margens; Alteração nos sedimentos de fundo e das margens; Reajustamento na morfologia do canal pela migração dos setores de erosão e sedimentação; Processos de deposição nas margens e fundo do leito; Modificações na dinâmica da foz.

Fonte: Cunha (1995).
Org.: André Luiz Nascentes Coelho.

Pimentel (2004) também elenca os impactos mais comuns de uma barragem: alteração do regime de vazões do rio; erosão das margens e do fundo do canal a jusante da barragem, nos deltas e estuário; alteração do nível freático nas áreas marginais do reservatório; possibilidade de alteração do microclima na região do reservatório; alteração no teor de matéria orgânica e nutrientes dissolvidos na vazão efluente; alteração no transporte e concentração de sedimentos no reservatório e a jusante da barragem; estratificação térmica do reservatório; alteração da qualidade da água pela decomposição da biomassa inundada no reservatório; alteração da condutividade elétrica; contaminação e eutrofização das águas do reservatório; instabilidade de encostas do reservatório; sismicidade induzida pelo reservatório; e salinização dos solos no entorno do reservatório.

Jesus *et al.* (2017) discutiram a relação entre erosão no entorno de reservatório e os aspectos geomorfológicos, os de cobertura do solo e os climáticos. No tocante aos aspectos geomorfológicos, os autores consideram ser necessário o conhecimento sobre a morfometria, a morfologia e a morfodinâmica, a partir da escala da bacia hidrográfica, bem como da escala das margens do reservatório. Além de buscar avaliar a interação do maciço com o seu entorno, antes e após o enchimento do reservatório. Jesus *et al.* (2017) apontam como aspecto relevante para

a engenharia que as formas de relevo, as quais anteriormente interagiam com a atmosfera, com o enchimento, passam a interagir com a água. Logo:

[...] passa-se da atuação da sucção no solo para a atuação de pressões neutras positivas em função da presença da água no extrato de solo submerso, o que afeta diretamente as condições de estabilidade do maciço, dada a possibilidade de geração de rupturas de taludes que, embora imperceptíveis em superfície, interferem diretamente na estabilidade do maciço exposto e, portanto, no desencadeamento e evolução das erosões de margem de reservatório (JESUS *et al.*, 2017, p. 172).

Sendo assim, ao se pensar na dinâmica geomorfológica de uma determinada bacia hidrográfica é essencial que se insiram os processos de erosão e os fatores relacionados (geológicos, relevo, clima, solos, cobertura vegetal e uso da terra). Logo, é fundamental compreender esse cenário aplicando às margens a montante, a jusante e no reservatório, no entanto relacionando-o a uma escala regional diante das diversas influências que podem gerar na realidade da barragem.

Para Rubio (2014 *apud* JESUS *et al.*, 2017), as condições geomorfológicas, o “tipo de relevo” das margens, são a primeira das condicionantes ambientais que devem ser monitoradas no tocante à gênese dos processos erosivos e ao seu desenvolvimento nas margens de um reservatório. A relação da geomorfologia e o clima, a influência de maior destaque é com relação ao processo de morfogênese.

Cruz *et al.* (2010, p. 49) entendem que “[...] uma barragem não é um empreendimento de impacto local. É um empreendimento que provoca a propagação em rede, tanto à montante, como à jusante, dos impactos ambientais, pois o rio é um ecossistema de fluxo”. E complementam afirmando que “[...] o principal impacto de uma barragem é a fragmentação do rio”. Também destacam que “a implantação física do barramento altera as condições hidrossedimentológicas do rio, colocando uma barreira que adiciona um trecho lântico ao longo de uma rede lótica” (CRUZ *et al.*, 2010, p.49). É também o pensamento de Brandt (2000), que classificou os efeitos geomorfológicos a jusante das barragens, a partir de alguns aspectos, como a descarga de água, carga de sedimentos, tamanho de grão, declive do rio, extensão longitudinal das mudanças e sua variabilidade com o tempo, além da resposta tributária as mudanças na seção transversal do rio principal. Pimentel (2004, p. 49) considera que:

De fato, a evolução do conhecimento e antecipação dos impactos causados por barragens vem se aprimorando ao longo das décadas [...]. Isso se deve aos Estudos de Impacto Ambiental, que agora são exigidos para todos os empreendimentos em rios, desde as fases iniciais de planejamento [...].

Portanto, constata-se que o EIA desempenha (ou pode desempenhar) uma importante função como um dos instrumentos a serem utilizados no planejamento e no gerenciamento ambiental de uma curso-d'água impactado por uma barragem, como também os demais cursos-d'água que compõem a bacia hidrográfica.

Analisar o nível de degradação de um rio passa pelo entendimento das condições naturais (meio físico e meio biológico) e das atividades antrópicas desenvolvidas na área da bacia. As alterações em um ou em todos os aspectos citados implica em mudanças na carga sólida e dissolvida, comportamento da descarga e poluição das águas. Logo, perturbações nos componentes naturais podem acarretar em desequilíbrio, que tendem a se intensificar com a contribuição das atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada. De acordo com Rutherford *et al.* (2000), definem-se cinco elementos interativos que afetam e contribuem para a degradação fluvial:

- a) o aspecto físico do rio (a forma e o tamanho do canal, sedimentos etc.);
- b) a quantidade de água;
- c) a qualidade da água;
- d) as condições das áreas contíguas ao rio (a zona ribeirinha);
- e) a diversidade e a população de animais vivendo no rio.

Reforçando tais apontamentos, o *National Research Council* (1992) destaca os fatores responsáveis por um elevado potencial de degradação dos corpos hídricos: represas (hidroelétrica, para abastecimento de água, ajuda a navegação), dragagem, erosão, aterro, pastagem em zona ribeirinha, descargas pontuais de fontes industriais, derrubada e desbaste de árvores, mineração, descargas pontuais de fontes municipais, pesca em excesso, construção de estrada, e escoamento não pontual de fonte urbana e agrícola. Para isso, o manejo se faz necessário. Silva (2010) explica que o manejo consiste no conjunto de ações humanas baseadas em preceitos técnicos e científicos, voltadas para a minimização, reversão ou controle dos processos antrópicos ou naturais, que tenham ou estejam resultando em efeitos negativos sobre as águas fluviais, e a dinâmica fluvial ou a biota do ambiente fluvial.

Para Suguio e Bigarella (1979) *apud* Silva (2010, p. 26):

[...] o equilíbrio é função da relação entre a carga e descarga, bem como das características do escoamento superficial, vegetação e solos. [...] um rio é dito em equilíbrio quando nele não se verifica nem erosão, nem deposição de material em qualquer ponto do seu curso. Nas condições de equilíbrio, o rio é capaz de transportar todo o material fornecido pelas vertentes.

Logo, a recuperação de canais fluviais é uma necessidade em muitas realidades. Cunha (2007, p. 230) explica que a “[...] recuperação de canal significa, de forma simples, o retorno às condições anteriores aos distúrbios”. E complementa tal entendimento ao dizer que “[...] na recuperação de canais ocorrem considerações de aspectos hidrológico, morfológico e ecológico, qualidade da água, estética, além da necessidade de uma visão integradora do projeto sustentável de recuperação” (CUNHA, 2007, p. 231). Dessa maneira, a recuperação dos canais está diretamente relacionada à execução das obras de engenharia, especialmente dos diversos tipos de barragens.

2.10 CARACTERIZAÇÃO E TIPOLOGIAS DE BARRAGENS

Diante do que foi abordado até aqui, necessário se faz tratar da definição de barragem e dos seus objetivos/funções, bem como as condicionantes do meio físico que influenciam na escolha da localização para a sua construção, assim como os tipos de barragens existentes e as estruturas que as compõem.

De acordo com a Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens), barragem é “[...] qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”. Já Chiossi (2013, p. 245) define como sendo “[...] um elemento estrutural construído transversalmente à direção de escoamento de um curso-d’água, destinado à criação de um reservatório artificial de acumulação de água”. O autor cita como principais objetivos para a construção de uma barragem: aproveitamento hidrelétrico; regularização das vazões do curso-d’água para fins de navegação; abastecimento doméstico e industrial de água; controle de inundações; e irrigação.

Caputo e Caputo (2015, p. 508) conceituam as barragens como sendo “[...] estruturas construídas em vales e destinadas a fechá-las transversalmente, [...], proporcionando assim um represamento de água”. Sendo as barragens de acumulação destinadas, por exemplo, ao abastecimento de cidades, suprimento à irrigação e produção de energia elétrica, enquanto que aquelas destinadas ao desvio dos cursos-d’água são denominadas de barragens de derivação.

Pode-se destacar que a escolha do local de construção da barragem estará condicionada ao seu objetivo. Se ela tiver o objetivo de controle de cheias (objetivo principal das barragens analisadas neste trabalho), a sua construção, normalmente, acontece a montante de uma cidade

ou de uma área habitada, a fim de proteger as propriedades e vidas humanas a jusante da devastação das inundações (CECH, 2013).

2.10.1 Tipos de barragens

Para Chiossi (2013), as barragens podem ser classificadas de diversas maneiras, segundo o seu objetivo, seu projeto hidráulico e os tipos de materiais empregados na sua construção. Costa (2012) afirma que, para o projeto de uma barragem, estão envolvidos aspectos muito diversificados em relação à obra propriamente dita e o ambiente em que será realizada. O autor argumenta da dificuldade em se separar as interdependências estabelecidas entre as condicionantes naturais de alguns fatores ligados à própria obra. Dessa forma, o relevo é um dos fatores “[...] essenciais não apenas para definir o melhor arranjo das obras de uma barragem, mas também para analisar a própria viabilidade dessa obra” (COSTA, 2012, p. 21).

Com relação ao objetivo, segundo Costa (2012), as barragens podem ser classificadas em dois grupos: de regularização e de contenção. As barragens de regularização visam à regularização do regime hidrológico de um rio, buscando armazenar água nos meses de maior precipitação, objetivando o uso da água nos meses de menor precipitação. O autor destaca exemplos de finalidades específicas desse tipo de barragem (abastecimento doméstico, industrial e irrigação; geração de energia elétrica; melhorar as condições de navegação fluvial; aproveitamento turístico; melhoria das condições de piscicultura etc.), ao se aumentar o volume de água armazenada. Nas barragens de contenção o objetivo é amortecer a onda de enchente para evitar inundações a jusante, visando “[...] reter água de forma temporária ou acumular sedimentos, resíduos industriais ou rejeitos de mineração” (COSTA, 2012, p. 22).

Para Costa (2012), a seleção do melhor local para a implantação de uma barragem e do tipo de obra mais apropriado tem grande influência do objetivo a que se destina a barragem. O autor elenca sete tipos (abastecimento, hidrelétrica, para navegação, para o turismo, para piscicultura, para controle de enchentes e para contenção), destacando-se aqui o tipo que se aplica à realidade das barragens analisadas por este trabalho: “Barragens para controle de enchentes: além de exigirem um volume de armazenamento compatível com a necessidade de contenção da onda de enchente, devem contemplar áreas em que não seja muito prejudicial a inundação temporária a montante” (COSTA, 2012, p. 23-24).

A seleção do tipo de barragem e do local para a sua implantação é algo que permeia todo e qualquer projeto dessa tipologia de obra. Chiossi (2013) aponta que, para o processo de seleção do melhor tipo de barragem para uma determinada área, devem ser consideradas

características físicas do local, objetivo da obra, fatores econômicos, de segurança, custo da construção etc. Dentre os fatores físicos, o autor destaca a topografia, a geologia e as condições das fundações, e os materiais de construção. Na questão topográfica, destaca-se a relação que existe de um local situado num vale estreito com paredes rochosas, o que sugere uma barragem de concreto. Por outro lado, em áreas de topografia aplainada e vales bastante abertos, sugere-se a barragem de terra (CHIOSSI, 2013).

No entendimento de Chiossi (2013), o estudo geológico relativo a um reservatório deve se dividir entre o estudo do local da barragem e o da área do próprio reservatório. Todavia, no tocante ao estudo geomorfológico, entende-se que o foco vai além dessas áreas, indo para as áreas a montante e a jusante.

Um outro fator a ser considerado é a cobertura de solos e rocha decomposta²⁷, que se constituem em fatores importantes na definição do tipo de barragem (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998). Os autores destacam o exemplo de uma sequência de solos sedimentares recentes em áreas de várzeas fluviais, constituída por “[...] camadas basais de cascalho, uma zona de areia e argila e um horizonte superior de solos orgânicos, constitui outra fonte de problemas e dificuldades para o projeto e a construção de barragens em regiões úmidas” (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998, p.408). A importância das características geotécnicas e de permeabilidade varia com o tipo de barragem. Nas obras de concreto ou de enrocamento, ocorre a remoção da cobertura pedológica, e os parâmetros que passam a ser considerados seriam aqueles relacionados à escavação, estabilidade de taludes e emprego do material em ensecadeiras e obras similares. Por outro lado, nas barragens de terra, as propriedades dos solos são importantes no que se refere à utilização como material de aterro, além das características de suporte e permeabilidade.

Com relação ao fator “maciço rochoso”, Marques Filho e Geraldo (1998) enfatizam que sempre se busca situar as fundações das estruturas de concreto sobre o material rochoso e que até mesmo as barragens de terra, quando construídas sobre materiais rochosos, eliminam, quase que totalmente, a possibilidade de problemas (recalques, deslizamentos ou erosão interna). Obviamente que tal situação requer maciços rochosos de boa qualidade. Segundo Chiossi (2013), quase todo tipo de rocha compacta (a exemplo do gnaisse, granito, basalto maciço etc.)

²⁷ Rompimento de barragens de terra. “El colapso de estas presas puede deberse a diferentes causas (Garret y Costa, 1982; Sherard, 1972): el *piping* y la karstificación son los dos procesos más frecuentes. Lou (1981, en Singh, 1996). Em una recopilación de varios trabajos llevados a cabo em diferentes partes del mundo, se señala que los procesos de *piping* han sido los causantes del 37% de las roturas de las presas. En el sector occidental de los Estados Unidos el 60% de las presas de tierra con altura superior a 15 m han sufrido la rotura por procesos de *piping* (Von Thun, 1996)” (ELORZA, 2007, p. 223).

apresenta boa resistência mecânica para suportar o peso de uma barragem. No entanto, o comportamento de um maciço depende – tanto ou mais do que o tipo de rocha – de fatores como as suas características estruturais e o seu padrão de alteração, entre outros. Destacam-se a “[...] estratificação, xistosidade/foliação, diaclasamento, e as macroestruturas: falhas, fraturas de descompressão, juntas-falhas, contatos litológicos” (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998, p. 409). Complementando tal preocupação, Chiossi (2013, p. 272) afirma que “[...] em projetos que envolvam parâmetros hidráulicos, devem ser consideradas as maiores precipitações históricas e, no caso do solo e subsolo, devem-se executar cuidadosa investigação geológico-geotécnica e ensaios de campo e laboratório dos materiais presentes”. Sobre a possibilidade de uma barragem com “finalidades múltiplas”, o autor considera que, no planejamento inicial, é difícil conciliar mais de um objetivo para uma mesma barragem, e a escolha por um aproveitamento múltiplo requer analisar os índices de volumes efluentes e afluentes próprios para cada finalidade.

Na classificação de Marques Filho e Geraldo (1998), as barragens podem ser classificadas como de concreto e de aterro. Já para Cech (2013), existem três tipos principais de barragens: concreto-gravidade, concreto em arco e de terra/enrocamento. As de concreto fazendo uso do concreto convencional ou, com frequência crescente, em Concreto Compactado com Rolo (CCR). Considera-se que as barragens de concreto apresentam um custo de construção muito elevado, se comparado com as barragens de aterro, sendo essas como responsáveis por 80% de todas as barragens no mundo (CECH, 2013). O autor considera que a geologia, o relevo e a vazão em um local é que vão determinar o tipo de barragem mais apropriado. De forma geral, independentemente do tipo escolhido, algumas etapas são inerentes à etapa do projeto, da execução e da operação de uma barragem (Quadro 9).

Quadro 9 – Objetivos da etapa do projeto de uma barragem

ETAPA E OBJETIVO
Viabilidade - os estudos se concentram num determinado aproveitamento, entretanto, antes da definição da alternativa mais vantajosa, é normal que diversos eixos – e em cada um – diversos arranjos estruturais sejam analisados. Os estudos têm por objetivo a determinação, de forma mais detalhada, das características do meio físico, social e econômico, bem como sua importância para as diversas possibilidades de aproveitamento. Os estudos visam, ainda, a definição de arranjos mais adequados das obras civis, de modo que possam ser processadas análises técnico-econômicas, comparativas entre alternativas de obras. Permite a concepção básica (em nível preliminar) da obra (potência instalada; tipo e número de turbinas; tipo e dimensões da casa de força, da barragem, do vertedouro e do circuito hidráulico de geração; geometria das escavações; níveis de fundações; dimensionamentos estruturais e hidráulicos etc.). Projeto Básico - desenvolve-se o estudo detalhado do empreendimento, num grau de minúcia que depende do porte da obra e das dificuldades geológico-geotécnicas identificadas nos estudos de viabilidade.

Projeto executivo e de construção - contempla as atividades de detalhamento e refinamento do projeto básico das obras civis e dos equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos. Caracteriza-se, assim, pelas atividades complementares que se façam necessárias, e por aquelas que, devido a algum impedimento ou necessidade de recursos mais amplos, não tenham sido executadas na etapa anterior. As investigações são menos numerosas, em comparação com o projeto básico, porém mais minuciosas, objetivando esclarecer detalhes construtivos.

Operação - relaciona-se com as fases de enchimento do reservatório e de operação. Nestas fases, o comportamento das estruturas e do reservatório é minuciosamente investigado e monitorado, para comprovar a segurança geral da obra, verificar o seu comportamento e comparar os resultados com as estimativas de projeto e com os resultados obtidos em obras similares.

Fonte: Marques Filho e Geraldo (1998).

Org.: autor.

No tocante ao lago formado decorrente de uma barragem, Marques Filho e Geraldo (1998, p. 415) explicam que:

[...] definida a área do reservatório, processa-se, já na fase de estudos de viabilidade, à caracterização geológica, geomorfológica, geológico-geotécnica e hidrogeológica da área considerada, objetivando avaliações quanto à estabilidade das encostas marginais e à estanqueidade do reservatório. Parte desses estudos é desenvolvida dentro dos chamados Estudos de Impacto Ambiental.

Em sua abordagem, os autores discorrem sobre a estanqueidade, assoreamento, estabilidade de taludes e sismicidade induzida, que guardam relação com a geomorfologia.

A estanqueidade do reservatório relaciona-se sobre as possíveis percolações através do maciço rochoso, devido à geologia do local. Tal aspecto é importante, visto que, quando em excesso, essas percolações podem ocasionar perdas de água significativas, o que repercutirá no tempo de enchimento do reservatório ou impedir o seu enchimento (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998). De acordo com os autores, “[...] a disposição do lençol freático em relação ao relevo regional, por exemplo, tem significado essencial para o problema” (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998, p. 415). Segundo Caputo e Caputo (2015), faz-se necessário um levantamento da região para o estabelecimento da bacia de acumulação, e:

[...] vales estreitos revelam a existência de rochas de boa qualidade, uma vez que suas margens são pouco erodíveis; ao contrário, vales largos e planos denunciam rochas de qualidade inferior, pois que facilmente erodíveis. A existência de canais de erosão é característica de solos impermeáveis, enquanto a sua ausência é índice de alta permeabilidade.

Essa propriedade é importante visto que haverá o aumento do nível do lençol freático, que será favorecido com a presença de rochas muito permeáveis, o que pode gerar instabilidade nas margens do reservatório.

Outro processo que atinge esse tipo de obra é o assoreamento²⁸, que consiste no acúmulo progressivo de sedimentos transportados pelo rio, estando todos os reservatórios, independente da finalidade, tamanho, destinação e características de operação, destinados a ter a sua capacidade de armazenamento afetada por tal processo (MARQUES FILHO, 1998; CABRAL, 2005).

O aproveitamento das feições geomorfológicas, visando diminuir o assoreamento no reservatório, é destacado por Azevedo e Rubio (2018) como possível, a exemplo de gargantas e soleiras dos rios, reduzindo as velocidades e a capacidade de transporte sedimentar para o reservatório. De acordo com Chiossi (2013, p.264), “[...] deve-se conhecer a intensidade de erosão nos rios afluentes de uma determinada bacia, bem como o volume e o caráter do material transportado pelos rios”. O autor destaca a nocividade do assoreamento, que acarreta na diminuição da capacidade do reservatório e da vida útil, a exemplo de casos de barragens nas Montanhas Rochosas, nos Estados Unidos, que devem perder sua capacidade de acumulação em duas ou três décadas.

Outra preocupação é com a estabilidade de taludes, especialmente ao longo das encostas marginais do futuro lago. De acordo com Marques Filho e Geraldo (1998), os problemas decorrentes da estabilidade dos taludes envolveriam dois mecanismos principais: o de erosão pela ação das ondas e os de escorregamentos propriamente ditos. No primeiro caso, é favorecida pela energia das ondas e os tipos de materiais que formam suas margens. “A ação erosiva é maior em faces voltadas para as direções predominantes dos ventos e em taludes formados por materiais pouco coesivos e facilmente erodíveis” (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998, p. 417). Em casos mais desfavoráveis, acabam sendo indutores de escorregamentos de pequeno a médio porte. Os autores entendem que a maior incidência de deslizamentos acontece no primeiro enchimento do reservatório, quando ocorrem as maiores modificações ao meio físico, principalmente as alterações do lençol freático e o enfraquecimento de camadas mais sensíveis à ação da água. “Os deslizamentos de taludes de reservatório mais comuns são os que atingem

²⁸ Azevedo e Rubio (2018, p. 269) destacam a necessidade em diferenciar os conceitos de assoreamento e colmatagem: “[...] os assoreamentos são processos ocorridos em diferentes partes dos cursos d’água e resultam na diminuição da profundidade destes, pela formação de bancos de sedimentos, os bancos de colmatagem são caracterizados pelo entulhamento dos sedimentos em áreas mais rasas e tendem a se localizar nas áreas de remanso dos reservatórios”.

a cobertura de solos e rocha alterada, de acordo com os mecanismos já referidos” (MARQUES FILHO; GERALDO, 1998, p. 418).

No caso da sismicidade induzida, considera-se que é uma ocorrência comum em vários países, mas, no Brasil, em geral, não ultrapassaram a magnitude 4,0.

Buscando estabelecer a relação entre o tipo de barragem e as condições geomorfológicas, buscaram-se tais conhecimentos no EIA da barragem de Igarapeba e em Costa (2012), analisado neste trabalho, organizados no Quadro 10. Os textos apresentados demonstram a relação estabelecida entre as condições geomorfológicas e a escolha do tipo de barragem, além da associação direta da morfologia com a geologia e a pedologia, o que permite demonstrar a suscetibilidade de ocorrências dos processos geomorfológicos em cada situação.

Sendo assim, a partir da revisão bibliográfica apresentada, contemplando as principais temáticas do trabalho – EIA, Auditoria ambiental, geomorfologia e barragens –, prossegue-se com as considerações metodológicas e os resultados obtidos.

Quadro 10 – Caracterização das condições geomorfológicas recomendadas para construção de cada tipo de barragem

Tipo de barragem e as condições geomorfológicas
Barragem de terra • Adequado para locais onde a topografia se apresenta suavemente ondulada, nos vales pouco encaixados, e onde existam áreas de empréstimo de materiais argilosos/arenosos suficientes para a construção do maciço compactado; • o eixo deve ser posicionado no local mais estreito do rio, visando reduzir o volume da barragem; • as margens do reservatório devem ser estáveis, visando minimizar escorregamentos.
Barragem de enrocamento • Adequado para os vales medianamente encaixados em regiões rochosas, nas quais o capeamento de solo, muitas vezes, não existe ou é pouco espesso; • disponibilidade de material rochoso em quantidade suficiente. As pedreiras devem estar localizadas, preferencialmente, em cotas superiores às da área de construção da barragem, visando facilitar o transporte de materiais. Disponibilidade de material rochoso em quantidade suficiente. As pedreiras devem estar localizadas, preferencialmente, em cotas superiores às da área de construção da barragem, visando facilitar o transporte de materiais; • a largura do vale, na cota da crista da barragem, deve ser a mais estreita no trecho aproveitável do rio, visando reduzir o volume da barragem; • as fundações e as ombreiras devem ser resistentes e estanques; • facilidade de construção e de acessos.

Barragem de concreto

- Os tipos de barragem de concreto dependem do tipo de arranjo, das condições da fundação e, portanto, da topografia e geologia local.
- as do tipo arco-gravidade, que apresentam uma pequena curvatura para montante, são viáveis em locais onde a topografia é de vale e onde as ombreiras são constituídas por maciço rochoso com condições adequadas para apoio do arco;
- a largura do vale na crista da barragem deve ser a mais estreita do trecho aproveitável do rio, visando reduzir o volume da barragem;
- as fundações e as ombreiras devem ser resistentes. O maciço rochoso deve ser pouco fraturado. A camada aluvionar na região das fundações, caso exista, não deverá ser muito espessa, visando não onerar o custo da obra com o serviço de remoção.

Barragem de Arco (tipo abóbada)

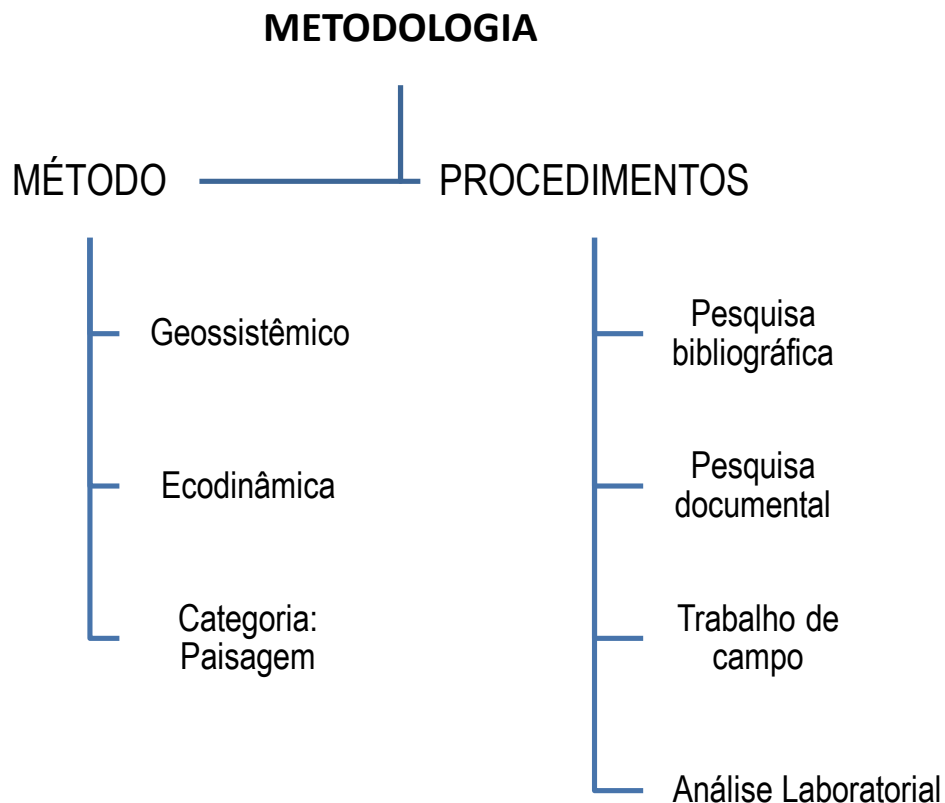
- Ideal para vales estreitos onde haja boas condições para apoio do arco no maciço rochoso das ombreiras;
- para a sua construção, são necessárias condições naturais especiais, ou seja, margens altas constituídas por rocha resistente e sã, fundo do rio igualmente em rocha resistente e sã.

Fonte: ITEP/OS (2011B); Costa (2012).

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a trajetória metodológica em cada uma das fases da pesquisa e detalha os procedimentos utilizados na proposição metodológica voltada para a abordagem da geomorfologia nos EIAs (Figura 6).

Figura 6 – Fluxograma resumido da trajetória metodológica adotada no desenvolvimento do trabalho



Org.: autor.

3.1 MÉTODO

A presente tese pode ser classificada como uma pesquisa descritiva, já que expõe a abordagem geomorfológica nos EIAs de barragens e uma pesquisa exploratória, pois busca o aprimoramento do tema proposto. A pesquisa é qualitativa-descritiva, com o objetivo de detalhar um problema a ser investigado, permitindo uma melhor compreensão dele. No tocante à análise do projeto em estudo, optou-se pelo método sistêmico. Esse na geografia tem derivado em outros métodos, a exemplo da noção de paisagem, ecogeografia e geossistemas.

A abordagem sistêmica é originária da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), surgida na primeira metade do século XX, por iniciativa do biólogo alemão Ludwig von Bertalanffy. Os fundamentos dessa teoria, inicialmente, propunham-se a constatar as relações de interdependência entre conjuntos de componentes físico-bióticos do meio natural por parte dos biólogos. Posteriormente, houve a expansão da aplicação dessa teoria para a análise ambiental, especialmente sob o enfoque da relação meio e seres vivos. Na geomorfologia, a teoria de Bertalanffy foi introduzida por Chorley, em 1962, sendo os geossistemas o principal foco do uso da Teoria dos Sistemas na geografia física. Mendonça (1989) expõe um breve histórico da abordagem sistêmica na geografia:

A aplicação em grande escala da Teoria dos Sistemas à geografia deu-se primeiramente nos Estados Unidos durante os anos 50 e 60, principalmente. Nos anos 50, após o casamento da Teoria dos Sistemas com o Método Quantitativo dentro da geografia, esta recebeu a alcunha de *New Geography* (Nova Geografia). Esse casamento só se tornou possível graças à aplicação também da Teoria dos Modelos, a modelização. A geografia assumiu uma configuração completamente diferente da desenvolvida até então (MENDONÇA, 1989, p. 45).

Em termos de conceito para sistemas, alguns estão na literatura de diferentes áreas do conhecimento. Almeida e Tertuliano (1999, p. 115) definem sistema como: o “[...] conjunto de unidades com relação entre si. [...] encontra-se organizado em virtude das relações entre as unidades, [...]. Cada unidade tem seu estado controlado, condicionado ou dependente do estado de outras unidades”. Já Thorness e Brunsden *apud* Christofoletti (1979, p. 1) definem sistema como “[...] um conjunto de objetos ou atributos e das suas relações organizadas para executar uma função particular”. Portanto, por essa perspectiva, o sistema é algo que recebe (*input* – entrada) e transforma em *output* (saída). A contribuição dessa perspectiva a pesquisa, reside em dois aspectos: na relação sociedade e natureza investigada, como também a integração com os instrumentos de planejamento e gestão do meio ambiente (licenciamento ambiental, o Estudo de Impacto Ambiental e a auditoria ambiental). Portanto, a utilização da abordagem sistêmica varia de acordo com o objetivo proposto pelo pesquisador, é ele que seleciona os elementos e variáveis a serem estudadas (RODRIGUES, 2001; MARQUES, 2008; SILVA, 2008). A ideia principal do método sistêmico é de harmonia e hierarquia, as inter-relações dos elementos são constantes e influem direta ou indiretamente no sistema. Tricart (1982, p. 476) confirma esse posicionamento ao explicar que

[...] a análise de sistemas é, portanto, hoje em dia um instrumento lógico perfeitamente adequado para o estudo do ambiente natural. Permite

reconhecer a interferência entre todos os diferentes fenômenos que fazem parte do complexo natural [...] Dessa forma, também facilitam-se as relações transdisciplinares com os outros naturalistas e, se eles aceitarem, com os especialistas em seres humanos. Sem dúvida, a abordagem sistêmica é um instrumento lógico cujo campo de ação é universal: fornece um denominador comum para investigações relacionadas a diferentes objetos

Segue explicando que:

A ação humana é exercida em uma Natureza mutante, que evolui segundo leis próprias, das quais percebemos, de mais a mais, a complexidade. Não podemos nos limitar à descrição fisiográfica, do mesmo modo que o médico não pode se contentar com a anatomia. Estudar a organização do espaço é determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece (TRICART, 1977, p. 35).

A delimitação das unidades ambientais definida pelo autor, baseada na teoria dos sistemas e levando em conta o dinamismo das relações entre os elementos da paisagem e as intervenções humanas, considera o ambiente em equilíbrio dinâmico como sendo estável, ao passo que o ambiente em desequilíbrio é instável, decorrente da alteração por causas antrópicas, podendo ocasionar desequilíbrios permanentes e temporários.

Sendo assim, a pesquisa é alicerçada no método geossistêmico, criado pelo soviético Sotchava, em 1962, fazendo uso dos princípios sistêmicos e da noção de paisagem, expressando a conexão entre natureza e sociedade (GUERRA; MARÇAL, 2006). Os geossistemas correspondem ao resultado da combinação dos fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e da cobertura vegetal, além de agregar fatores sociais e econômicos. É também o resultado de uma relação imbricada de diversos fatores que interferem uns sobre os outros e que variam no tempo e no espaço (CHRISTOFOLETTI, 1999). Ao mesmo tempo, também propõe-se fazer uso dos princípios do método ecodinâmico do geógrafo francês Jean Tricart. Ele buscou desenvolver estudos objetivando o uso planejado e o aproveitamento racional dos recursos naturais em diversos países. Seu estudo buscou estimar os impactos das ações técnico-econômicas do homem sobre os ecossistemas (TRICART, 1977). Dessa forma, partindo de uma natureza modificada e da necessidade de uma convivência sustentável com ela, propõe-se a abordagem da auditoria de EIAs aplicada à geomorfologia de barragens, a partir de uma visão geossistêmica, com base nos conceitos teóricos e metodológicos da ecodinâmica.

3.2 CATEGORIA DE INVESTIGAÇÃO

Ao abordar a degradação ambiental, a geografia faz uso de alguns conceitos que contribuem na compreensão de tal fenômeno. Os conceitos de ‘paisagem’, ‘região’, ‘lugar’, ‘espaço’ e ‘território’ são exemplos de conceitos contemplados pela ciência geográfica na sua tarefa de conhecer e estudar as diversas relações entre a sociedade e a natureza. Se for realizado um percurso pela bibliografia geográfica sobre a paisagem, será possível constatar a importância desse conceito e como ele variou no tempo e se relacionou as diferentes escolas de pensamento, além da sua vinculação a nomes famosos, como Alexander Von Humboldt e Friedrich Ratzel.

A paisagem na geografia vem se consolidando desde o desenvolvimento científico do conceito pelos geógrafos alemães nas últimas décadas do século XIX. Segundo Salgueiro (2001, p. 40), “[...] *landschaft* tanto significava uma porção limitada da superfície da terra que possuía um ou mais elementos que lhe davam unidade, como a aparência da terra tal como era percebida por um observador”. Para os geógrafos do princípio do século XX, a paisagem aparecia como um conceito integrador, pois traduzia as interações entre os elementos do mundo físico e entre esses e os grupos humanos numa dada área. De acordo com Troll (1982) *apud* Nunes *et al.* (2016), a paisagem caracteriza-se como um local onde se expressam todos os fenômenos que podem ser observados na superfície terrestre, devendo seu estudo tomar o ritmo temporal e espacial como referências.

Dessa forma, “[...] o conceito de paisagem foi evoluindo desde uma posição muito próxima da geografia física, até revelar maiores preocupações com os processos econômicos e culturais, procurando abarcar a totalidade dos fenômenos no espaço estudado (SALGUEIRO, 2001, p. 44). Os estudos sobre a paisagem, inicialmente, já apresentavam as perspectivas morfológica e fisiológica. Tais estudos foram focados na descrição das formas físicas da superfície terrestre, sendo progressivamente incorporadas as ações do homem no transcurso do tempo, com a individualização das paisagens culturais frente às naturais. Partindo para um entendimento mais contemporâneo, Carl Sauer (1998, p. 42) destaca:

Não podemos formar uma ideia de paisagem a não ser em termos de suas relações associadas ao tempo, bem como suas relações vinculadas com o espaço. Ela está em um processo constante de desenvolvimento ou dissolução e substituição. Assim no sentido corológico, a alteração da área modificada pelo homem e sua apropriação para o uso são de importância fundamental. A área anterior à atividade humana é representada por um conjunto de fatos morfológicos. As formas que o homem introduziu são um outro conjunto.

Em suas pesquisas sobre a paisagem, Bertrand (1972, p. 141) toma o conceito de paisagem a partir de uma visão sistêmica, e define:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.

Portanto, os posicionamentos dos autores a respeito do conceito de paisagem dialogam com os procedimentos escolhidos, diante da inter-relação estabelecida entre a geomorfologia e os instrumentos de planejamento e gestão ambiental trabalhados nesta pesquisa (especialmente o EIA, AIA e a auditoria ambiental).

Sendo assim, a paisagem alterada é um espaço produzido, sendo a natureza o suporte físico, como também um recurso a ser ocupada e utilizada pela sociedade humana. Segundo Moura-Fé (2019, p. 1.233), “[...] atualmente, a ideia da paisagem vem merecendo mais atenção pela avaliação ambiental e pela estética”. Nunes *et al.* (2015, p.14) explicam que “[...] o relevo atual é o resultado concreto derivado da dinamicidade entre os processos físicos (morfoestruturais e morfoesculturais) e os agentes sociais atuantes [...]”. Portanto, tal afirmação guarda total relação com o interesse deste trabalho, já que a construção e operação de uma barragem impacta o relevo, como também são fatores a serem analisados no momento da concepção da obra.

Nesse sentido, é nítida a necessidade de se focar a paisagem como elemento transformado e condicionador, que compõe aspectos culturais relevantes da sociedade, exprimindo valores, posturas e a própria existência humana como ser explorador e ao mesmo tempo contemplador. A paisagem acaba se tornando palco de tipos e intensidades do aproveitamento do solo, consequências das atividades humanas sobre o sistema natural e a intensidade dos impactos ambientais, e o tempo que desperta a necessidade de proteção frente a certas alterações provocadas pelo homem.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo os procedimentos técnicos elencados por Gil (2002), a pesquisa contemplou: revisão da literatura (livros e artigos científicos, principalmente); levantamento e pesquisa documental de fontes primárias (especialmente os EIAs das duas barragens analisadas e os oito EIAs de barragens de outras unidades federativas, considerando que, dos materiais, foram

analisados e extraídos conteúdos de acordo com o objetivo da pesquisa); estudo de campo (visitas *in loco* – pesquisa de campo de reconhecimento para observação das áreas de estudo, registro fotográfico e o planejamento dos demais trabalhos de campo, tendo os EIAs como norteadores); pesquisa de campo detalhada; e estudo de caso.

A concepção metodológica deste trabalho se sustenta na sequência metodológica do trabalho proposta por Santos (2016), que, apesar de voltada para a geologia de engenharia, entende-se que pode ser aplicada ao campo da geomorfologia: “circunscrição do problema”, “análise e diagnóstico dos fenômenos presentes”, “formulações de soluções”, “acompanhamento da implantação” e o “monitoramento do desempenho”.

De forma geral, o trabalho foi estruturado nas seguintes etapas: trabalho de gabinete, trabalho de campo e etapa de laboratório.

3.3.1 Trabalho de gabinete – pesquisa da bibliografia

Esta etapa consistiu no levantamento bibliográfico em bibliotecas de instituições públicas (UFPE – Universidade Federal de Pernambuco e UFPB – Universidade Federal da Paraíba), base de dados na internet etc., por meio da consulta aos trabalhos acadêmicos (dissertações e teses); periódicos nacionais e internacionais; livros nacionais e estrangeiros; e legislação ambiental brasileira, imprescindíveis para gerar um embasamento teórico e metodológico por meio da leitura e investigação, essenciais para a redação do capítulo de “Revisão da Literatura”, bem como no planejamento e na execução das atividades e procedimentos no campo e de laboratório, permitindo um alicerce para a discussão dos resultados do trabalho.

As pesquisas bibliográficas levantaram trabalhos relacionados à Avaliação de Impacto Ambiental (AIA); o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), com ênfase nos itens – “diagnóstico ambiental”, “impactos ambientais”, “medidas mitigadoras” e “programas ambientais/de monitoramento”; auditoria ambiental e a aplicação da auditoria de EIA; a inserção da geomorfologia na ciência geográfica e suas aplicações voltadas ao planejamento e a gestão ambiental; e barragens e os impactos ambientais geomorfológicos ocasionados por essas obras.

3.3.2 Análise documental

Para Rampazzo (2005, p. 52), as pesquisas documentais “[...] são importantes não porque respondem definitivamente a um problema, mas porque proporcionam melhor visão desse problema”.

3.3.2.1 Seleção de casos

Esta etapa considerou como abrangência territorial o estado de Pernambuco e os EIAs protocolados no órgão ambiental estadual (CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente), objetivando identificar a quantidade de estudos por ano e a tipologia de obra.

Para a escolha dos dois EIAs, o primeiro procedimento foi consultar o registro dos EIAs protocolados na CPRH, disponibilizados no site do órgão, a partir do ano de 2009 (primeiro ano que a CPRH disponibiliza os estudos ambientais para download em seu site). Como intervalo de interesse da pesquisa, os estudos consultados compreenderam o período entre os anos de 2009 e 2016. Em seguida, buscou-se quantificar os estudos de acordo com as tipologias dos empreendimentos/atividades. Por fim, independente do resultado obtido, era de interesse da pesquisa uma tipologia que impactasse, de modo mais intenso, a geomorfologia durante as fases de construção e de operação. Logo, a barragem foi a tipologia de maior ocorrência no tocante aos EIAs protocolados. Após a seleção dos estudos dessa tipologia, foi feita consulta junto à Secretaria Estadual de Recursos Hídricos a respeito do estágio das obras de cada barragem. De acordo com a secretaria, no início do ano de 2017, a barragem Serro Azul estava sendo concluída para ser entregue na metade do mesmo ano e as demais estavam com obras paralisadas ou não tinham sido iniciadas. Das barragens nessa situação, a barragem de Igarapeba estava com as obras paralisadas, mas era a mais avançada, com 40% das obras concluídas. Logo, optou-se pela escolha das duas barragens (Serro Azul e Igarapeba).

3.3.2.2 Levantamento da documentação do licenciamento ambiental e dos EIAs das barragens de Serro Azul e Igarapeba

Esta etapa consistiu, em sua maior parte, no levantamento e análise dos EIAs das barragens analisadas em campo e dos documentos do licenciamento ambiental delas, buscando apresentar estudos de caso de uma barragem na fase de construção (Igarapeba) e outra na fase de operação (Serro Azul), na realidade das áreas úmidas no estado de Pernambuco. Além do mais, identificar, extrair e discutir os itens dos EIAs que contemplaram os aspectos geomorfológicos e aqueles com potencialidade em abordar tais conhecimentos. Por fim, servindo também para a alimentação dos instrumentos da proposta metodológica, diante da vivência, ao longo de mais de dois anos, das áreas de estudo escolhidas.

Após a escolha, procedeu-se a leitura e a análise de conteúdo dos EIAs na Biblioteca da Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco e foram obtidas as cópias das licenças

ambientais junto à Secretaria Estadual de Recursos Hídricos: Serro Azul (LP, LI e LO) e Igarapeba (LP e LI). Sendo assim, estudos de caso pautados nas diretrizes de Yin (2010).

3.3.3 Levantamento e análise de conteúdo dos EIAs de barragens em outras unidades federativas

Os resultados também foram obtidos pela análise de EIAs de barragens submetidas ao licenciamento ambiental em outras unidades federativas. Foi realizado um levantamento em todos os órgãos estaduais de meio ambiente do Brasil, por meio de uma consulta nos endereços eletrônicos na internet, utilizando o mesmo intervalo de tempo dos EIAs em Pernambuco. Só foram analisados os EIAs estritamente relacionados ao licenciamento ambiental de barragens, independente do objetivo delas. Como o objetivo da pesquisa em levantar tais estudos é focar na abordagem geomorfológica presente nesses documentos, foi dispensável a organização e classificação dos EIAs com informações de cunho geral (data de protocolo; licenças expedidas; situação atual do licenciamento ambiental do empreendimento etc.), que não seriam relevantes para o trabalho. Os seguintes critérios foram adotados para a seleção e a escolha dos EIAs:

- a) o estabelecimento de um quantitativo de oito EIAs de barragens;
- b) só selecionar o empreendimento que tivesse o EIA disponível para download no site do órgão ambiental licenciador²⁹.
- c) que houvesse uma desconcentração espacial, contemplando as cinco grandes regiões brasileiras definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- d) o critério de capacidade máxima de acumulação 200 – 300 milhões de m³ (considerando a capacidade máxima de acumulação da barragem Serro Azul de 303 milhões de m³);
- e) que o estudo tenha sido protocolado entre os anos de 2009 e 2017 (recorte temporal da disponibilização dos EIAs/RIMAs no site da CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco);
- f) que todos os EIAs fossem de barragens para fins de contenção de cheias e/ou abastecimento humano. Contudo, no levantamento feito nos sites dos órgãos ambientais das unidades federativas³⁰, a partir dos critérios anteriormente citados, não foi possível atender ao critério de capacidade de acumulação e de finalidade.

³⁰ Vale destacar que nem todos os órgãos ambientais estaduais disponibilizam os EIAs e/ou RIMAs em seus sites.

Logo, foram escolhidos, também, empreendimentos com o objetivo de geração de energia elétrica.

Neste item, são apresentados os resultados da pesquisa exploratória resultante da revisão bibliográfica, da pesquisa documental e do preenchimento da matriz de análise técnico-documental, destinada a análise de conteúdo dos oito EIAs de barragens, entre os anos de 2009 e 2017, protocolados nos órgãos ambientais estaduais de Goiás, Paraíba, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina. Tal análise é entendida como o processo intelectual de categorizar dados textuais qualitativos em entidades semelhantes, ou categorias conceituais, para identificar padrões consistentes e relações entre variáveis ou temas (JULIEN, 2008, p.120). Para tanto, foi elaborado um quadro com os dados gerais dos EIAs selecionados para a análise (número de identificação do EIA, ano, órgão ambiental licenciador, empresa elaboradora do estudo, nome do empreendimento, Unidade Federativa e a finalidade).

Para isso, foi utilizada a matriz de análise técnico-documental elaborada por Gutierrez *et al.* (2017)³¹ (e modificada para este trabalho), que foi adotada, pelos autores, para a análise da abordagem geomorfológica de EIAs no estado da Paraíba. Os autores analisaram dezoito EIAs, de diversas tipologias de empreendimentos, protocolados no órgão estadual de meio ambiente. A matriz se estruturou em treze quesitos, enfocando a geomorfologia, associando as atividades técnicas elencadas no art. 6º da Resolução CONAMA nº 01/86 (Diagnóstico Ambiental; Avaliação dos Impactos Ambientais; Medidas Mitigadoras; e Programas de Monitoramento). Tal instrumento foi utilizado para a análise dos oito EIAs, bem como também foi feita a aplicação aos EIAs das barragens de Igarapeba e Serro Azul. Ao final, procedeu-se a uma análise comparativa dos resultados obtidos no intuito de confrontar com o que foi obtido com a análise dos oito EIAs.

3.3.3.1 Levantamento da legislação dos estados do Brasil que contemplam a auditoria ambiental

O levantamento da legislação dos estados do Brasil que contemplam a auditoria ambiental (de forma geral ou específica) e/ou com previsão da auditoria de Estudo de Impacto Ambiental foi realizado por meio da consulta aos sites de todas as Assembleias Legislativas, tendo como referência temporal os dias 18 e 19 de setembro de 2019.

³¹ Ele foi melhorado para este trabalho.

Para isso, foi elaborado um quadro, intitulado de “Levantamento da legislação dos estados do Brasil que contempla a auditoria ambiental (de forma geral ou específica) e/ou com previsão da auditoria de Estudo de Impacto Ambiental”. Nele, constam seis colunas, contemplando: Unidade Federativa, Legislação (número/data), Ementa, Normas jurídicas que contemplem a auditoria ambiental, lei específica para auditoria ambiental e Auditoria de EIA contemplada. No caso das três últimas colunas, essas foram preenchidas com “sim” e “não”. Após a elaboração e o preenchimento do quadro, os dados foram discutidos com enfoque temporal, geográfico e à luz da revisão da literatura.

Com o objetivo de enfatizar as leis estaduais que dispensam um tratamento específico sobre a auditoria de EIA, em alguns artigos, foi elaborado um quadro, intitulado “Textos das leis estaduais com expressa referência à aplicação da auditoria de EIAs”, cujo objetivo é transcrever os textos das leis para servir como embasamento para a elaboração da proposta metodológica deste trabalho.

3.3.3.2 Elaboração das Listas de Verificação

As Listas de Verificação elaboradas e apresentadas neste trabalho foram construídas a partir de três critérios: as três fases inerentes ao projeto de uma barragem (planejamento, instalação e operação) e aos três meios contemplados nos EIAs (meio físico, biológico e antrópico) – e enquanto proposta deste trabalho em tratar a geomorfologia por meio da análise integrada com outras áreas do meio físico, além dos meios biológico e antrópico, como também considerando os três “compartimentos” (montante, reservatório e jusante) que envolvem a realidade de uma barragem (conforme entendimento de Cunha, 1995 (Quadro 8)). Como embasamento para a elaboração dos quesitos (enunciados) e temas, foi feito uso da coleta de dados nos EIAs das duas barragens, além dos outros oito EIAs analisados no item 4.3; na bibliografia científica, especialmente da geomorfologia, de barragens e de AIA; na legislação pertinente; documentos técnicos de órgãos ambientais; e da base empírica resultante dos trabalhos de campo desenvolvidos nas duas barragens (Igarapeba e Serro Azul).

Considerou também a publicação do IBAMA (2016), que levantou as listas de referências nacionais e internacionais, agrupando em quatro categorias: (i) listas utilizadas para definição do problema, em especial as listas de triagem e definição de escopo; (ii) listas utilizadas para auxiliar na análise e interpretação dos impactos ambientais, englobando métodos de avaliação de impacto; (iii) listas utilizadas como guias de análise técnica de estudos de impacto ambiental; e (iv) listas para fins gerenciais ou administrativos, perfazendo as listas

como guias de análise, monitoramento, controle e auditoria ambiental. Diante da proposta metodológica em focar nas atividades de “elaboração”, “análise técnica” e “implementação/gestão”, compreende-se que as quatro categorias são contempladas. A partir de tais entendimentos, foram contempladas todas as estruturas e intervenções, independente do compartimento, em todas as fases do projeto.

Por outro lado, a partir das diferentes formas de ocupação e dos usos para a construção e a operação da barragem, correlacionou-se os quesitos aos temas geomorfológicos principais e que estão diretamente relacionados à realidade de uma barragem (“processos e dinâmica geomorfológica”, “impactos geomorfológicos”, “mapeamento”, “geodiversidade e etnogeomorfologia”, “geomorfologia fluvial”, “legislação aplicada à geomorfologia”, “geomorfologia e ecologia”, “dinâmica geomorfológica e atividades econômicas”). Sendo assim, foram imprescindíveis as etapas de revisão da literatura, a base empírica construída pelos trabalhos de campo desenvolvidos ao longo de 26 meses e o que foi trabalhado nos itens 4.1, “Barragem de Igarapeba”, 4.2, “Barragem Serro Azul”, 4.3, “Auditoria Geomorfológica de EIAs de barragens em outros estados brasileiros e das barragens de Igarapeba e Serro Azul”, e, no 4.4.1, “Auditoria ambiental compulsória nas unidades federativas”, que permitiram o embasamento para a elaboração das Listas de Verificação apresentadas, a partir do item 4.4, “Proposta de auditoria geomorfológica de EIAs de barragens”.

A estruturação das colunas foi baseada em La Rovere (2011), que entende que uma Lista de Verificação é um questionário de “sim” e “não” (além do “NA” – não se aplica), estruturada para incorporar todas as questões relevantes. De forma a enriquecer tal avaliação, optou-se, para uma melhor análise da qualidade, o uso de *Lee and Colley Review Package* (conforme abordado no item 2.5, “Análise técnica de qualidade dos EIAs e a sua efetividade”), sendo tal escala de avaliação um dos parâmetros mais utilizados para a análise da efetividade substantiva e tal escala amplamente empregada para o desenvolvimento de pesquisas nas últimas décadas (VERONEZ, 2018). Portanto, por meio da revisão sistemática de EIAs se propõe o uso da citada escala como instrumento de controle da qualidade no processo de AIA (LEE E COLLEY, 1992).

Portanto, para fins de avaliação da qualidade geral da abordagem da geomorfologia no EIA, adotou-se que percentual acima de 50% dos conceitos A, B e C resulta numa avaliação satisfatória, enquanto que acima desse percentual dos conceitos D, E e F representa uma avaliação insatisfatória do EIA analisado, sendo possível tal quantificação dos conceitos por meio das tabelas apresentadas no item dos “Resultados e Discussão”. Tais critérios encontram respaldo em trabalhos que aplicaram entendimentos próximos ao que se propõe neste trabalho

(SANDHAM *et al.*, 2010; SANDHAM *et al.*, 2013; VERONEZ, 2018). Contudo, diante da possibilidade de um maior detalhamento dos conceitos (de forma individual ou por pares – AB, CD e EF), a proposta pode ser adaptada.

Enquanto que para as listas de verificação para o acompanhamento das atividades de gestão previstas no EIA, com o objetivo de avaliar o grau de implementação das ações de cada item, foi utilizada a escala de avaliação de Brasil/TCU (2009) e as suas respectivas terminologias da classificação (“Cumprida ou implementada”; “Em cumprimento ou em implementação”; “Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada”; “Não cumprida/não implementada”; “Não aplicável”). A Portaria TCU/SEGECEX nº 27 (Secretaria-Geral de Controle Externo), emitida em 19 de outubro de 2009, disciplina a verificação do cumprimento das determinações e recomendações expedidas pelo Tribunal de Contas da União e dos resultados delas advindos e aprovou, em caráter preliminar, o documento Padrões de Monitoramento.

Como estratégias metodológicas usadas para a avaliação do grau de cumprimento dos quesitos(enunciados), a pesquisa adotou: a pesquisa documental do licenciamento ambiental do empreendimento, consulta aos técnicos da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos e as visitas *in loco*.

O intuito do trabalho é a apresentação de conclusões das realidades analisadas e a possibilidade de aplicação da proposta metodológica para empreendimentos de mesma tipologia e em condições ambientais similares, especialmente daqueles localizados em áreas tropicais.

3.3.4 Trabalhos de campo

O trabalho de campo tem o intuito de aproximar e possibilitar um contato direto do pesquisador com sua(s) área(s) de estudo, permitindo extrair conhecimentos que não seriam possíveis se a pesquisa ficasse restrita ao trabalho de gabinete.

No que concerne à pesquisa de campo, procedeu-se a observação das áreas de estudo; a identificação de impactos ambientais reais e potenciais, por meio da utilização de uma Lista de Verificação (Checklist) elaborada, exclusivamente para o uso inicial no campo, a partir daquilo que foi previsto nos EIAs; registro fotográfico para a demonstração das condições locais e entrevistas com os técnicos da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, que forneceram informações das etapas de construção e operação da barragem de Serro Azul e da fase de construção da barragem de Igarapeba.

Inicialmente, para o reconhecimento das áreas, além dos caminhamentos realizados e registros fotográficos, foram obtidas imagens aéreas por meio de drone, registradas a partir da câmera de 20mp embarcada em um drone, modelo Phantom 4 PRO, que sobrevoou as áreas das barragens estudadas, registrando imagens a uma altura aproximada de 100 metros. As imagens panorâmicas são de grande importância para o registro da paisagem, uma vez que podem captar alterações que o olho humano não consegue enxergar a nível do solo. O voo do drone aconteceu no mês de dezembro/2017, marcando o início do verão, possibilitando a obtenção do quadro inicial das áreas da pesquisa, e foi realizado de forma manual, por meio da operação do equipamento usando o seu controle em solo, e controlando a câmera para posicioná-la em ângulos que permitissem captar os elementos físicos que precisariam ser evidenciados para o monitoramento dos impactos ambientais geomorfológicos.

Como uma das possibilidades na obtenção dessas imagens, destaca-se a elaboração de ortomosaicos georreferenciados. Segundo Longley *et al.* (2013, p. 242), “[...] ortoimagens são imagens corrigidas em função das variações do terreno utilizando um DEM, como se cada ponto estivesse sendo visto de cima, verticalmente”. A sua popularização se deveu, segundo os autores, ao custo de criação relativamente baixo (se comparado aos mapas topográficos) e à facilidade de interpretação como mapas base. Também se destacam como fontes de dados precisos para vetorização manual.

Dessa forma, compreende-se que uma grande vantagem das fotos obtidas é possibilitar compor um planejamento mais preciso da área objeto da pesquisa. Obviamente que cuidados com a paralaxe, por exemplo, são necessários para uma maior precisão da captura das feições relativas ao relevo. Logo, a ortorretificação altera o aspecto cônico do clique fotográfico e a consequente representação cartográfica ortogonal.

Os trabalhos de campo consistiram na realização de seis incursões (agosto de 2017, dezembro/2017, abril/2018, agosto/2018, abril/2019 e outubro de 2019), tendo sido realizados caminhamentos para a verificação dos aspectos geomorfológicos e outros associados ao tema central do trabalho, registros fotográficos, coletas de amostras de solo, verificação e identificação *in loco* de processos erosivos acelerados, tendo sido utilizadas a trena a laser, trena analógica e GPS para fins de medição das dimensões, essenciais para o planejamento e a execução do monitoramento de voçorocas, uso de equipamentos e validação de dados cartográficos.

Por meio de caminhamentos nas atividades de campo, observou-se a ocorrência de acentuados processos de ravinamento e voçorocamento na margem direita do reservatório da barragem de Serro Azul. Logo, procedeu-se a escolha de duas voçorocas com o objetivo de

verificar a evolução do quadro de erosão, por meio do estaqueamento e a realização do monitoramento das mesmas, segundo a metodologia de Cunha e Guerra (2007), com o uso da “Ficha de Campo – Cadastro de Voçorocas em Solos Residuais e Sedimentos Colúvio-Aluviais”, do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE. Apesar da existência da previsão da implantação de um “Programa de Controle dos Processos Erosivos” no EIA, não foi identificada, durante o período da realização dos trabalhos de campo, qualquer indicação da implementação do referido programa. Sendo assim, a pesquisa buscou técnicas voltadas para avaliações qualitativas e/ou semiquantitativas (fotografias em diferentes datas; informações e depoimentos obtidos junto à população, funcionários da barragem e técnicos da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos - SERH, imagens de satélite; e fotos obtidas por drone) e quantitativas (interpretação de fotos de drone e estaqueamento para fins de monitoramento de voçorocas), conforme detalhado por Azevedo e Rubio (2018).

Os trabalhos de campo também tiveram o objetivo de esclarecer e/ou dirimir dúvidas no tocante aos mapeamentos preexistentes e às imagens de satélite das áreas.

As atividades de campo permitiram a elaboração de um diagnóstico a respeito dos parâmetros geomorfológicos nas áreas de estudo, correlacionando aos fatores de interferência, naturais e antrópicos. Posteriormente, objetivando conhecer os processos envolvidos, procedeu-se a uma caracterização mecânica dos materiais superficiais das vertentes, por meio de ensaios de campo e de laboratório. Considerando a ênfase dada ao estudo dos processos erosivos nas áreas de estudo, Guerra *et al.* (2010, p. 211) afirmam que:

Apesar das dificuldades e restrições, as pesquisas em geomorfologia experimental relacionadas aos processos erosivos, de campo e laboratório, aumentaram substancialmente e vêm contribuir para um entendimento mais coerente e real dos mecanismos dos processos e sua influência na evolução das vertentes e das paisagens tropicais.

Dessa forma, o que demonstra a importância dos levantamentos de campo, com o uso de instrumentos, bem como da análise laboratorial dos materiais coletados, permitindo um melhor embasamento para a análise dos processos erosivos, bem como no monitoramento da evolução das morfologias e dos processos geomorfológicos.

3.3.5 Atividades de laboratório – análise granulométrica

Dentre as justificativas da importância da coleta de amostras de solo nas margens do reservatório e do conhecimento da sua composição granulométrica está a preocupação com relação à predisposição aos processos erosivos, especialmente aqueles que contribuem para o recuo das margens do reservatório (que varia a velocidade do processo de acordo com as condições dos materiais afetados – mais alterados, mais fraturados e menos coerentes ou mais coerentes e com os ângulos das encostas mais favoráveis), que pode ser deflagrado através da erosividade das chuvas e do embate das ondas formadas por ventos atuantes sobre a superfície líquida (principalmente quando esses têm direção predominante alinhada ao reservatório). Tal compreensão da dinâmica dos processos geomorfológicos numa determinada área só é possível, por meio da análise de diversos aspectos, incluindo o conhecimento dos materiais que recobrem determinado terreno, o que é possível por meio da análise da granulometria.

Para Azevedo e Rubio (2018, p. 254), na literatura nacional e internacional, “[...] há unanimidade quanto ao papel das ondas como fator preponderante na evolução dos processos erosivos marginais”. Os autores consideram que as ondas geradas pela atuação dos ventos representam o agente de erosão de margens mais importante, devido à sua ação contínua ao longo do tempo e afetando, indistintamente, diferentes condições geológicas e geomorfológicas da orla dos reservatórios. Tal etapa se mostra fundamental para a pesquisa, devido à estreita relação existente a geomorfologia e a pedologia. Para Queiroz Neto (2000, p. 62):

A análise estrutural da cobertura pedológica, introduzida no Brasil no início da década de 1980 (Queiroz Neto *et al.*, 1981, Lucas *et al.*, 1984), permitiu ultrapassar a visão verticalista da Pedologia, calcada no estudo de perfis isolados, e introduziu a análise detalhada da organização lateral/espacial (tridimensional) da cobertura pedológica ao longo das vertentes.

Portanto, neste trabalho é fundamental adotar o entendimento de que os processos pedológicos representam um fator de grande relevância na evolução do relevo, principalmente aqueles reportados aos processos erosivos. Quando se pensa nas barragens, é inerente a essa tipologia de obra de engenharia a ligação dos processos erosivos durante a construção e a sua operação. Logo, entende-se que a coleta de amostras de solo e a análise laboratorial se constituem em procedimentos necessários na elaboração de um EIA de barragem, bem como continuam sendo necessários durante a sua vida útil, o que justifica a importância de incluir essas ações nas listas de verificação propostas, seja como “procedimentos”, como também

enquanto a inserção de quesitos que guardam relação direta ou indireta com essas coletas e análises.

Foram realizadas treze coletas de solo (sendo nove em Serro Azul e quatro em Igarapeba), com uma profundidade de 10 centímetros, buscando atender ao entendimento anteriormente exposto. No caso da barragem de Serro Azul, essa preocupação é ainda maior, visto que, durante o tempo da pesquisa de campo, diversos processos erosivos (ravinas, “piping”, voçorocas etc.) foram identificados nas margens do seu reservatório. As coletas foram realizadas nas áreas das duas barragens nos campos de dezembro de 2017 e de abril de 2018.

Portanto, apesar da importância em se apresentar os tipos de solos com ocorrência nas áreas de estudo, as análises granulométricas se tornam imprescindíveis para que tenha um entendimento específico dos locais, inclusive avaliando processos inerentes àquela área específica. Como exemplo, no Programa de Controle de Processos Erosivos, no EIA da barragem de Igarapeba, afirma-se que: “[...] os processos erosivos também são intensificados a jusante do barramento, especialmente em depósitos aluviais inconsolidados e solos com maior suscetibilidade a esses processos, sob a ação de água efluente desprovida de carga sólida”. Logo, constata-se um dos claros objetivos da coleta e análise das amostras na perspectiva da pesquisa, demonstrando a sua contribuição para uma análise mais detalhada e aprofundada.

Na barragem de Serro Azul, foram realizadas coletas de amostras de solo em cinco pontos na área do reservatório e em quatro locais a jusante do barramento, conforme a Figura 7 e o Quadro 11. Os pontos de coleta a jusante buscaram contemplar a recomendação prevista no EIA, especialmente no impacto “instabilidade dos solos no entorno do reservatório” (ADA e AID), que destaca a necessidade da inclusão, no programa de monitoramento para verificar a incidência de processos erosivos, as margens do rio Una, pelo menos até 500 metros à jusante da barragem.

Figura 7 – Imagem de satélite mostrando os pontos de coleta de solo na área da barragem de Serro Azul



Fonte: Adaptada de Google Earth (2018).

No tocante às coletas da margem direita, optou-se pela coleta dentro das duas voçorocas monitoradas, sendo duas coletas em uma das voçorocas (MDR 1). Enquanto que a jusante foram coletadas quatro amostras, duas para cada margem, optando por uma coleta antes da ponte, que reflete mais o fluxo proveniente da barragem e do riacho Camevô. Já as outras duas amostras foram obtidas após a ponte de acesso à barragem (Quadro 11).

Quadro 11 – Localização dos pontos de coleta das amostras de solos na barragem de Serro Azul

Ponto de Coleta	Coordenadas geográficas – Latitude	Coordenadas geográficas – Longitude
PC1 – MEJ antes da ponte	8°35'19.20"S	35°39'54.45"O
PC2 – MEJ após a ponte	8°35'32.70"S	35°39'47.25"O
PC3 – MDJ antes da ponte	8°35'26.12"S	35°39'53.07"O
PC4 – MDJ após a ponte	8°35'36.98"S	35°39'51.05"O

PC5 – MDR 1 (duas coletas)	8°35'38.06"S	35°40'33.75"O
PC6 – MDR 2	8°35'37.99"S	35°40'30.35"O
PC7 – MER 1	8°35'20.50"S	35°40'2.58"O
PC8 – MER 2	8°35'8.98"S	35°40'23.00"O

Fonte: o autor (2019).

Legenda: MEJ: margem esquerda jusante; MDJ: margem direita jusante; MDR: margem direita reservatório; MER: margem esquerda reservatório.

Na barragem de Igarapeba, foram realizadas quatro coletas de amostras de solo na área que compreende o futuro reservatório, conforme a Figura 8 e o Quadro 12.

Figura 8 – Imagem de satélite mostrando os pontos de coleta de solo na área da barragem de Igarapeba



Fonte: Adaptada de Google Earth (2018).

Quadro 12 – Localização dos pontos de coleta das amostras de solos na barragem de Igarapeba

Ponto de Coleta	Coordenadas geográficas – Latitude	Coordenadas geográficas – Longitude
PC1 – coleta 1	8°48'11.81"S	35°53'6.63"O
PC2 – coleta 2	8°48'11.48"S	35°53'6.89"O
PC3	8°48'10.49"S	35°53'4.28"O
PC4	8°48'10.27"S	35°53'7.69"O

Fonte: o autor (2019).

Foi realizada nova etiquetagem dos sacos no Laboratório de Planejamento e Gestão Ambiental (LAPLAG/UFPB) – (Figura 9), do Departamento de Geociências da Universidade Federal da Paraíba, e, posteriormente, encaminhados para análise granulométrica no Laboratório de Geomorfologia do Quaternário (Figura 10), do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

Figura 9 – Amostras de solo coletadas nas barragens de Igarapeba e Serro Azul



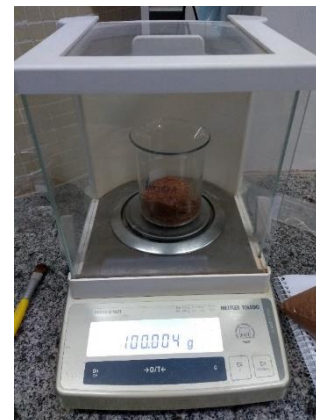
Foto: o autor (2019).

O objetivo principal foi realizar a análise granulométrica, baseada nos procedimentos específicos estabelecidos pela ABNT NBR 7181 (análise granulométrica do solo e sedimentação) e na metodologia proposta por Gale e Hoare (1991), com a execução do peneiramento das amostras e a definição das classes de tamanho das partículas, segundo a escala de Wentworth.

Figura 10 – Procedimentos da análise granulométrica das amostras de solos coletadas



Método da pipetagem para os valores de silte e argila



Pesagem da amostra na balança de precisão



Amostra colocada no agitador mecânico



Levada para secar na estufa a 80° C



Despejada num jogo de peneiras e levadas ao rotap por 10 minutos.

Fonte: Carla Suelânia (2019).

Para iniciar, é feita a separação de 100 gramas de amostra por meio do quarteamento do material inconsolidado. Posteriormente, a amostra foi diluída numa solução com 500ml água destilada e 20g hexametáfosfato de sódio, sendo colocada em um agitador mecânico por 10 minutos, objetivando desflocular e lavar a amostra e posteriormente deixando por 24 horas para decantação. Depois o material foi lavado numa peneira de 32 μ m e colocados numa estufa para secar a uma temperatura de 80° C (SILVA, 2016; ALMEIDA, 2017). Após a secagem, a amostra foi pesada numa balança de precisão e colocada num jogo de peneiras, que, por meio do *rotap*, durante dez minutos, tais procedimentos permitiram a separação das frações granulométricas (areia – muito fina, fina, média, grossa e muito grossa; e cascalho), existentes na amostra. Finalizada essa etapa, as amostras retidas em cada peneira foram pesadas e registradas em tabela própria.

Com relação às frações silte e argila, o método utilizado foi a pipetagem, que consiste na separação de 20 gramas de amostras e 4 gramas de hexametáfosfato diluído em um litro de água, para que ocorra a sedimentação das partículas (frações de areia, silte e argila). O tempo necessário para a sedimentação de partículas do solo por meio da pipetagem encontra-se discriminado no Quadro 13, que correlaciona o tempo que a amostra precisa descansar em uma proveta, dependendo da temperatura do ambiente (CAMARGO *et al.*, 2009).

Quadro 13 – Tempo e temperatura necessários para a sedimentação de partículas do solo da fração argila e argila/silte

Temp. °C	Argila (5 cm)		Argila+Silte (10 cm)	
	horas	minutos	minutos	segundos
10	5	13	6	14
11	5	05	6	03
12	4	55	5	54
13	4	48	5	44
14	4	40	5	35
15	4	33	5	27
16	4	25	5	19
17	4	18	5	10
18	4	13	5	03
19	4	05	4	55
20	4	00	4	48
21	3	55	4	41
22	3	50	4	34
23	3	43	4	28
24	3	38	4	22
25	3	33	4	15
26	3	28	4	10
27	3	23	4	04
28	3	20	3	59
29	3	15	3	54

Fonte: Camargo *et al.* (2009).

Para a análise dos dados alcançados em cada fração, foram processados de acordo com os critérios de Folk e Ward (1957), tendo realizado o cálculo do diâmetro médio, o grau de

seleção, o grau de assimetria e curtose. Os diagramas de Shepard (1954) e Pejrup (1988) foram utilizados para classificar os sedimentos, por meio do programa SysGran 3.0.

Pejrup (1988) apresenta um outro diagrama triangular voltado para classificar os sedimentos, de acordo com as condições de hidrodinâmica que ocorreram no período de deposição dos sedimentos. As seções (I, II, III e IV) presentes no diagrama refletem o grau de energia da hidrodinâmica da área. A seção I reflete ambientes com condições hidrodinâmicas muito baixas, enquanto que as demais refletem aumentos gradativos de energia. Por outro lado, as seções (A, B, C e D) são definidas por meio do conteúdo de areia existente nos sedimentos. Dessa forma, o diagrama de Pejrup (1988) é dividido em dezesseis grupos, sendo nomeados por números (indicando as condições hidrodinâmicas predominantes no processo de deposição) e as letras (indicando o tipo de sedimento).

3.3.6 Mapa geomorfológico da ADA da barragem Serro Azul

Foi elaborado um mapa geomorfológico da área do barramento de Serro Azul, tendo sido, paralelamente, realizadas visitas de campo, objetivando verificar o que foi visualizado nos mapas e na imagem de satélite do Google Earth, procedendo também ao registro fotográfico e à captação de imagens com o uso de drone. Na elaboração do mapa, foram utilizados a plataforma do Google Earth e o software AutoCAD. A área foi georreferenciada com base nas coordenadas estabelecidas para a Área Diretamente Afetada (ADA), descritas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do empreendimento (ITEP/OS, 2011a). No tocante à geração das informações de altimetria e curvas de nível da área de estudo, foi utilizado o aplicativo Cad-Earth.

Para Argento (2007, p. 368), “[...] o grande potencial na aplicação de mapeamentos geomorfológicos está no seu interfaceamento com os projetos de planejamento da ocupação humana, com vistas à economia dos recursos investidos, mediante a prevenção de problemas futuros”. Ross (1990) também pactua do mesmo posicionamento ao considerar que esse instrumento, tão importante para as pesquisas nessa área do saber, torna-se igualmente relevante para estudos de caracterização ambiental, de planejamento físico territorial, de instalação de grandes projetos de engenharia e de exploração mineral. Dessa forma, o mapeamento geomorfológico é essencial na compreensão e entendimento dos ambientes naturais, o que resulta numa melhor avaliação dos impactos (positivos e negativos) que uma determinada obra de engenharia pode gerar.

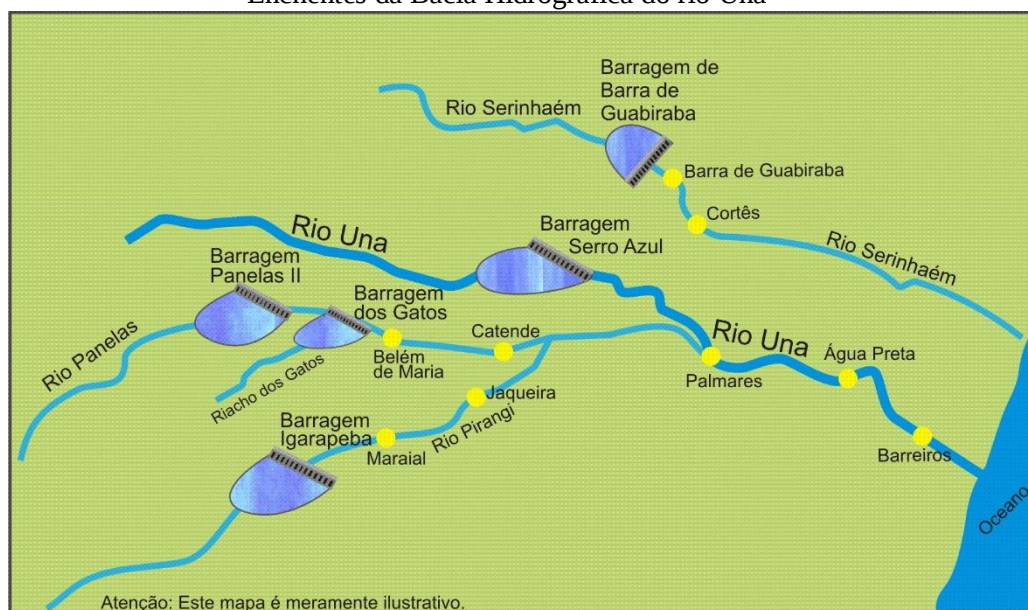
3.3.7 Atividades de gabinete (sistematização e finalização)

Essa etapa consistiu no tratamento dos dados obtidos em campo, no laboratório e na análise documental com a consequente elaboração do capítulo 4, “Resultados e Discussão”. A partir da sistematização dos conhecimentos levantados por meio da pesquisa bibliográfica, pesquisa em EIAs de barragens e trabalhos de campo nas áreas de estudo, os Protocolos de análise e Listas de Verificação foram sistematizados de acordo com as fases do empreendimento (planejamento, instalação e operação), permitindo a elaboração do diagnóstico ambiental, da avaliação dos impactos, o estabelecimento das medidas mitigadoras e dos programas de monitoramento, a serem executados e implementados durante a construção e a operação da barragem.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As duas barragens encontram-se em municípios diferentes (Igarapeba em São Benedito do Sul e Serro Azul em Palmares), porém na mesma bacia hidrográfica (do rio Una), integrando o Sistema de Contenção de Enchentes da Bacia Hidrográfica do rio Una, de iniciativa do Governo do estado de Pernambuco (Figura 11).

Figura 11 – Ilustração que mostra onde serão implantadas as barragens do Sistema de Contenção de Enchentes da Bacia Hidrográfica do rio Una



Fonte: Secretaria de Infraestrutura do estado de Pernambuco (<http://www.sirh.srh.pe.gov.br>).

A bacia do rio Una é considerada uma das mais importantes do estado de Pernambuco (Figura 12). Cobre uma superfície de 6.295,77 km², compreendendo os territórios de 42 municípios, total ou parcialmente. Em termos de limites hidrográficos, limita-se com as bacias dos rios Ipojuca e Sirinhaém (ao norte); bacia do rio Mundaú – Alagoas (ao sul); Oceano Atlântico e a bacia do rio Sirinhaém (ao leste); e as bacias dos rios Ipojuca e Ipanema (ao oeste).

3.4.1 Município de São Benedito do Sul

A barragem de Igarapeba está localizada no município de São Benedito do Sul, que compreende uma área territorial de 160,477 km², com uma população de 13.941 pessoas (segundo o Censo Demográfico do IBGE 2010) e uma densidade demográfica de 86,87 hab/km².

A geologia do município é constituída pela Suíte Serra de Taquaritinga dos complexos Cabrobó e Belém do São Francisco e da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa, Peraluminosa Xingó e Calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga (CPRM, 2005a). O relevo integra a unidade de superfícies retrabalhadas, sendo do tipo forte ondulado, com topos planos, vertentes íngremes e vales estreitos de fundos chatos (CPRM, 2005a). A CPRM (2005a, p. 4) destaca que “[...] o relevo do município possui uma característica singular: existem mais de dez cachoeiras com quedas d’água, variando entre 3 e 20 metros de altura, que são um atrativo turístico para os praticantes de trilha e de esportes radicais, além dos turistas comuns”. Os solos são formados pela decomposição de rochas cristalinas, predominando os argissolos de composição areno-argilosa. O clima é o As – Tropical chuvoso (classificação de Koppen), tendo abril a julho como os meses de chuvas mais intensas, e os meses mais secos de setembro a novembro. A hidrografia do município compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Una, sendo o rio Pirangi e os riachos Taquara e Fervedouro como os principais tributários. Todos os cursos-d’água têm regime perene de escoamento e o padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005a). Por fim, a vegetação nativa é a floresta subperenifólia, contudo bem alterada, principalmente pela monocultura da cana-de-açúcar.

3.4.2 Município de Palmares

O município de Palmares é um dos 24 municípios que compõem a Região de Desenvolvimento Mata Sul de Pernambuco, situada na porção sudeste do estado. Está localizado na mesorregião da Mata Sul e microrregião da Mata Meridional. A sede municipal está a uma altitude aproximada de 108 metros, com coordenadas geográficas de 08° 41' 00" de latitude sul e 35° 35' 30" de longitude oeste, distando 118,7 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-101. De acordo com o último Censo Demográfico do IBGE (2010), Palmares apresenta uma população de 59.526 habitantes, em uma área municipal total de 339,290 km², resultando numa densidade demográfica de 175,44hab/km².

Geologicamente, o município encontra-se inserido na Província Borborema, com a presença de litotipos dos complexos Cabrobó e Belém do São Francisco, além das Suítes Intrusiva Leucocrática Peraluminosa e Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga (CPRM, 2005b). O relevo compreende as Superfícies Retrabalhadas, constituída por áreas que têm passado por intenso retrabalhamento, com relevo dissecado e vales profundos. Tal relevo encontra-se associado aos Latossolos (nos topos planos), Argissolos nas vertentes íngremes e os Gleissolos, compreendendo solos orgânicos e encharcados, presentes nos fundos de vales estreitos. Tais componentes do meio físico estão sujeitos a um clima tropical chuvoso, tendo os meses mais chuvosos entre abril e julho, e os meses mais secos de setembro a novembro. A rede hidrográfica do município encontra-se no domínio da Bacia Hidrográfica do Rio Una, tendo o rio Pirangi como um dos principais tributários. Os cursos-d'água apresentam um regime de escoamento perene e um padrão de drenagem dendrítico (CPRM, 2005b). A barragem Serro Azul encontra-se no médio curso do rio Una, no município de Palmares. A vegetação se caracteriza por uma Floresta Subperenifólia, com algumas presenças de Floresta Hipoxerófila.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo compreende a apresentação e a discussão dos resultados das diversas etapas adotadas no trabalho. Inicialmente, fruto do levantamento documental realizado, será feita a análise do Estudo de Impacto Ambiental e das licenças ambientais até o momento expedidas, para as duas barragens. Após tais etapas, foi iniciada a análise da realidade ambiental das duas barragens, incluindo a apresentação dos resultados obtidos no campo referente à coleta de amostras de solo e o monitoramento de voçorocas, essa última ação restrita à barragem de Serro Azul, sendo finalizada com a análise granulométrica. Em seguida, procede-se a uma análise técnica de oito EIAs de barragens nas cinco regiões brasileiras, aplicando uma matriz de critérios voltada para uma auditoria da abordagem geomorfológica nos EIAs. Por fim, é apresentada e discutida a proposta metodológica de auditoria geomorfológica de EIA de barragens, voltada para elaboração, análise e implementação (gestão), finalizando com a aplicação da proposta de auditoria geomorfológica para o EIA da barragem Serro Azul.

4.1 BARRAGEM DE IGARAPEBA

4.1.1 Análise geomorfológica do Estudo de Impacto Ambiental da Barragem de Igarapeba

O empreendimento “Barragem de contenção de Cheias Igarapeba” integra o sistema de contenção de enchentes da bacia hidrográfica do rio Una, tendo como localização o município de São Benedito do Sul, e a ser construída no leito do rio Pirangi.

O projeto é de iniciativa do Governo de Pernambuco, tendo o EIA sido elaborado pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP/OS). O ITEP criou a Unidade Gestora de Projetos Barragens da Mata Sul (UGP-Barragens), com o objetivo de acompanhar e coordenar os estudos ambientais e projetos de barragens nos rios Una, Sirinhaém e Jaboatão, todas voltadas para o controle das enchentes nessa região.

A barragem Igarapeba visa beneficiar o distrito de Igarapeba (município de São Benedito do Sul) e municípios a jusante (Maraial, Jaqueira e Catende), que tem sido afetados pelas enchentes na região. A previsão de finalização da obra era em outubro de 2013 (cronograma de 22 meses). No entanto, encontra-se paralisada, tendo sido executado, por volta de 40% do previsto, segundo a Secretaria Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (Figuras 13 e 14).

Figura 13 – Situação do estágio das obras da barragem de Igarapeba em 24 de agosto de 2017 e o fluxo do rio Pirangi



Fonte: o autor (2017).

Figura 14 – Situação do estágio das obras da barragem de Igarapeba em 22 de dezembro de 2017, com a área do barramento no primeiro plano e área a montante na parte superior da foto

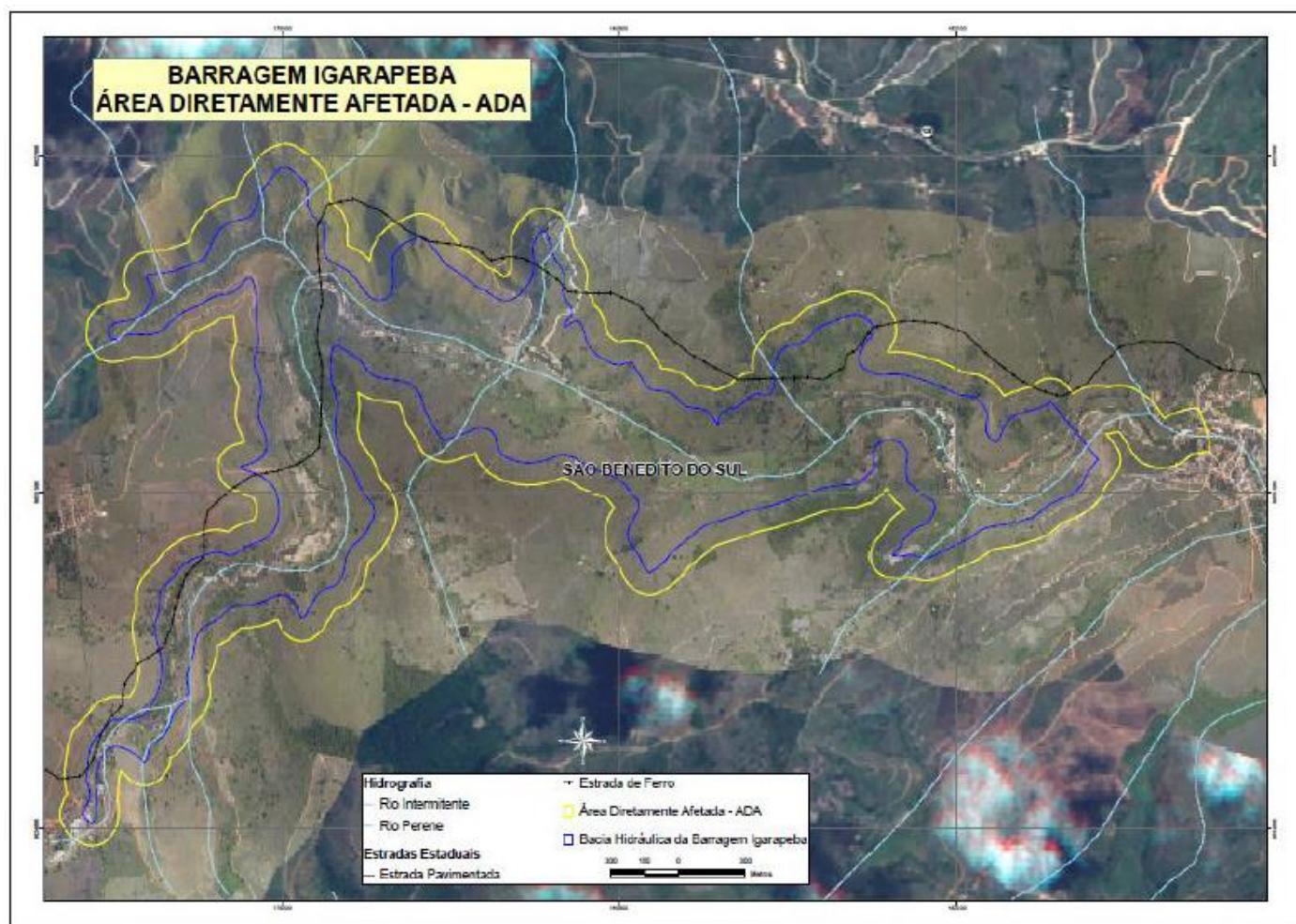


Fonte: o autor (dez/2017).

A barragem de Igarapeba foi dimensionada para acumular 69,6 milhões de m^3 , regularizando uma vazão de $1,97 m^3/s$, para usos múltiplos. Será constituída pelos seguintes elementos principais: maciço, sangradouro, tomada d'água e galeria de descarga livre. Uma área de $2,8 km^2$ deverá ser inundada, para cota de cheia de 1.000 anos, neste caso, o volume acumulado será de 69 milhões m^3 (Figura 15).

Como meio de entender melhor o projeto, procede-se a análise do Estudo de Impacto Ambiental e das licenças ambientais (Licença Prévia - LP e a Licença de Instalação - LI), emitidas até o momento, para o empreendimento. Para tanto, os itens do EIA (diretrizes do art. 5º; diagnóstico ambiental – meios: físico, biótico e socioeconômico; impactos ambientais) serão detalhados em quadros, por meio da transcrição dos textos que contemplam os aspectos geomorfológicos, bem como de comentários do autor.

Figura 15 – Mapa da ADA da Barragem Igarapeba



Fonte: ITEP/OS (2011b).

Inicialmente, a análise recairá sobre os itens das diretrizes estabelecidas no art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/1986 e demais itens que antecedem o Diagnóstico Ambiental do EIA, que tenham contemplado a geomorfologia (Quadro 14).

Quadro 14 – Abordagem da geomorfologia de acordo com as diretrizes gerais estabelecidas no art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/1986 e dos itens que antecedem o Diagnóstico Ambiental – EIA da barragem de Igarapeba

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Alternativas locais e tecnológicas	“Verificou-se que os eixos selecionados se tratam de boqueirões que possuem boas características geomorfológicas e geotécnicas, com substrato rochoso quase aflorando no leito do rio, encoberto por camada de solo de alteração, cuja espessura torna-se maior nas ombreiras, constituída por rochas do embasamento cristalino, bem característico da região. No leito do rio, encontram-se depósitos aluvionares de pequena espessura. Tanto as jazidas de terra de material silico-argiloso, como áreas de deposição de areias apresentam-se bastante favoráveis e próximas a ambos os eixos. Há também diversas áreas com ocorrência de pedreiras de ótima qualidade” (ITEP/OS, 2011b, p. 3.1-1).	O EIA declara que foram estudados dois eixos (Eixo I e Eixo II), buscando selecionar o mais atrativo do ponto de vista técnico-econômico, tomando as condicionantes topográficas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas e ambientais para implantação da barragem. Segundo a análise dos diversos aspectos geológicos/geotécnicos, o eixo escolhido foi o Eixo I. A estimativa é que a área útil da bacia da barragem Igarapeba seja de 400 km².
Descrição técnica do empreendimento – 4.6.7 Escavação	“Durante a execução dos serviços de escavação poderá ser necessário ou conveniente alterar a inclinação dos taludes, os greides ou dimensões das escavações. Todas as escavações que ficarem permanentemente expostas deverão apresentar taludes estáveis e superfícies com acabamento final uniforme e drenagem adequada. O construtor deverá tomar todas as providências para evitar a ocorrência de desmoronamentos” (ITEP/OS, 2011b, p. 4.0-25).	O EIA destaca que, quando a superfície do terreno, situada acima da crista do corte, apresentar depressões que permitam o escoamento de águas e consequentes infiltrações, que possam comprometer a estabilidade do talude, tais depressões deverão ser preenchidas com material apropriado e executadas as drenagens necessárias. As cristas dos cortes deverão ser protegidas com elementos de drenagem provisórios e/ou definitivos, de forma a captar as águas pluviais, afastando-as dos taludes. Sendo assim, demonstrando uma preocupação com os processos geomorfológicos que poderão atuar nesse tipo de intervenção.
6. Análise jurídica	“Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: [...] d) no topo de morros, montes, montanhas e serras; e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive; f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;	Os textos são da Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal revogado, mas vigente na época da elaboração do EIA), destacando os enquadramentos das Áreas de Preservação Permanente (APPs), a partir dos aspectos geomorfológicos. Logo, é fundamental, em qualquer EIA, a correlação entre a geomorfologia e a legislação ambiental (e urbanística, nos casos aplicáveis).

	h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação” (ITEP/OS, 2011b, p. 6.0-22). “Art 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de: § 4º A ampliação ou redução do limite das Áreas de Preservação Permanente, a que se refere o § 1º, deverá ser estabelecida considerando, no mínimo, os seguintes critérios: [...] II - geologia, geomorfologia, hidrogeologia e fisiografia da bacia hidrográfica” (ITEP/OS, 2011b, p. 6.0-24).	
Área de influência – AII meio físico	“A delimitação da AII do empreendimento para o meio físico corresponde à Bacia Hidrográfica do Rio Una. Nesse âmbito se identificaram os principais cursos de água, reservatórios existentes, posição do empreendimento, além da superposição desses elementos com os aspectos ambientais (geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação) e principais núcleos urbanos no entorno da barragem” (ITEP/OS, 2011b, p. 7.0-2).	De acordo com o que consta no EIA, as “[...] áreas de influência correspondem aos espaços geográficos passíveis de alterações em termos de dinâmica ambiental a partir da projeção de cenários relacionados à implantação e operação do mesmo [...]” (ITEP/OS, 2011b p. 7.0-1). Sendo assim, é essencial que a geomorfologia integre o rol de aspectos ambientais a serem considerados na delimitação dessas áreas.
Espalhamento de material em áreas de bota-fora e áreas de empréstimo	“Só serão consideradas áreas de espalhamento de materiais aquelas que receberão tratamento especial de conformação final através de regularização com emprego de equipamentos próprios de espalhamento, de forma a não introduzir formas singulares à paisagem dominante e que serão recobertas com solo apropriado para permitir sua revegetação com espécies nativas e devidamente protegida com sistema de drenagem apropriada a impedir suas erosões futuras” (ITEP/OS, 2011b, p. 4.0-34 e 4.0-35).	Essa ação resulta na criação e/ou modificação de morfologias antrópicas, diante da introdução de materiais numa determinada área, mudando as feições ali presentes e, por se tratar de um material transportado, sujeitos aos processos erosivos, exigindo a adoção de medidas, a exemplo da revegetação, para minimizar ou impedir a ocorrência desses processos.

Fonte: o autor (2019).

Na análise do Diagnóstico Ambiental, em especial a parte que tratou do meio físico, o Quadro 15 elenca os itens que abordaram a geomorfologia.

Quadro 15 – Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Físico do EIA da barragem de Igarapeba

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Geologia	“O município São Benedito do Sul pertence ao contexto geomorfológico à unidade das Superfícies Retrabalhadas, caracterizado por vales profundos e acidentados. Sendo representado na área pelas rochas metaplutônicas, com cotas em torno de 413m. Na área, o intemperismo é muito acentuado, desenvolvendo um solo bastante espesso. O relevo é do tipo forte ondulado, com topos planos, vertentes íngremes, e em alguns pontos, o rio Pirangi está encaixado em vales estreitos” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.2-7).	O texto apresenta uma caracterização da área de estudo, correlacionando as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas, enfatizando, oferecendo o cenário no qual se desenvolve o curso do rio Pirangi e que servirá de base para a análise dos possíveis impactos ambientais.
Climatologia	“O clima e as condições meteorológicas são influenciados por características geográficas como latitude, relevo, oceano, solo e por sistemas de circulação atmosféricos dinâmicos. Nesse contexto, o Estado de Pernambuco e a Bacia Hidrográfica do Rio Una estão situados em posição geográfica favorável à atuação simultânea destas influências” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.1-1). “Souza (2011) através de análises estatísticas verificou que para a cidade do Recife, em Pernambuco, os eventos extremos de precipitação correspondem a chuva diária acima de 55 mm, pois as chuvas dessa magnitude provocam alagamentos, encharcamento dos solos das encostas que deslizam morro abaixo, gerando consequências trágicas principalmente aos mais pobres, que residem em áreas mais vulneráveis à ocorrência de desastres” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.1-12).	A primeira transcrição demonstra os fatores que influenciam na dinâmica climática, incluindo a geomorfologia, e que tais fatores, na realidade de Pernambuco e da bacia hidrográfica do rio Una, atuam conjuntamente. A citação faz referência à realidade da dinâmica climática da cidade do Recife e os reflexos na ocorrência de desastres, sendo tal cenário aplicado à realidade da região analisada no EIA, guardando as devidas diferenças no tocante ao grau de urbanização e ocupação das áreas de risco.

Pedologia	“A caracterização dos solos para a Barragem Igarapeba e suas áreas de influência considera a mesma regionalização apresentada na caracterização geomorfológica, uma vez que os padrões verificados em termos teóricos e empíricos têm uma relação direta com propriedades litoestruturais, formas básicas do relevo, clima e declividade” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.4-1). “Os Argissolos apresentam-se pouco a medianamente profundos e bem drenados e estão associados às vertentes íngremes; os Gleissolos estão relacionados às áreas de terraço fluvial e fundos de vales estreitos, semifechados ou fechados; os Latossolos são profundos e bem drenados e ocorrem nos topos convexos com formas planas e / ou suavemente aguçadas; os Neossolos são pouco evoluídos, rasos e com presença de textura argilosa; os Planossolos surgem nos vales de rios e são medianamente profundos e fortemente drenados. Por fim, têm-se os Vertissolos que estão localizados em áreas mal drenadas ou de irrigação artificial constante” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.4-2).	Os tipos de solos foram apresentados no universo da Bacia Hidrográfica do Rio Una. Enquanto que, na ADA, foram identificadas a presença dos Argissolos, Latossolos, Gleissolos e Neossolos. Afirma-se que apresentam baixa fragilidade no sentido de processos erosivos. Porém, o EIA destaca que, devido aos usos da terra verificados por meio de trabalhos de campo, “[...] projeta-se um cenário em longo prazo de relativa instabilidade e erodibilidade, dada as perdas de solo por meio da extração de areia, do cultivo da cana-de-açúcar e banana, além da presença constante de ovinos e equinos”. Sendo assim, consideram que os elevados níveis de ação antrópica resultam em riscos de erosão, deslizamentos e assoreamento do rio Pirangi. Mas concluem que: “[...] os impactos que podem ser projetados para a área com a presença da Barragem Igarapeba são totalmente reversíveis, uma vez que seu comportamento ambiental encontra-se totalmente alterado”. Rubio (2014) <i>apud</i> Azevedo e Rubio (2018), ao estudar a distribuição estatística das erosões nas margens do reservatório de Rosana, no rio Paranapanema (SP/PR), aponta uma tendência dos Argissolos apresentarem maior suscetibilidade em relação aos demais tipos, especialmente o Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Sendo assim, “[...] esta observação corrobora o entendimento de que os solos originados em ambientes fluviais e lacustres (Gleissolos e Neossolos Flúvicos), são menos susceptíveis à erosão marginal dos reservatórios do que aqueles não gerados nem adaptados à presença da água” (AZEVEDO; RUBIO, 2018, p. 254).
Recursos hídricos superficiais – 8.5.1 Caracterização física da bacia do rio Una	“O Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Una e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos GL4 e GL5 (PERNAMBUCO, 2000) apresentou os elementos geométricos e morfométricos da bacia do rio Una e de suas principais sub-bacias” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.5-2).	Os parâmetros foram calculados com base nas cartas topográficas da SUDENE, na escala de 1:100.000 com curvas de nível a cada 50m. Tal abordagem referente à morfometria da bacia é essencial na avaliação ambiental para a tipologia barragem.
Recursos hídricos subterrâneos - 8.6.1 Recarga do aquífero	“A alimentação ou recarga do aquífero fissural, embora possa ocorrer ao longo de toda a superfície do terreno, onde as rochas apresentam fraturas aflorantes, ocorre preferencialmente nos vales fluviais [...]” (ITEP/OS, 2011b, p. 8.6-2).	O texto demonstra a relação da geomorfologia com a hidrogeologia para a caracterização da recarga do aquífero na área.

Fonte: o autor (2019).

No que se refere à geomorfologia, o EIA enfatiza a relação do relevo com os desastres naturais. Ao tratar da compartimentação do relevo na bacia hidrográfica do rio Una e a sua

relação com as formas predominantes, o estudo cita a existência de vales rasos, associados a processos de desertificação, colinas amplas e médias que apresentam perigos relacionados a movimentos de massa. Destaca também as colinas estreitas, que apresentam perigos associados à erosão linear. Logo, o estudo explica que as inundações e os deslizamentos com grandes perdas materiais e imateriais aconteceram nessas áreas nos últimos anos, afetadas por intensas chuvas, decorrentes da ocupação desordenada da terra.

Com relação ao meio biótico, exceto o item sobre a “fauna terrestre”, os outros três (flora terrestre, flora aquática e fauna aquática) apresentaram citações ou associações relacionadas à geomorfologia (Quadro 16). Thoms *et al.* (2018) argumentam que a geomorfologia tem uma longa história de troca intelectual com muitas disciplinas, em que os processos geomórficos ocorrem em paralelo aos sistemas ecológico³² (abiótico e biótico) e social, com todos os três operando em escalas espaciais e temporais, influenciando e sendo influenciados um pelo outro³³. Os autores apontam que a mudança geomórfica e o conhecimento geomorfológico estão um pouco ausentes nos processos empregados para informar governança de sistemas ecológicos. E defendem uma mudança para um foco biogeomórfico e socioecológico.

De fato, apesar de há muito defendido, é cada vez mais reconhecido que as características geomorfológicas e o funcionamento de um sistema fluvial são considerações fundamentais nos esforços para atingir as metas de gerenciamento da biodiversidade (CHESSMAN *et al.*, 2006). Outros autores abordam a relação da geomorfologia com o meio biótico (VILES, 1988; HOOKE; REDMOND, 1989; CHESSMAN *et al.*, 2006; MONTGOMERY, 2006; RENSCHLER *et al.*, 2007; THOMS *et al.*, 2018; VILES, 2019).

Quadro 16 – Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Biótico do EIA da barragem de Igarapeba

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Flora terrestre	“Assim, a paisagem que era dominada por vegetação da floresta atlântica submontana e encontrava-se assentada em faixas ciliares, encostas e topos de morros é hoje ocupada por grandes extensões de áreas de pastagens, principalmente com capins (gramíneas) para alimentação de animais bovinos e equinos,	Neste item, o relevo é abordado para indicar a localização e a tipologia dos fragmentos de vegetação identificados na área. O EIA afirma que a Área Diretamente Afetada (ADA) apresenta uma paisagem caracterizada pelo elevado grau de antropização, com formações vegetais escassas e muito alteradas

³² “The strong coupling between ecological and geomorphological systems frames the concept ‘bio-geomorphic systems’” (THOMS *et al.*, 2018, p.1).

³³ O Simpósio de Geomorfologia de Binghamton de 2017 (BGS), realizado em San Marcos, Texas, EUA, focou no tópico Resiliência e Bio-Geomorphic Systems, tendo o evento o objetivo de revisar, sintetizar e discutir estudos de caso e paradigmas conceituais na interseção entre geomorfologia, bio-geomorfologia e resiliência, bem como identificar questões emergentes para expandir futuras pesquisas em geomorfologia (THOMS *et al.*, 2018).

	acompanhada de outras matrizes, como a canaveira e a de cultivos diversos” (ITEP/OS, 2011b, p.9.1-40). “Ampliando um pouco mais a leitura da paisagem vista desse ponto (coordenadas 0181452/9025618), constata-se que do lado oposto do rio o relevo é bastante movimentado e nos vales encaixados percebe-se dois adensamentos de vegetação que são em sua maioria áreas de fruteiras associadas a algumas espécies nativas arbóreas pioneiras (<i>Cecropia pachystachia</i> , <i>Machaerium hirtum</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i>)” (ITEP/OS, 2011b, p.9.1-45).	pelo processo de ocupação (canavial, policultivo, pastagens, sítios domiciliares) com raras manchas de vegetação (capoeiras). Logo, no tocante a este item, poderia se buscar o entendimento de como o relevo pode ser um fator para a conservação de fragmentos vegetais.
Flora aquática	I. “[...] em grandes sistemas fluviais a complexa interação do canal, da geomorfologia, nutrientes, tempo de retenção de água, disponibilidade de luz, e herbívoros afeta o padrão longitudinal das comunidades planctônicas. Portanto, o conhecimento da dinâmica da comunidade fitoplanctônica é relevante porque as flutuações temporais e espaciais na composição e biomassa podem ser indicadores eficientes das alterações naturais ou antrópicas nos ecossistemas aquáticos” (SABATER <i>et al.</i> , 2008 <i>apud</i> ITEP/OS, 2011b, p.9.3-1). II. “[...] essas espécies podem invadir represas rurais e diminuir a vida útil do reservatório, facilitando o acúmulo de material erodido e reduzindo a qualidade e a capacidade de armazenamento de água, bem como aumentar as perdas por transpiração” (ITEP/OS, 2011b, p.9.3-16). “alterações no ambiente (físicas ou biológicas) que modificam a dinâmica destas espécies, devem ser monitoradas com a finalidade de buscar soluções que viabilize a minimização destas” (ITEP/OS, 2011b, p.9.3-16).	I. Nota-se a falta de menção à sedimentação e à deposição do material orgânico, por serem relevantes para o assoreamento de uma barragem. II. O EIA ressalta a presença das espécies do gênero <i>Eichhornia</i> em algumas estações estudadas. Portanto, um claro exemplo de como a atividade biológica pode influenciar na dinâmica sedimentar e na morfologia fluvial.
Fauna terrestre – Não foi feita nenhuma referência à geomorfologia		
Fauna aquática	“É importante frisar que na fase da construção da barragem haverá erosão e carreamento de sedimento para a área alagada, o que poderá provocar ressuspensão dos sedimentos mais finos do fundo e consequente entupimento das brânquias dos peixes causando suas mortalidades e afetando a diversidade” (ITEP/OS, 2011b, p. 9.4-17).	O EIA indica que a construção da barragem acarretará na alteração da relação entre as áreas terrestre e aquática, a montante e a jusante. Tais afirmações colocam a questão de qual seria o papel do relevo na contribuição para a fauna local (avifauna, por exemplo) e a necessidade dessas previsões nos EIAs de barragens.

Fonte: o autor (2019).

No Quadro 17, que analisa a abordagem da geomorfologia no estudo do meio socioeconômico (antrópico), alguns itens se destacaram, a exemplo da “arqueologia”, “uso e ocupação do solo”, “patrimônio espeleológico” e o “patrimônio cultural – paisagístico”.

A geomorfologia também se relaciona com o meio antrópico, em seus diversos aspectos, ao tratar da distribuição da população, das condições de habitação, do favorecimento ao

desenvolvimento de determinadas atividades econômicas, da implantação ou alteração do sistema viário etc. Diversos autores têm se debruçado sobre essa relação (KONDOLF; PIEGAY, 2011; BRIERLEY; HOOKE, 2015) e Brierley e Hooke (2015) destacam que a tomada de decisão contemporânea tem refletido, na maioria das vezes, nas negociações entre as várias partes interessadas, buscando fornecer abordagens equilibradas para a gestão de valores socioeconômicos, culturais e ambientais, somadas as considerações históricas, geográficas e políticas, que influenciam a variedade de opções de gerenciamento de rios.

Ashmore (2015) propõe uma abordagem sociogeomórfica de rios, em que a morfologia é explicada por meio da coevolução dos sistemas social e natural. O autor salienta que, em muitas publicações da área, as definições e o escopo da geomorfologia não contêm essencialmente nada do papel dos processos sociopolíticos como elemento da geomorfologia contemporânea, especialmente os impactos antrópicos nas paisagens e o reconhecimento das formas de relevo construídas por seres humanos.

Também pode se conectar a enquadramentos mais radicais da geomorfologia como a “etnogeomorfologia”, recentemente proposta por Wilcock *et al.* (2013). A adoção de elementos dessa abordagem “mais social”, no caso da geomorfologia fluvial, permite explicações da morfologia fluvial por meio de uma visão mais crítica. É o caso de considerar que as comunidades locais deveriam participar da etapa de elaboração do Termo de Referência. Em se tratando da geomorfologia, deveriam ser contemplados os aspectos relacionados à etnogeomorfologia, de modo a contemplar as percepções, preocupações e conhecimentos daqueles que vivenciam diariamente o ambiente a ser impactado.

Segundo Ashmore (2015), o termo sociogeomorfologia aborda a coevolução dos sistemas sicionaturais e a análise da intenção e a ação humana a partir de perspectivas das ciências sociais. Esse enquadramento o distingue da antropogeomorfologia, na qual a análise tende a focar no impacto humano (não examinado) em um estado “natural” ou em seres humanos como agentes emergentes em um sistema físico, cujo papel pode ser externalizado a ponto de ser mais uma fase do processo. O autor considera tal área como válida e necessária à investigação geomórfica, o desenvolvimento do que pode e deve acontecer dentro de concepções ampliadas do escopo e da natureza da geomorfologia necessário para a busca da sociogeomorfologia. A recompensa será um entendimento mais completo da geomorfologia e do seu papel e as consequências da compreensão e intervenções dos geomorfólogos nesses sistemas.

Quadro 17 – Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Socioeconômico (Antrópico) do EIA da barragem de Igarapeba

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Atividades turísticas	“Um dos segmentos econômicos importantes da AID de Igarapeba é o turismo [...] São Benedito do Sul, conhecido por suas inúmeras cachoeiras, fontes minerais e grutas, apresenta exemplos bem sucedidos de empreendimentos de ‘turismo rural’ [...]” (ITEP/OS, 2011b, p.10.1-102).	Ao tratar dos potenciais naturais do município de São Benedito do Sul, o estudo cita empreendimentos que disponibilizam para seus hóspedes, dentre outros atrativos a prática de rapel, trilhas e caminhadas, que estão relacionadas à geodiversidade. O estudo lista dez atrativos ambientais relacionados a água, por isso o título de “Cidade das águas”, tendo sete atrativos localizados na AII, dois na AID (cachoeira do Peri-Peri e Sítio do Cajá) e um na ADA (cachoeira da empresa ou Pirangi). Segundo o EIA, as principais cachoeiras são: Aritana, Poço do Caboclo, Poço do Soldado e Peri-Peri. Sendo assim, o aspecto da geodiversidade, especialmente de cunho geomorfológico, se sobressai no patrimônio paisagístico da área analisada.
Uso e ocupação do solo	I. “As consequências das últimas enchentes marcam a paisagem de forma determinante, sejam pela derrubada de pontes, habitações, precariedade das estradas e obras de dragagem dos rios ou ainda, obras e atalhos viários. Verifica-se também como consequência das fortes chuvas e precipitações pluviométricas concentradas nos últimos meses, a presença de fortes voçorocas na geomorfologia vulnerável do relevo colinoso dessa região”. II. “O uso do solo da Área Diretamente Afetada (ADA) é caracterizado por poucas áreas de vegetação nativa, com a predominância de pastos com extensos capinzais, e pela presença da monocultura de cana de açúcar. Também se identificou áreas de agricultura familiar e atividade pecuarista extensiva de bovinos e caprinos. Nas áreas de agricultura familiar, observa-se predominantemente o cultivo de árvores frutíferas, com destaque para o cultivo de bananas nas proximidades das margens de rios e nas encostas, como também a presença de agricultura de subsistência. Também se identifica na área a criação de caprinos e galináceos para consumo próprio” “As margens do rio Pirangi na ADA são marcadas por processos erosivos de origem antrópica e natural” (ITEP/OS, 2011b, p. 10.2-17).	Na “Área Diretamente Afetada – ADA”, o EIA faz referência aos termos – “geomorfologia”, “relevo colinoso”, “voçorocas”, “processos erosivos”, “encostas”. I. O texto estabelece uma relação entre as enchentes e suas consequências nas construções, bem como na geomorfologia da área, com destaque para o processo de voçorocamento. II. O estudo destaca a antropização na área por meio das atividades de agricultura e pecuária, com o uso das margens de rios e das encostas, resultando na deflagração de processos erosivos, especialmente nas margens do rio Pirangi.
Patrimônio cultural e paisagístico	I. “Do ponto de vista de sua formação, a ‘paisagem’, sob a ótica geográfica, é o resultado atual de um longo processo	I. O EIA demonstra um diagnóstico do patrimônio paisagístico existente na Área de Influência Direta (AID) e como os

	evolutivo do relevo, somado às ações do clima e interferências humanas. Sob este prisma, a estrutura da paisagem corresponde à organização de seus ecossistemas e seus elementos ou fatores como: solo, relevo, cobertura vegetal, material geológico e o clima” (ITEP/OS, 2011b, p. 10.3-10 e 11). II. “A paisagem percebida a partir do terreno onde se pretende instalar a Barragem de Igarapeba se apresenta irregular, com topografia por vezes movimentada constituindo um vale, por vezes profundo, por onde corre o Rio Pirangi. O Una e seus afluentes apresentam um regime em que se alternam períodos de águas calmas, que deslizam suavemente pelo leito quase exposto, de rochas desnudas, e períodos de fortes enxurradas, quando a força das águas extravasa o leito, invadindo, por vezes com fúria devastadora plantações, moradias, centros urbanos. No entorno da área a ser inundada, e mesmo na área de inundação, a formação geológica da área, modelada pela erosão das águas, proporciona quebras acentuadas no relevo que, ao longo do leito do rio resulta na formação de corredeiras e cachoeiras” (ITEP/OS, 2011b, p. 10.3-61).	componentes do meio físico, biótico e antrópico interagem. II. O texto destaca a dinâmica do fluxo das águas do rio Pirangi, enfatizando elementos do meio físico (especialmente a geologia e o relevo) na formação e na existência de corredeiras e cachoeiras na área, sendo um atrativo de lazer para os moradores e de turismo. Para a questão da paisagem valorizada, o EIA expõe que as corredeiras e cachoeiras representam possivelmente o aspecto mais importante relacionado à constituição do lago da barragem. Talvez menos do que a ocupação da área pelo espelho-d’água, a interferência no regime das águas do rio, no que concerne às corredeiras e cachoeiras, seria o aspecto mais sensível à população. Ou seja, a interferência do empreendimento sobre aqueles pontos de lazer e de atração turística possivelmente representa um impacto significativo para o patrimônio paisagístico. Nos meios de divulgação, pode-se observar um retrato da paisagem valorizada, em particular no que se refere ao município de São Benedito do Sul, com propaganda voltada para as cachoeiras. Também as formações rochosas, as fumas, são aclamadas por seu potencial para o ecoturismo.
10.3.1.2 Potencial espeleológico na Área de Influência Indireta (AII)	“Vale salientar que no conjunto, a Área de Influência Indireta considerada é caracterizada pela presença de grande quantidade de afloramentos rochosos de origem granítica. Trata-se, portanto de uma região que, se não registra potencial espeleológico do ponto de sua matriz geológica, é de reconhecido potencial do ponto de vista arqueológico” (ITEP/OS, 2011b, p. 10.3-13).	Apesar de não mencionar expressamente, os citados “afloramentos rochosos de origem granítica” podem se constituir em atrativos da geodiversidade. A arqueologia é destacada, o que é naturalmente possível com a geoarqueologia, que utiliza conhecimentos e técnicas das geociências para a investigação arqueológica.
Arqueologia	I. “As enchentes ocorridas no rio Pirangi provocaram uma grande mobilização de material proveniente de áreas ribeirinhas a montante do rio. As camadas de sedimentos depositadas nas margens do rio mascararam a camada de ocupação em uso até o período anterior as enchentes, dificultando a localização de vestígios arqueológicos. As camadas arenosas depositadas nas margens do rio estão repletas de material transportado, em sua maioria, recente e fora de seu contexto primário. A deposição de camadas ocasionada pelas cheias faz parte da dinâmica desse tipo de ambiente, o que deve ser ressaltado é que a proporção das enchentes ocorridas em 2010 embora até certo ponto anômalas, de fato apenas refletem o regime pluvial de montante o que	I. Além de caracterizar a dinâmica fluvial, o texto demonstra, na prática, a relação que os processos do meio físico estabelecem com a arqueologia, diante de uma dinâmica fluvial peculiar da região.

	ao longo dos séculos vem causando transformações drásticas na paisagem ribeirinha. Do ponto de vista do patrimônio arqueológico, o regime hídrico do Piranji permite admitir-se que suas várzeas sujeitas às frequentes enchentes, sujeitam também eventuais registros arqueológicos ali depositados a interferências capazes de alterar ou mesmo descaracterizar a estratigrafia dos depósitos” (ITEP/OS, 2011b, p. 10.3-39). II. “As áreas de topos aplainados e encostas suaves também foram prospectadas por se tratarem de áreas de potencial arqueológico propícias a ocupação de grupos pré-históricos. A maior parte dessas áreas estava ocupada por pastos e plantio de cana-de-açúcar, o que dificultou a visualização da superfície do terreno” (ITEP/OS, 2011b, p. 10.3-40).	II. Neste texto, o EIA estabelece uma relação mais estreita da geomorfologia com a arqueologia, ao associar determinadas morfologias identificadas na área como potenciais locais de ocupação de grupos pré-históricos.
--	--	--

Fonte: o autor (2019).

Citada no quadro 16, a geodiversidade pode ser compreendida como a variedade natural (diversidade) das feições geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (paisagens, processos) e de solos (GRAY, 2004; MANSUR, 2018).

No aspecto “geomorfologia e solos”, o EIA elencou cinco impactos, apesar de impactos indicados em outros elementos ambientais também guardarem estreita relação com a geomorfologia (Quadro 18). Com relação aos impactos relacionados ao meio físico, o EIA expõe que “[...] os solos também foram destacados, tendo em vista o grande movimento de terras que ocorrerá na área da barragem, para a sua construção e exploração de jazidas (fase de implantação)”; “[...] a redução da carga sólida a jusante, com aumento dos processos erosivos das margens e a alteração na morfologia do canal causará impacto na agricultura ribeirinha”; “[...] foi recomendada a preservação/recuperação da cobertura vegetal nas APPs para redução dos processos erosivos laminares e lineares”.

Quadro 18 – Lista de alguns dos impactos ambientais identificados no meio físico no projeto da Barragem de Igarapeba

MEIO FÍSICO:				
Elemento Ambiental	Impacto Ambiental	Área De Influência		
		AII	AID	ADA
Clima e Meteorologia	Alteração do clima local			
Geologia	Degradação de áreas de empréstimo			
Geomorfologia e Solos	Mudanças na paisagem regional			
	Instabilidade dos solos no entorno do reservatório			
	Alteração da qualidade do solo			
	Aumento da erosão hídrica a jusante			
	Redução do poder fertilizante da água efluente			
Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos	Alteração do regime hídrico			
	Interferência com outros usos da água			
	Potencial assoreamento do futuro reservatório			
	Controle de inundações			
	Perdas de água no reservatório por evaporação e infiltração			
	Contaminação das águas			
	Eutrofização das águas			
	Contaminação e recarga do aquífero fissural			

Fonte: ITEP/OS (2011b).

No campo do “clima e meteorologia”, o impacto “alteração do clima local”, relacionado à fase de operação, faz menção expressa ao relevo, quando o estudo considera que a criação do lago artificial, associada às mudanças de relevo produzidas pelos cortes e aterros, juntamente com o desmatamento da cobertura vegetal e a construção da barragem, poderão causar alterações no clima do entorno da barragem. A seguir, são listados os impactos ambientais que fizeram referência ao aspecto geomorfológico (Quadro 19).

Quadro 19 – Abordagem da geomorfologia nos Impactos Ambientais do EIA da barragem de Igarapeba

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Perda de habitat, alterações na estrutura das comunidades e dinâmica das populações, perda de biodiversidade, dispersão de ovos e larvas, aumento da pesca oportunista	“Os serviços de limpeza do terreno, por meio da remoção da cobertura vegetal (ADA), a terraplenagem (aterro), são fatores que poderão contribuir para a intensificação de processos erosivos, devido à exposição do solo e movimentação de terra aliadas à incidência de chuvas, as quais poderão carrear sedimento para área alagada. Os processos erosivos poderão ocorrer quando da movimentação de terra para a realização do aterro de construção da barragem e dos acessos. Esse impacto	Para esse tipo de impacto, compreende-se a necessidade da implantação de estruturas que permitam o maior controle do escoamento das águas pluviais e o consequente carreamento de sedimentos. A presença da proteção superficial da vegetação é essencial, tanto nas margens do reservatórios quanto a jusante. Como forma de acompanhamento, é essencial o monitoramento dos processos erosivos e dos

	está relacionado à fase de implantação do empreendimento, onde se concentram as intervenções no terreno relacionadas à movimentação de terra, isso juntando as dragagens já existentes pode aumentar ainda mais o problema. Durante a operação das barragens prevê-se a ocorrência de erosão por embate das ondas formadas pela ação do vento nos lagos artificiais, sobre o terreno natural. A ação das ondas, também poderia vir a formar escorregamentos nas vertentes naturais mais declivosas em razão do descalçamento devido à erosão. Durante a operação das barragens prevê-se a ocorrência de erosão nas margens fluviais à jusante da barragem, devido à baixa carga de sedimento em transporte” (ITEP/OS, 2011b, p.11.3-2).	movimentos de massa nas áreas, executando ações de recuperação diante da constatação.
Alterações na estrutura das comunidades e dinâmica das populações, desenvolvimento da aquicultura e da pesca, aparecimento de espécies exóticas e contaminação por poluentes	“Durante a operação da barragem prevê-se a ocorrência de erosão por embate das ondas formadas pela ação do vento no lago artificial, sobre o terreno natural. A ação das ondas, também poderia vir a formar escorregamentos nas vertentes naturais mais declivosas em razão do descalçamento devido à erosão. Durante a operação prevê-se a ocorrência de erosão nas margens fluviais à jusante da barragem, devido à baixa carga de sedimentos em transporte” (ITEP/OS, 2011b, p. 11.3-4)	O texto demonstra uma clara relação entre a morfologia da área, processos geomorfológicos atuantes e os reflexos para o meio biótico decorrentes da maior carga sedimentar que se depositará no leito fluvial. Por fim, faz referência expressa as consequências dos processos erosivos à jusante, o que resultará em mudanças da morfologia fluvial.
Contaminação das águas	“Durante a construção da barragem várias ações poderão influenciar a qualidade da água. Dentre as ações, pode-se destacar: o desmatamento e limpeza, seguido das escavações e terraplenagem. Essas ações tornam o solo mais vulnerável e susceptível a erosão” (ITEP/OS, 2011b, p.11.2.11).	O texto demonstra as alterações na morfologia, por meio das escavações e terraplanagem, bem como a vulnerabilidade na ocorrência de processos geomorfológicos.

Fonte: o autor (2019).

Posteriormente, a partir dos impactos listados, foram estabelecidos os Planos de Controle Ambiental – PCAs (Figura 16). Os PCAs que envolvem a vegetação (conservação/monitoramento/recuperação de áreas), não fazem qualquer relação com a escolha das áreas a partir da compartimentação geomorfológica e áreas propensas aos processos erosivos.

Figura 16 – Planos de Controle Ambiental estabelecidos no EIA da barragem de Igarapeba



Fonte: ITEP/OS (2011b).

Como medidas de mitigação e controle, o estudo recomenda a recuperação das áreas degradadas, tais como os locais de empréstimo e bota-fora. No caso da degradação de áreas de empréstimo, constituídas por rochas cristalinas e encontradas na ADA e na AID, relaciona-se à fase de instalação, o que representará, ao término da ação, uma nova configuração geomorfológica das áreas exploradas. Enquanto que outros materiais, a exemplo da areia e da argila, segundo o EIA, devem ser extraídos, de preferência, da bacia hidráulica, para minimizar os processos erosivos. Como medida compensatória, recomenda-se a recomposição vegetal em tempo hábil, das áreas desmatadas das jazidas, visando minimizar a atuação de processos erosivos e de transporte de sedimentos. Por fim, como proposta de monitoramento ambiental da área, recomenda-se o monitoramento para identificar os processos erosivos, causas/efeitos e medidas de controle.

No tocante ao elemento “geomorfologia e solos”, destacam-se a avaliação, as medidas de mitigação e as propostas de monitoramento dos seguintes impactos: “mudanças na paisagem regional”, “instabilidade dos solos no entorno do reservatório”; e “aumento da erosão hídrica a jusante”. O Quadro 20 detalha e discute o programa de controle de processos erosivos.

Quadro 20 – Abordagem do programa de controle de processos erosivos do EIA da barragem de Igarapeba

PROGRAMA AMBIENTAL	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Programa de controle de processos erosivos	“Após a formação do reservatório, a erosão é intensificada pela ação do embate das ondas nas margens, principalmente, quando atua sobre materiais inconsolidados como os aluviões e nos solos de alteração das rochas que constituem a área. A formação do lago artificial geralmente acelera ou reativa processos erosivos nas encostas, devido à elevação do nível freático e aparecimento de surgências d’água. Com essa aceleração ou reativação há a propagação das erosões para montante, a partir das bordas do reservatório. Os processos erosivos também são intensificados a jusante do barramento, especialmente em depósitos aluviais inconsolidados e solos com maior suscetibilidade a esses processos, sob a ação de água efluente desprovida de carga sólida. Os processos erosivos também podem induzir movimentos de massa causando deslizamentos pela submersão parcial das encostas, elevação do nível freático e suas oscilações associados ao embate de ondas. Citam-se a possibilidade de ocorrência de escorregamentos em solos de alteração, em colúvios e mais raramente, queda e rolamento de blocos, onde haja disponibilidade de matações em condição de instabilidade sobre o solo” (ITEP/OS, 2011b, p. 12.1-3).	O programa busca identificar e caracterizar os processos em diversos trechos e/ou setores das encostas e das margens dos rios, antes, durante e após o enchimento.

Fonte: o autor (2019).

No tocante aos impactos na área da “hidrologia e hidrogeologia”, a exemplo da “alteração do regime hídrico”, que afetará a AID e a ADA, tendo, na fase de instalação, a necessidade do desvio do curso do rio Pirangi para fins de construção do barramento. Já na fase de operação, com o enchimento do reservatório, as vazões a jusante da barragem serão reduzidas. Já o impacto “potencial assoreamento do futuro reservatório”, previsto para afetar a ADA na fase de operação, além de afetar a capacidade de acumulação do reservatório, do ponto de vista da morfologia fluvial, pode ocasionar mudanças.

O “controle de inundações” permitirá que a operação da barragem preveja um volume de espera para acumular volumes em épocas de grandes vazões, que serão liberados gradativamente, amortizando o hidrograma de cheias no local do barramento e a jusante, resultando na diminuição drástica das alterações na morfologia fluvial resultantes das grandes cheias anteriores a barragem.

O EIA prevê um PCA “Monitoramento Hidrológico” voltado para o meio físico, nas etapas de implantação e operação, aplicando-se a ADA, AID e AII. Tem o objetivo de instalar duas estações fluviométricas na AID, a montante e a jusante da barragem de Igarapeba e uma

estação linimétrica na ADA, no lago da barragem Igarapeba. Tal monitoramento se torna fundamental para as análises voltadas às mudanças na morfologia fluvial da área – a montante, lago e a jusante.

No PCA de “Controle de Processos Erosivos”, o estudo relaciona ao meio físico, durante as fases de implantação e operação, tendo como áreas beneficiadas o “entorno do reservatório” e as “áreas a montante e a jusante da barragem na AID”. Na interface com outros programas, estão: programa de monitoramento hidrológico; programa para recuperação e enriquecimento da diversidade vegetal em áreas antrópicas na barragem Igarapeba; e programa de monitoramento da vegetação de entorno da barragem Igarapeba. O estudo prevê que o monitoramento deverá ser desenvolvido na área de influência direta do empreendimento, mais especificamente, ao longo do rio Pirangi, nas margens do reservatório e nas nascentes dos afluentes a montante da barragem.

O EIA explica que, durante a etapa de construção, haverá a elevação da carga de efluentes e dejetos, e aterramento de corpos-d’água, por meio da movimentação de terra, com consequente alteração da dinâmica das populações aquáticas. Apesar de não ser citada, a morfologia fluvial também sofrerá alterações. Como uma das medidas mitigadoras associadas à geomorfologia, destaca-se a “[...] estruturação da mata ciliar para diminuição dos efeitos erosivos nas margens e minimização da entrada de nutrientes no reservatório” e como uma das propostas de monitoramento cita-se a “estruturação da mata ciliar”, sendo tal impacto presente nas fases de instalação e de operação.

4.1.2 Análise documental: licenciamento ambiental da Barragem de Igarapeba

Neste tópico, o objetivo é detalhar o histórico do licenciamento ambiental da barragem (Quadro 21) e as possíveis vinculações da geomorfologia nas condicionantes das licenças ambientais expedidas. Como se observa, o licenciamento ambiental foi iniciado em março de 2012, com a LP, enquanto que a LI venceu no dia 24/01/2019.

Quadro 21 – Histórico do licenciamento ambiental da barragem de Igarapeba

Licença Ambiental	Data de emissão	Data de vencimento
Licença Prévia - nº 02.11.12.006543-9	14 de março de 2012	14 de março de 2013
Licença de Instalação - nº 01.16.01.000283-2	25 de janeiro de 2016	24 de janeiro de 2019

Fonte: CPRH / Pesquisa Direta.
Org.: autor.

Na Licença Prévia, dentre as “exigências”, “requisitos” e “observações” elencados, nenhum cita diretamente os termos “relevo” ou “geomorfologia”. Identificam-se condicionantes relacionadas às ações antrópicas (“supressão da vegetação em APPs ou não” – nº 2 e 3 do item: “exigências”; “compensação ambiental” – nº 4 do item “exigências”; “retirada de material pétreo e terroso” – nº 9, item: exigências; “desvio do rio” – nº 13, item: exigências) e processos relacionados à geomorfologia (“supressão da vegetação e os processos erosivos” – nº 6, item: exigências).

No condicionante nº 30, que elencou os programas básicos ambientais propostos no EIA, destacam-se os seguintes programas no tocante à geomorfologia: “monitoramento hidrológico”, “controle de processos erosivos”, “recuperação de áreas degradadas”, “florestamento do entorno do reservatório”; e a “conservação e uso do entorno do reservatório artificial – PACUERA”.

Já na Licença de Instalação, dentre as “exigências”, “requisitos” e “observações” elencadas, nenhum cita diretamente os termos “relevo” ou “geomorfologia”. Apenas no item 9. Exigências, a de nº 14.4, que trata da supressão vegetal, destaca a necessidade em se planejar tal atividade, que gera diversos benefícios, dentre os quais se inclui “[...] contribuir para a minimização de processos erosivos às margens do reservatório”.

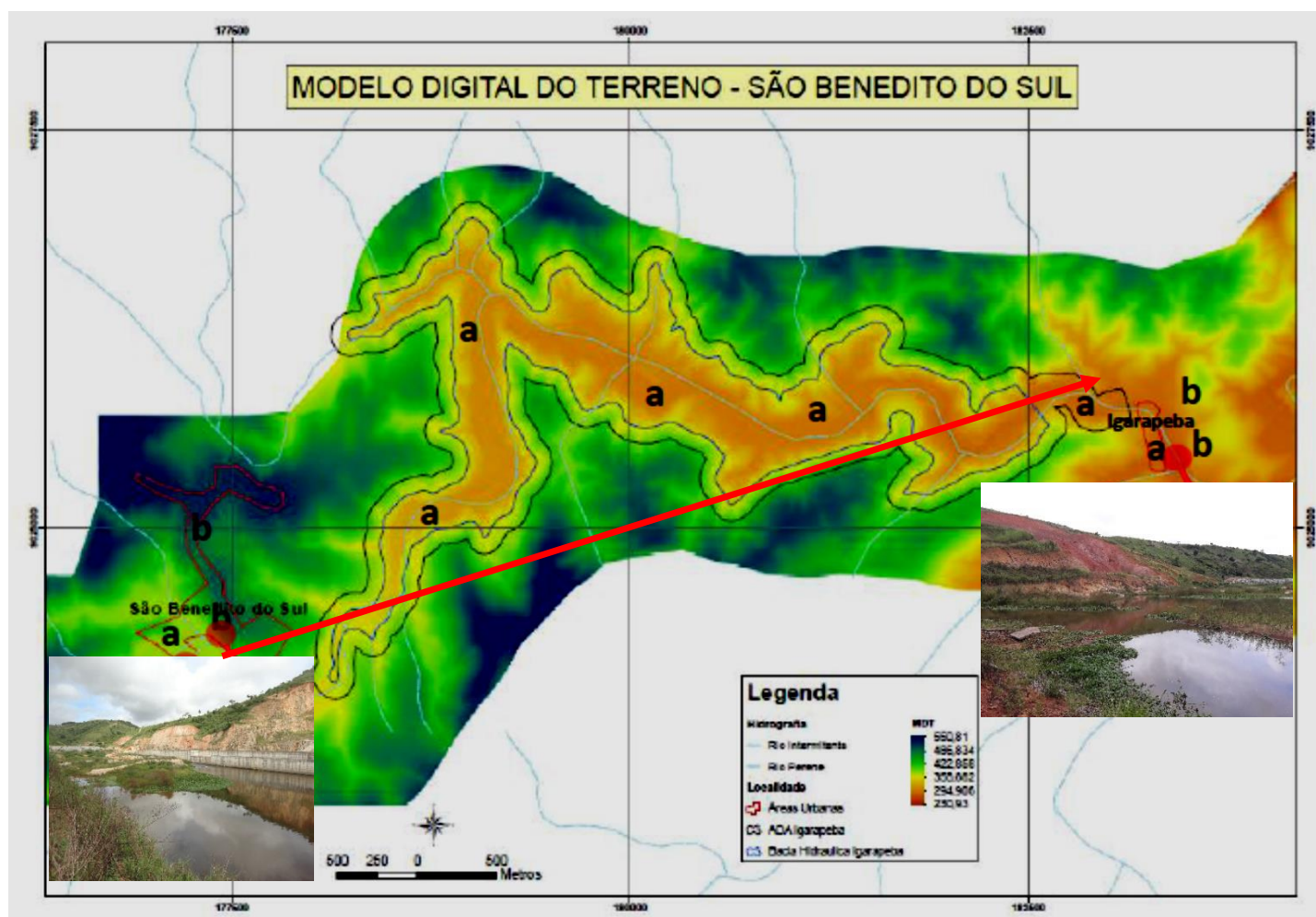
Já a exigência 14.5 destaca a “[...] localização e a situação atual de exploração das áreas a serem utilizadas como jazidas, empréstimo e bota-fora”, devendo ser priorizadas “[...] áreas de empréstimo localizadas no perímetro a ser alagado, evitando a necessidade de recomposição de áreas após a exploração”, o que evidencia uma preocupação com relação à morfologia e à deflagração de processos geomorfológicos.

Sendo assim, é possível constatar o pouco uso dos conhecimentos geomorfológicos nas condicionantes das licenças analisadas, em especial na questão dos processos erosivos, por ter sido um dos programas ambientais apresentados no EIA, de grande importância durante as etapas de instalação, enchimento e operação.

4.1.3 Análise do diagnóstico ambiental da barragem Igarapeba

O EIA aborda os riscos de inundação e deslizamentos na Área de Influência Direta (AID), fazendo uso de modelos digitais do terreno para demonstrar a suscetibilidade das áreas, especialmente da sede de São Benedito do Sul, que se encontra com elevados índices de ocupação e impermeabilização do solo nas margens do rio Pirangi (Figura 17).

Figura 17 – Modelo digital do terreno de São Benedito do Sul



Fonte: ITEP/OS (2011b) ; Fotos (autor).

Em termos altimétricos, verifica-se que a sede municipal de São Benedito do Sul e o distrito de Igarapeba possuem áreas com altimetria abaixo dos 295 metros, enquanto que o rio apresenta 290 metros de altitude, em média, nessa área. Dessa forma, o estudo avalia como um perigo, de moderado a alto, em termos de inundações. Por outro lado, algumas ocupações em áreas de encostas, com altimetria entre 350m e 450m, também evidenciam a ocorrência de deslizamentos.

As Figuras 18 e 19 expõem o cenário das obras paralisadas no distrito de Igarapeba, sujeitando seus moradores aos efeitos negativos das cheias do rio Pirangi.

Figura 18 – Visão ampliada do trecho do futuro barramento da barragem de Igarapeba a montante da comunidade, que se encontra na margem direita do rio Pirangi (lado esquerdo da foto)



Fonte: o autor (dez/2017).

Figura 19 – Trecho do futuro barramento da barragem de Igarapeba a montante da comunidade, que se encontra na margem direita do rio Pirangi (lado esquerdo da foto)



Fonte: o autor (dez/2017).

No distrito de Igarapeba, foram identificadas ocupações nas áreas de terraço fluvial, sendo sujeitas a inundações periódicas, por constituírem áreas do leito maior do rio (Figura 20). No tocante às encostas, o EIA cita a existência de “[...] inúmeras ocupações em áreas de encosta, que ocasionalmente, a partir da incidência de chuvas, associadas a declividades médias e elevadas, além da ausência de vegetação natural, gera situações de extrema fragilidade e instabilidade morfodinâmica” (ITEP/OS, 2011b, pp. 8.3-7 e 8.3-8).

Figura 20 – Presença de residências nas margens do rio Pirangi, a jusante da futura barragem de Igarapeba, no distrito de mesmo nome



A

B

Fonte: o autor (foto A: 25 abr. 2018; foto B: 17 abr, 2019).

Conforme descrito no estudo ambiental, a área diretamente afetada encontra-se num vale assimétrico sobre o embasamento cristalino, predominando formas de colinas amplas e médias.

A incidência de movimentos de massa nas encostas e nos topos do relevo colinoso são situações reais. Sendo assim, destacam-se os cortes e os aterros como ações que expõem o material pedológico a incidência das chuvas, resultando na intensificação dos processos erosivos e nos movimentos de massa. Como a área diretamente afetada por tais processos não possui aglomerados urbanos densos, os efeitos estão mais relacionados às atividades desenvolvidas, a exemplo do cultivo da banana e da cana-de-açúcar, além da criação de ovinos e equinos, o que favorece a compactação do solo, resultando na perda de porosidade do mesmo, podendo gerar aumento do escoamento superficial e a intensificação dos processos de erosão laminar e linear.

Em relação aos impactos relacionados ao meio físico, o EIA expõe que “[...] os solos também foram destacados, tendo em vista o grande movimento de terras que ocorrerá na área da barragem, para a sua construção e exploração de jazidas (fase de implantação)”; “[...] a redução da carga sólida a jusante, com aumento dos processos erosivos das margens e alteração na morfologia do canal causará impacto na agricultura ribeirinha”; e “[...] foi recomendada a preservação/recuperação da cobertura vegetal nas APPs – Áreas de Preservação Permanente para redução dos processos erosivos laminares e lineares”.

Logo, a construção de uma barragem ou qualquer outra obra de engenharia, que gere um obstáculo, repercutirá no fluxo das águas de um rio a montante e a jusante da zona obstaculada. Os processos de erosão são típicos exemplos das repercussões dessas intervenções

no canal fluvial. O rompimento do equilíbrio longitudinal do rio pode ser destacado como uma outra repercussão nessas situações.

Quanto aos processos de ravinamentos e voçorocamentos, os primeiros foram mais evidentes na área devido, dentre outros fatores, ao estágio de paralisação das obras, o que acarretou em algumas áreas que sofreram retirada de vegetação, cortes e outras intervenções para fins de engenharia, e que ficaram expostas às ações dos elementos climáticos (Figuras 21 e 22).

Figura 21 – Área da ombreira da barragem com a ocorrência de processos erosivos (ravinas), situada na margem direita do rio Pirangi



Fonte: o autor (ago. 2017).

Figura 22 – Processo erosivo na margem direita do rio Pirangi, logo após o trecho onde será feito o barramento



Fonte: o autor (dez/2017).

Na atividade de campo de abril de 2018 (período chuvoso), constatou-se o considerável aumento do nível das águas do rio Pirangi, em relação ao campo anterior (dezembro de 2017). Verificou-se que as obras continuam paralisadas, no mesmo estágio que foram encontradas nos campos de agosto e dezembro de 2017.

Diante do início do período chuvoso, a vegetação natural apresentava-se mais densa, evidenciando a intensificação da ocorrência das chuvas na região desde março. Não se verificaram áreas desmatadas, registrando-se, apenas, o uso agrícola em algumas porções das encostas das duas margens do rio, principalmente na da margem direita, no topo e na meia encosta.

Por outro lado, nas áreas já desmatadas para a execução das obras e que ficaram sem proteção contra a ação dos agentes intempéricos, observou-se o agravamento dos processos erosivos, principalmente na margem direita, diante do manto de intemperismo exposto, o que comprova a necessidade e importância dos programas de monitoramento ambiental estabelecidos no EIA para uma obra dessa natureza. Ainda nessa área, foi possível constatar a colonização, por parte da vegetação, de algumas áreas alteradas pelas obras e que estão intactas, até então.

Na área destinada à ombreira direita da barragem, observou-se a incidência de processos erosivos e consequente feições erosivas nas encostas, além de um considerável carreamento de sedimentos (Figura 23), que estavam sendo depositados diretamente no leito do rio Pirangi, o que pode acarretar em áreas de assoreamento a jusante do ponto citado.

Figura 23 – Ombreira direita com o manto de intemperismo exposto (setas azuis), sendo afetado por processo erosivo, resultando em alcovas de regressão e deposição de sedimentos no leito do rio Pirangi (seta vermelha)



Fonte: o autor (abril/2018).

Outro destaque a ser dado é com relação ao trecho imediatamente a jusante de onde se localizará o barramento, onde foi possível identificar a ocorrência de erosão nas margens. Em

alguns pontos, tal erosão ganha a contribuição do escoamento do efluente doméstico de residências do distrito de Igarapeba (Figura 24).

Figura 24 – Evolução da erosão na margem direita do rio Pirangi, a montante da área do Distrito de Igarapeba, evidenciando-se a presença de trilha e de despejo de esgoto doméstico (seta vermelha)



Fonte: o autor (a - dezembro/2017; b – abril/2018; C – abril/2019).

Em outros locais, constata-se que o asfaltamento e os fragmentos de rochas oriundas da obra paralisada também evidenciam contribuir para a dinâmica fluvial na área, a partir de monitoramento de uma mesma área no período de dezembro de 2017 até abril de 2019 (Figura 25).

Figura 25 – Registro temporal (dezembro/2017 a abril/2019) na mesma área, a jusante do futuro barramento e a montante das moradias, com destaque para o asfalto utilizado pela obra da barragem



Fonte: o autor (a - dez/2017; B - abr/2018; c e d – ago/2018; e e f - abr/2019).

A foto B mostra o asfalto oriundo do início das obras da barragem, no entanto, as fotos E e F demonstram a ruptura desse asfalto, diante da dinâmica natural do rio Pirangi, por ser uma margem erosiva (foto A) e, provavelmente, tendo se intensificado após a colocação do

material pétreo da obra, que continua na margem oposta (margem esquerda) do rio, conforme as fotos C e D.

4.1.4 Coleta de amostras de solo e análise laboratorial

Na Área Diretamente Afetada (ADA) da barragem de Igarapeba são encontrados Argissolos, Latossolos, Gleissolos e Neossolos. Considerando que a obra encontra-se paralisada e não houve o represamento do rio Pirangi, a coleta de solo se restringiu à área já alterada para a implantação da ombreira direita (Figura 26). Diante da constituição de rocha sã e intemperizada na margem esquerda e da dificuldade de acesso, no local da implantação da ombreira da barragem, a análise de solo foi feita na margem direita, compreendendo um maciço terroso modificado pelo início da construção e expondo um manto de intemperismo.

Figura 26 – Visão ortogonal demonstrando o relevo da área da barragem de Igarapeba (seta vermelha) e o distrito de Igarapeba a jusante do barramento (seta amarela)



Fonte: Google Earth (2018).

Não se registram voçorocas das que são encontradas em Serro Azul. Buscando entender a dinâmica ambiental do meio físico da área, procedeu-se à análise das amostras de solo coletadas (Quadro 22).

Quadro 22 – Códigos das amostras da barragem de Igarapeba que foram analisadas no laboratório

Nº	Nome da Amostra	Código da amostra
1	ENCOSTA MARGEM DIREITA P1, P2, P3, MEIA ENCOSTA	1ME
2	MARGEM DIREITA, ENCOSTA MÉDIA	2EM
3	MARGEM DIREITA, PATAMAR SUPERIOR - ENCOSTA HORIZONTE 01	3ESH1
4	MARGEM DIREITA, PATAMAR SUPERIOR - ENCOSTA HORIZONTE 02	4ESH2

Fonte: o autor (2019).

Conforme demonstrado na Tabela 1, os resultados obtidos da análise granulométrica das amostras de solo coletadas em Igarapeba demonstram o predomínio da presença das frações areia e silte, sendo a primeira predominante em duas amostras (1 e 3) e o silte nas outras duas (2 e 4). Nas amostras com predomínio de silte, tal fração chegou ao máximo de 53,8%, enquanto o maior valor da fração areia alcançou 61,9%. Já a fração argila obteve uma maior participação, de 5%, na amostra 3.

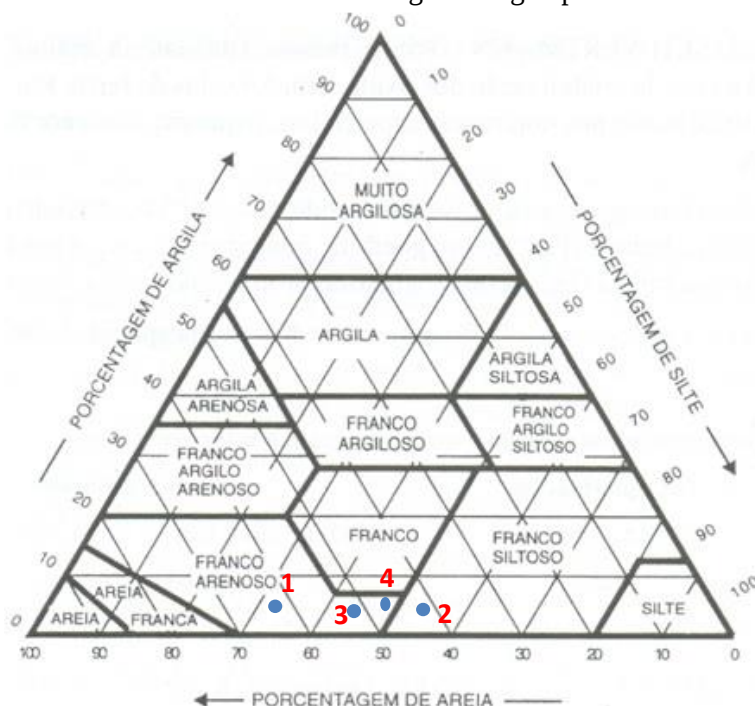
Tabela 1 – Análise granulométrica das amostras de solo coletadas em Igarapeba (diâmetro da partícula – escala logarítmica, mm).

Código da amostra	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,15mm	0,125mm	0,063mm	0,038mm	Total (Peneiramento)	Silte	Argila	Total da amostra (g)	Areia Fina + Silte (gramas)
1ME	3,002	6,235	10,551	14,556	9,618	2,733	10,165	5,09	61,95	34,445	3,605	100	76,58 g
2EM	0,944	3,437	5,775	10,188	8,477	2,283	7,034	3,024	41,162	53,808	5,03	100	84,78 g
3ESH1	2,999	4,631	7,833	12,238	9,704	2,645	7,988	2,864	50,902	44,948	4,15	100	80,35 g
4ESH2	4,566	5,763	7,024	9,675	7,799	2,16	7,144	2,71	46,841	48,949	4,21	100	78,41 g

Como as frações areia fina e silte apresentam, inicialmente, maior suscetibilidade à erosão, adota-se a classificação granulométrica quanto ao diâmetro das partículas apresentada por Lepsch (2011), da seguinte forma: argila (<0,002mm); silte (0,05 - 0,002mm); areia fina (0,2 - 0,05mm); areia grossa (2 - 0,2mm), além de outras frações (cascalho, calhaus e matacões). Foi feita uma adaptação para a fração silte no seu limite superior, enquadrando as partículas abaixo de 0,038mm. Sendo assim, a coluna referente a soma das frações areia fina e silte demonstra que todas as amostras tiveram mais de 76% da sua textura composta por essas duas frações.

Complementando os resultados da tabela 1, os mesmos são enquadrados no diagrama triangular detalhado para determinação das classes texturais da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) (Figura 27).

Figura 27 - Diagrama triangular detalhado para determinação das classes texturais das amostras de solo da barragem de Igarapeba.



Fonte: EMBRAPA (2006).

O enquadramento no diagrama indica que três amostras foram classificadas na classe textural “franco arenoso” (1, 3 e 4), enquanto que a amostra 2 ficou na classe “franco siltoso”, o que expõe mais uma evidência da preocupação com os processos erosivos na área.

Parte dos resultados obtidos converge com o que foi obtido nas análises granulométricas da multi-análise (FOLK; WARD, 1957), tendo a amostra 1 apresentado o maior valor da areia em relação ao silte, enquanto que as outras três apresentaram maior quantidade da fração silte. No entanto, vale destacar que os valores das duas frações tiveram certa proximidade, nenhuma das amostras apresentou grandes discrepâncias nos percentuais das duas frações. No tocante à classificação, as amostras 1 e 3 foram classificadas como “silte grosso” e as amostras 2 e 4 como “silte médio”.

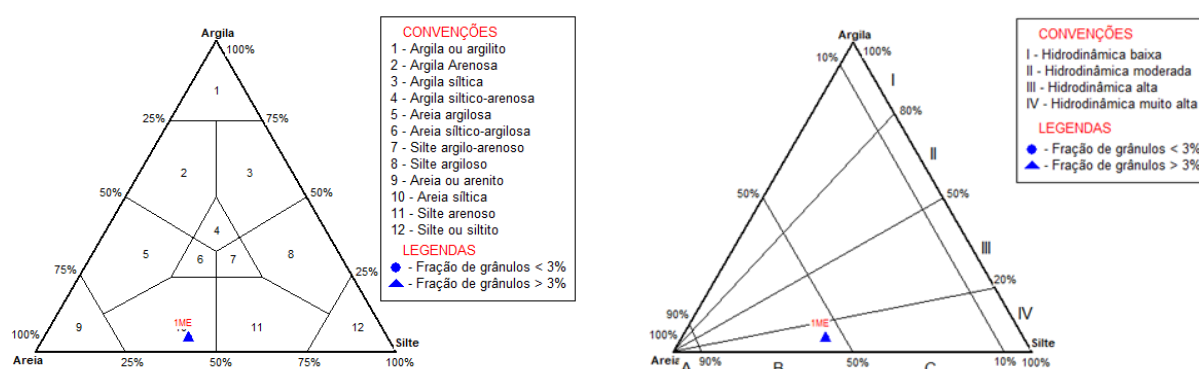
A realização das análises granulométricas de um determinado solo é fundamental para compreender a influência que cada fração exerce sobre algumas das propriedades e comportamentos do solo, especialmente na ocorrência ou na intensificação dos processos erosivos, de interesse para o estudo de processos geomorfológicos em áreas de barragens. Portanto, de forma a permitir avaliar a suscetibilidade à erosão e o consequente assoreamento.

Algumas influências das frações do solo sobre algumas das suas propriedades e comportamentos são destacadas por Brady e Weil (2013), e, a partir da relação com as

barragens, indicam-se as propriedades/comportamentos mais comuns a esse tipo de obra, conforme a lista apresentada pelos autores: “susceptibilidade à erosão eólica”, “susceptibilidade à compactação”, “impermeabilização de barragens”, “potencial de expansão/contração” e “taxa de drenagem”. Diante dos resultados da análise granulométrica e confrontando com a classificação das propriedades associadas às frações do solo, proposta por Brady e Weil (2013), verifica-se que a “susceptibilidade à erosão hídrica” é alta, a “susceptibilidade à compactação” é média, o “potencial de expansão/contração” é baixo, e a “taxa de drenagem” é lenta a média.

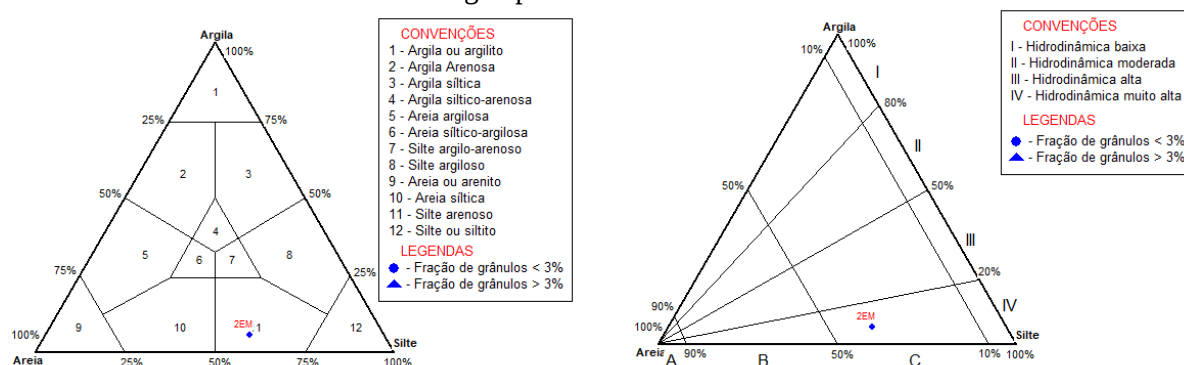
Nos diagramas de Shepard e Perjup, as quatro amostras apresentaram um comportamento próximo: a amostra 1ME foi enquadrada como “areia siltica” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 28), além de uma assimetria positiva e uma curtose “muito platicúrtica”.

Figura 28 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 1ME



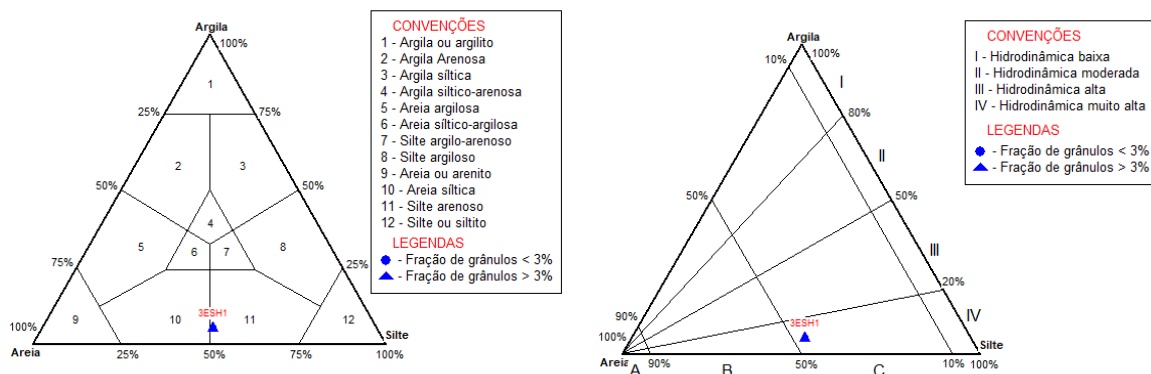
Já a amostra 2EM foi classificada como “silte arenoso” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 29), além de uma assimetria “muito negativa” e uma curtose “platicúrtica”.

Figura 29 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 2EM



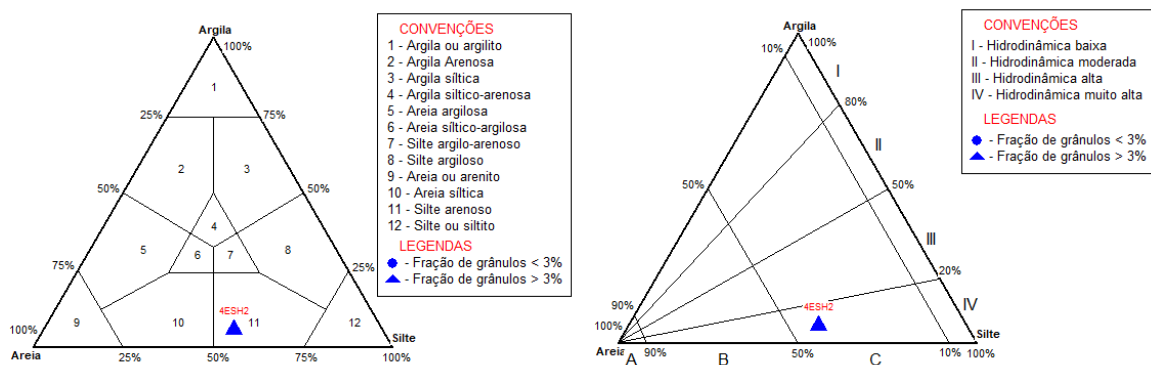
A amostra 3ESH1 evidenciou um “silte arenoso” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 30), apresentando uma assimetria “negativa” e uma curtose “muito platicúrtica”.

Figura 30 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 3ESH1



Por fim, a amostra 4ESH2 apresentou a mesma classificação das duas amostras anteriores (Figura 31), além de uma assimetria “muito negativa” e uma curtose “muito platicúrtica”.

Figura 31 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem de Igarapeba – amostra 4ESH2



4.2 BARRAGEM DE SERRO AZUL

A seguir serão discutidos os aspectos referentes à realidade da barragem de Serro Azul.

4.2.1 Análise geomorfológica do Estudo de Impacto Ambiental da Barragem Serro Azul

O EIA da barragem Serro Azul data de novembro de 2011. Inicialmente, no item “Apresentação”, justifica-se a construção da barragem considerando os graves eventos decorrentes de inundações que ocorreram em junho de 2010, atingindo os municípios da Mata Sul pernambucana e da Região Metropolitana do Recife. O projeto é de iniciativa do governo de Pernambuco, tendo o EIA sido elaborado pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP/OS).

O objetivo da construção da citada barragem é conter e controlar as enchentes/inundações recorrentes geradas pelo rio Una, especialmente no distrito de Serro Azul, localizado no município de Palmares, além da própria cidade de Palmares e outras localidades da região. No EIA, foi identificado que o projeto possibilita o estoque de volumes suficientes para proporcionar regularização de vazões de forma a atender às demandas de usos múltiplos na região³⁴.

Inicialmente, a análise focou nos itens que atendem às diretrizes estabelecidas no art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/1986 (alternativas locacionais e alternativas tecnológicas – inciso I do art. 5º; descrição técnica do empreendimento; áreas de influência – inciso III do art. 5º etc.), conforme exposto no Quadro 23.

No tocante às outras áreas de influência, a Área Diretamente Afetada (ADA) foi definida como sendo a área formada pela bacia hidráulica da barragem a ser implantada, acrescida por uma faixa marginal de 100 metros (Área de Preservação Permanente (APP) do novo reservatório) e mais 100 metros a jusante do eixo da barragem projetada. A Figura 32 destaca a ADA, o eixo da barragem e a bacia hidráulica. Já a Área de Influência Direta (AID) do meio físico foi definida como toda a bacia de captação e contribuição de água que converge na futura área do empreendimento, além de incluir o núcleo urbano de Palmares. Por fim, a Área de Influência Indireta (AII) do meio físico foi delimitada como toda Bacia Hidrográfica do Rio Una.

³⁴ Atualmente, estão sendo realizadas as obras da Adutora de Serro Azul, que terá 58 quilômetros, visando transportar 500 litros de água por segundo da barragem de Serro Azul para dez municípios do agreste pernambucano (Belo Jardim, Bezerros, Caruaru, Gravatá, Sanharó, Santa Cruz do Capibaribe, São Bento do Una, São Caetano, Tacaimbó e Toritama).

Quadro 23 – Abordagem da geomorfologia de acordo com as diretrizes gerais estabelecidas no art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/1986 e dos itens que antecedem o Diagnóstico Ambiental – EIA da barragem de Serro Azul

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Alternativas locais	“Foi procedido um estudo preliminar geológico/geotécnico na área dos três eixos estudados, de modo a selecionar a alternativa com melhores condições geológicas e geotécnicas para a implantação da barragem” (ITEP/OS, 2011a, p. 3.1-1).	Apesar de não mencionar, expressamente, o termo “geomorfologia” ou “relevo”, entende-se que os aspectos geomorfológicos estão contemplados nesse estudo preliminar, sendo um fator fundamental para a escolha da melhor área para a construção de uma barragem, entendimento anunciado por Azevedo e Rubio (2018), que indicam que as condições geomorfológicas constituem um dos fatores de definição da configuração do reservatório de uma barragem. O EIA analisou três alternativas de barramento, constatando-se que as três apresentavam características geológicas semelhantes (em termos estruturais e litológicos). Além disso, o estudo constatou que todas as alternativas possuíam disponibilidade de materiais de construção (jazidas de materiais pétreos e terrosos) numa distância econômica. Sendo assim, o EIA afirma que o Eixo 1.1 foi o escolhido para barramento principal. Esse se encontra a cerca de 250 metros a montante da área urbanizada do distrito de Serro Azul.
Alternativas tecnológicas	“Para a escolha das alternativas tecnológicas para construção da barragem principal de Serro Azul no eixo 1.1 e da barragem auxiliar na cela topográfica da margem direita, partiu-se da consideração de vários aspectos condicionantes a seguir relacionados: [...] – Uma vez que as condições da cela topográfica impossibilitam economicamente a implantação das obras de vertimento, elas, necessariamente, serão implantadas no eixo da barragem principal, no rio Una. – Assim, o fechamento da cela topográfica da margem direita só se adequa a um tipo de barragem homogênea ou zoneada, com utilização de material granular. – As características topográficas e geológico-geotécnicas das ombreiras do eixo selecionado para implantação da barragem principal: (ITEP/OS, 2011a, p. 3.1-16). – A ombreira direita da barragem principal é formada por um paredão de rocha aflorante, com acentuada	Os textos transcritos demonstram a importância da geomorfologia, juntamente com outros elementos do meio físico, para a concepção do projeto, a exemplo da escolha do tipo de barragem, e para o planejamento das intervenções construtivas. Sendo assim, confirmando as palavras de Costa (2012), que considera que para o projeto de uma barragem estão envolvidos aspectos muito diversificados em relação a obra propriamente dita e ao ambiente em que a obra será realizada. Na questão do ambiente, o autor salienta que as condicionantes naturais do local de implantação da obra e do reservatório, a serem abordados, inclui as áreas da Climatologia e Recursos Hídricos; Morfologia; Geologia e Geotecnia; Impactos Ambientais. Ainda no tocante aos barramentos, o estudo indica que na margem direita, cerca de 900 metros do eixo do barramento principal, encontra-se uma cela topográfica* que constitui um ponto de fuga do reservatório. Por meio de prospecções geotécnicas e estudos de simulação hidráulica-hidrológica realizadas no eixo de barramento dessa cela, segundo o EIA, mostraram que ela não

	inclinação, sendo mais adequada a uma barragem de concreto. – A ombreira esquerda, formada por uma camada espessa de solo sobre o substrato rochoso, se adequa a uma barragem de terra ou terra/enrocamento, ou mesmo a uma barragem de concreto com maiores escavações. - As características topográficas e geológico-geotécnicas do sítio da cela topográfica: ao longo da cela topográfica as condições geológico-geotécnicas são as mesmas, porém a configuração topográfica oferece duas possibilidades de barramento, sendo uma delas (eixo de montante) mais desfavorável a um tipo de barragem com taludes mais íngremes” (ITEP/OS, 2011a, p. 3.1-17).	oferece condições favoráveis para a implantação de uma estrutura de descarga das cheias afluentes à barragem, uma vez que a situação do embasamento rochoso se situa a grande profundidade, tornando antieconômica a construção de uma obra em concreto. *Feição geomorfológica de elevação topográfica com dois morros arredondados próximos separados por uma baixada que lembra uma sela de montaria (WINGE, M. <i>et. al.</i> Glossário Geológico Ilustrado. 2001-2020. Disponível em: http://sigep.cprm.gov.br/glossario/, Acesso em. 11 set. 2018
Descrição técnica do empreendimento – 4.2.4 Barramento	“O relevo é, em sua quase totalidade, moldado em rochas do pré-cambriano, predominantemente granito, gnaisses e xistos. A parte sedimentar é representada por argilas variegadas, arenitos e cascalhos” (ITEP/OS, 2011a, p. 4.0-1 – Descrição Técnica do Empreendimento). “A área do entorno do eixo barrável e suas proximidades são formadas por terrenos muito movimentados de relevo fortemente ondulado a montanhoso com elevada declividade, sustentado por rochas cristalinas. Apresenta ocorrência de coberturas de solos transportados constituídos por depósitos coluvionares e depósitos de talus com blocos e matacões, ambos capeando solos residuais silto-argilosos. O maciço rochoso subjacente aflora em áreas de ocorrência de rochas mais resistentes. Encostas com moderada instabilidade natural potencializada pelas altas declividades e pluviosidade. A suscetibilidade aos processos erosivos é moderada, sendo possível observar na área pesquisada e seu entorno, instalação de erosão laminar, sulcos e ravinamentos” (ITEP/OS, 2011a, p. 4.0-18). “Os taludes resultantes das escavações a montante serão protegidos com revestimento de manta geotêxtil, transição fina e colchão tipo Reno (gabião manta) até a berma intermediária mais próxima	No EIA, é possível identificar que o relevo da área de implantação da barragem foi destacado, como sendo uma topografia ondulada, caracterizada por um conjunto de morros e colinas de formato mamelonar com altitudes que alcançam até 300 metros. Os textos demonstram as diferentes morfologias e processos que ocorrem na área do empreendimento e as possíveis soluções para estabilização e recuperação de áreas degradadas.

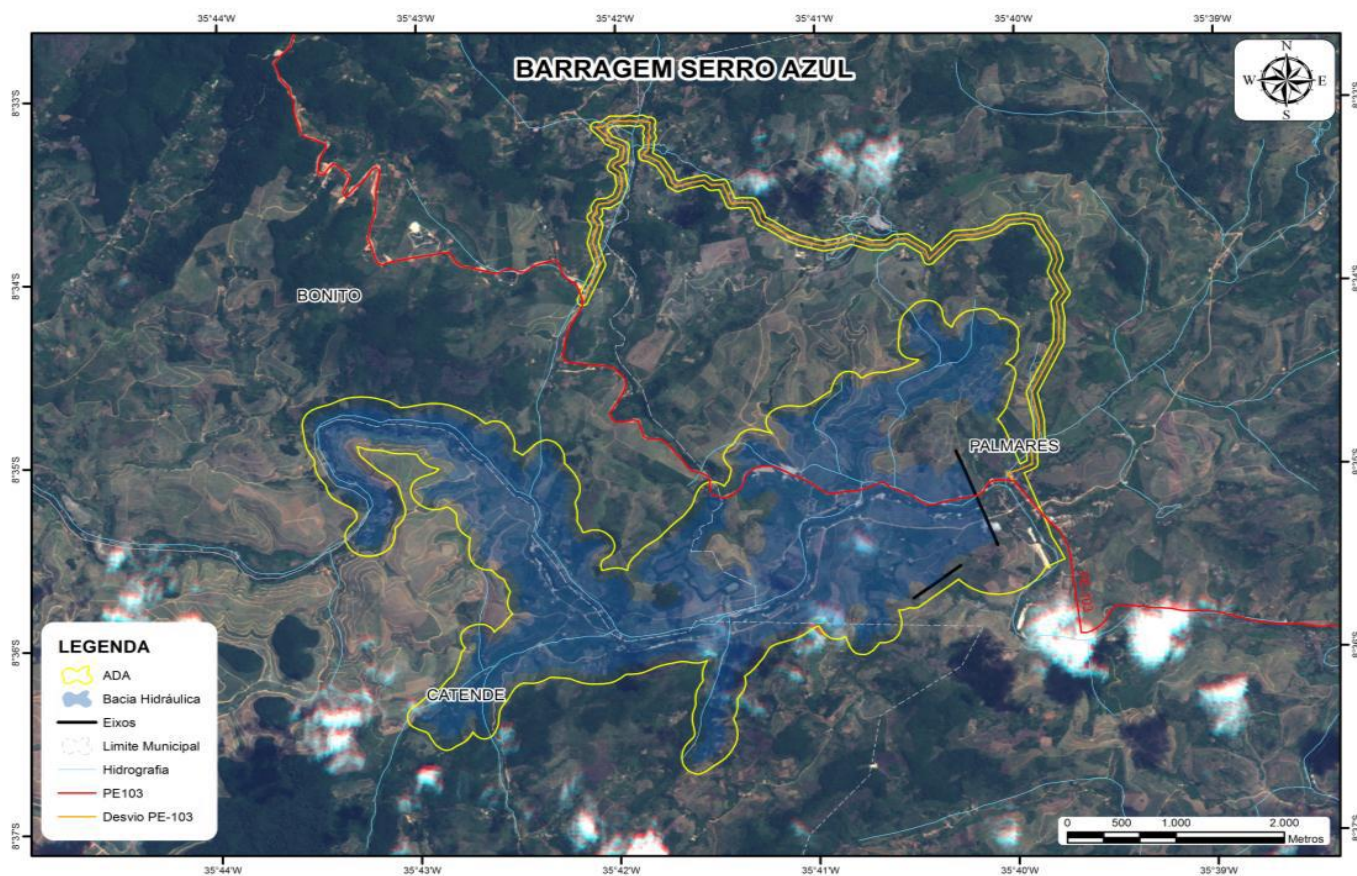
	da cota de inundação do reservatório. Esta proteção deve-se à necessidade de manter os taludes estáveis sem saturação provocada pelo enchimento do reservatório. Dessa cota para cima os taludes serão protegidos com plantação de gramínea. Um reaterro de pé do paramento de montante será executado com declividade condizente com a topografia da ombreira esquerda, de forma a eliminar os empoçamentos nas elevações dos níveis d'água no reservatório, drenando as águas e, subsidiariamente, contribuir para a impermeabilização a montante” (EIA, 2011a, p. 4.0-19).	
Descrição técnica do empreendimento – 4.3.6 Jazidas de empréstimo e bota-fora	“Materiais Pétreos – ocorrem de forma abundante e com boas condições de exploração tanto para uso em concreto como para a utilização como enrocamento e proteção de taludes. Parte dos materiais rochosos a serem obrigatoriamente escavados podem ser utilizados como enrocamento ou fabricação de concretos, depois de beneficiados. Areias – existem em depósitos aluvionares do leito do rio, porém de forma limitada quanto a granulometria (predominantemente areias finas) e às quantidades dada a intensa exploração desses material ao longo de anos na região. Siltes e Argilas – há grande disponibilidade de solos argilosos e silte argilosos na região, podendo ser explorados na área da bacia hidráulica da barragem sem aumento do impacto ambiental do empreendimento e com baixo momento de transporte. Parte desses materiais a serem obrigatoriamente escavados pode ser utilizada na construção de aterros compactados. A seguir apresentam-se os volumes de solos e rochas que serão extraídos das jazidas escolhidas em função dos estudos geológicos/geotécnicos” (ITEP/OS, 2011a, p. 4.0-32).	O conteúdo do texto demonstra uma estreita relação com a geomorfologia, pois se constituem em atividades que acarretam na retirada e na deposição de sedimentos, minerais e/ou rochas, resultando na alteração das feições geomorfológicas das áreas exploradas, podendo levar a eliminação, retardamento ou surgimento de processos diretamente relacionados à geomorfologia. Sem dúvida, o empreendimento possui o desmonte de rochas e a alteração/descharacterização do relevo como situações presentes na sua fase de construção. As rochas obtidas foram utilizadas no enrocamento de proteção (<i>rip-rap</i>) dos taludes de montante e de jusante da barragem auxiliar, que, segundo o EIA, deverá ser construído com blocos de rocha sã. Todas as áreas que foram utilizadas como jazidas estão a montante do eixo principal, tanto à margem esquerda quanto à margem direita.
Descrição técnica do empreendimento – 4.4.7 Escavação	“Durante a execução dos serviços de escavação poderá ser necessário ou conveniente alterar a inclinação dos taludes, os greides ou dimensões das escavações. Todas as escavações que	O EIA destaca que, quando a superfície do terreno, situada acima da crista do corte, apresentar depressões que permitam o escoamento de águas e consequentes infiltrações, que possam comprometer a

	ficarem permanentemente expostas deverão apresentar taludes estáveis e superfícies com acabamento final uniforme e drenagem adequada. O construtor deverá tomar todas as providências para evitar a ocorrência de desmoronamentos” (ITEP/OS, 2011a, p. 4.0- 44 e 45).	estabilidade do talude, tais depressões deverão ser preenchidas com material apropriado e executadas as drenagens necessárias. As cristas dos cortes deverão ser protegidas com elementos de drenagem provisórios e/ou definitivos, de forma a captar as águas pluviais, afastando-as dos taludes. Sendo assim, demonstrando uma preocupação com os processos geomorfológicos que poderão atuar nesse tipo de intervenção.
Descrição Técnica do Empreendimento – 4.7.1 Espalhamento de material em áreas de bota-fora e áreas de empréstimos	“As áreas de bota-fora e áreas de empréstimos onde se efetuará o espalhamento de materiais serão pré-determinadas pela fiscalização. Só serão consideradas áreas de espalhamento de materiais aquelas que receberão tratamento especial de conformação final através de regularização com emprego de equipamentos próprios de espalhamento, de forma a não introduzir formas singulares à paisagem dominante e que serão recobertas com solo apropriado para permitir sua re-vegetação com espécies nativas e devidamente protegida com sistema de drenagem apropriada a impedir suas erosões futuras” (ITEP/OS, 2011a, p. 4.0-55 e 4.0-56).	O EIA recomenda que a superfície de escavação final das áreas de empréstimo deverá apresentar conformação suave sem depressões ou elevações localizadas. E que a recomposição das áreas de empréstimos situadas fora da área do reservatório e da área de escavações obrigatórias para implantação das obras, deverá ser feita a recomposição do terreno pelo espalhamento do solo vegetal removido e estocado, e pela adequada drenagem da área.
Descrição técnica do empreendimento – 4.16 Proteção vegetal de taludes	“A proteção vegetal superficial consiste na implantação de espécie vegetal adaptada ao clima da região, com o fim de preservar as áreas expostas dos taludes, dando-lhes condições de resistência à erosão superficial, bem como proporcionar aos usuários um ambiente mais agradável, no sentido de garantir maior segurança e conservar, tanto quanto possível, as características da paisagem natural” (ITEP/OS, 2011a, p. 4.0-79).	O trecho demonstra a influência do meio biótico, em especial da vegetação, na estabilidade dos taludes/encostas. Segundo Costa (2012), a influência é positiva, tendendo a melhorar as condições de estabilidade. Por outro lado, em alguns casos, a vegetação pode influenciar negativamente na instabilidade de uma encosta. A geomorfologia é abordada por meio da morfologia, dos processos e como elemento da paisagem.
6. Análise jurídica	Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: [...] d) no topo de morros, montes, montanhas e serras; e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;	Os textos são da Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal revogado, mas vigente na época da elaboração do EIA), destacando os enquadramentos das APPs, a partir dos aspectos geomorfológicos. Logo, é fundamental, em qualquer EIA, a correlação entre a geomorfologia e a legislação ambiental (e urbanística, nos casos aplicáveis).

	f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação (ITEP/OS, 2011a, p. 6.0-22). Art 3º Constitui Área de Preservação Permanente a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de: § 4º A ampliação ou redução do limite das Áreas de Preservação Permanente, a que se refere o § 1º, deverá ser estabelecida considerando, no mínimo, os seguintes critérios: [...] II - geologia, geomorfologia, hidrogeologia e fisiografia da bacia hidrográfica (ITEP/OS, 2011a, p. 6.0-24).	
	“Será necessária a anuência prévia do IBAMA no processo de licenciamento ambiental caso exista na área de influência direta do empreendimento cavidade natural subterrânea relevante, o que será definido em função dos seguintes critérios apontados no inciso II do art. 2º da Resolução n. 347/04 do CONAMA: a) dimensão, morfologia ou valores paisagísticos; b) peculiaridades geológicas, geomorfológicas ou mineralógicas; [...]" (ITEP/OS, 2011a, p. 6.0-32).	O patrimônio espeleológico é destacado por meio da Resolução CONAMA nº 374/04, que indica diversos critérios para o enquadramento de uma cavidade natural subterrânea como relevante, sendo as peculiaridades geomorfológicas como um dos critérios, o que remete à geodiversidade.
Áreas de influência – AII meio físico	“A delimitação da AII do empreendimento para o meio físico corresponde à Bacia Hidrográfica do Rio Una. Nesse âmbito se identificaram os principais cursos de água, reservatórios existentes, posição do empreendimento, além da superposição desses elementos com os aspectos ambientais (geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação) e principais núcleos urbanos no entorno da barragem” (ITEP/OS, 2011a, p. 7.0-2).	De acordo com o que consta no EIA, as “Áreas de influência correspondem aos espaços geográficos passíveis de alterações em termos de dinâmica ambiental a partir da projeção de cenários relacionados à implantação e operação do mesmo [...]" (ITEP/OS, 2011a, p. 7.0-1). Logo, a geomorfologia encontra-se inserida nessa dinâmica ambiental, constituindo um dos parâmetros para a definição das áreas de influência.

Fonte: o autor (2019).

Figura 32 – Mapa da ADA da Barragem Serro Azul



Fonte: ITEP/OS (2011a).

Figura 33 – Panorama das alterações na morfologia da área da barragem Serro Azul decorrentes da etapa de construção



Fonte: Pedro Cavalcanti – SERH/PE (maio/2017).

Apesar da total vinculação com a geomorfologia fluvial, no item 4.2.6.1, “Desvio do rio Una durante a construção” (no EIA), não se identificou qualquer abordagem sobre a geomorfologia fluvial do rio Una, no tocante às alterações geradas por tal atividade construtiva, já que ela acarreta na modificação da compartimentação da geomorfologia fluvial (Figura 33).

O estudo restringiu as atividades concernentes à compactação dos aterros, lançamento de enrocamentos, execução das obras de concreto, escavação de fundações e outros itens de serviços necessários à construção das obras de desvio do rio.

O Quadro 24 lista os temas abordados em cada meio do diagnóstico ambiental do EIA.

Quadro 24 – Temas abordados nos meios do diagnóstico ambiental do EIA da Barragem Serro Azul

Meio Físico	Meio Biótico	Meio Antrópico
Clima Geologia Geotecnia Geomorfologia Pedologia Hidrologia Hidrogeologia Qualidade do ar Ruídos	Flora terrestre Flora aquática Mamíferos Répteis Anfíbios Aves Peixes	Socioeconomia Uso do solo Arqueologia Patrimônio Cultural

Fonte: ITEP/OS (2011a).

4.2.1.1 Meio físico

Sobre a geomorfologia, a equipe técnica optou por nomear o item de “O Relevo e sua relação com os Desastres Naturais”, associando à compartimentação do relevo na bacia hidrográfica do rio Una. O estudo elencou algumas morfologias associando aos possíveis processos que podem ser deflagrados em cada uma: vales rasos (associados a processos de desertificação); colinas amplas e médias (perigos relacionados a movimentos de massa); colinas estreitas (perigos ligados à erosão linear); e as planícies costeiras e terraços fluviais (inundações). Posteriormente, são destacados os eventos recentes de inundações provocados pelas chuvas intensas e as ocupações desordenadas. Salientam-se alguns impactos com a construção da barragem (“diminuição de nutrientes das águas a jusante da barragem” e “processos de erosão”), mas que, segundo o estudo, são reversíveis com os programas de monitoramento a serem implementados. Por fim, o estudo afirma que

[...] a análise das informações básicas do relevo aponta para a viabilidade do empreendimento nessa área, sem gerar grandes transtornos para população, além de representar uma operação rápida e eficiente diante do cenário catastrófico vivenciado por grande parte da população local (ITEP/OS, 2011a, p. 26).

Em relação aos demais itens do meio físico, os mesmos estão discriminados no Quadro 25.

Quadro 25 – Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Físico do EIA da barragem de Serro Azul

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Geologia	“Essa drenagem ocorre entre as cidades de Palmares e Bonito sobre esse pacote de intemperismo com relevo bastante acidentado, o que faz surgir o aparecimento de fontes e cachoeiras, as quais estão condicionadas ao fraturamento da região” (ITEP/OS, 2011a, p.8.2-6).	O texto evidencia a estreita relação entre a geomorfologia, geologia e os recursos hídricos, demonstrando que na região são encontradas fontes, mas, principalmente, cachoeiras, decorrentes da configuração geomorfológica, que se tornaram atrativos consolidados nessa região do estado de Pernambuco.
	“O Complexo Belém de São Francisco é caracterizado por um relevo mais arrasado, enquanto que as duas suítes ocorrem em topografia mais elevadas em formas de colinas suaves” (ITEP/OS, 2011a, p.8.2-6).	Demonstra a íntima relação entre a geologia e a geomorfologia para a elaboração do diagnóstico ambiental.
	“A dragagem do material do fundo dos rios, modificando o seu relevo, de imediato produz alterações no seu regime, reduzindo a sua energia, na área onde ocorreu a remoção do material, e a consequente ampliação das suas margens” (ITEP/OS, 2011a, p.8.2-17).	O texto esclarece que a atividade antrópica (“dragagem”) permite melhorar as condições para o uso humano, porém possui efeitos colaterais que levam a mudança da dinâmica fluvial e do morfologia do curso-d’água.
Climatologia	“O clima e as condições meteorológicas são influenciados por características geográficas como latitude, relevo, oceano, solo e por sistemas de circulação atmosféricos dinâmicos. Nesse contexto, o Estado de Pernambuco e a Bacia Hidrográfica do Rio Una estão situados em posição geográfica favorável à atuação simultânea destas influências” (ITEP/OS, 2011a, p. 8.1-1).	O texto estabelece a relação do clima com outros elementos ambientais, a exemplo do relevo, mas não faz menção ao tipo climático da área de estudo e sua dinâmica sazonal.
Pedologia	“Os solos localizados na área do empreendimento pertencentes aos municípios de Palmares, Bonito e Catende têm estreita relação com a geomorfologia local” (ITEP/OS, 2011a, p. 8.4-1).	O estudo aponta que os solos localizados na área do empreendimento têm relação com a geomorfologia local, tendo sido identificados os seguintes: Latossolos (topos dos morros e em regiões mais planas, associados aos Argissolos nas vertentes íngremes); Gleissolos (solos menos desenvolvidos no fundo dos vales estreitos); e os Neossolos Flúvicos (terrenos de depósitos fluviais em porções mais baixas e planas do relevo). De acordo com o estudo, o latossolo identificado é do tipo amarelo, presentes nos topos aplainados dos relevos em forma de colinas ou mesmo nas encostas acidentadas de relevo forte ondulado e montanhoso (ITEP/OS, 2011a, p. 25).

		Caracterizam-se por serem profundos/muito profundos, com predominância de textura argilosa/muito argilosa e bem drenados.
Recursos Hídricos Superficiais - 8.5.1 Caracterização física da bacia do rio Una	“O Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Una e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos GL4 e GL5 (PERNAMBUCO, 2000) apresentou os elementos geométricos e morfométricos da bacia do rio Una e de suas principais sub-bacias” (ITEP/OS, 2011a, p. 8.5-2).	Os parâmetros foram calculados com base nas cartas topográficas da SUDENE, na escala de 1:100.000 com curvas de nível a cada 50m. Tal abordagem referente à morfometria da bacia é essencial na avaliação ambiental para a tipologia da barragem.
Recursos Hídricos Subterrâneos - 8.6.1 Recarga do Aquífero	“A alimentação ou recarga do aquífero fissural, embora possa ocorrer ao longo de toda a superfície do terreno onde as rochas apresentam fraturas aflorantes, ocorre preferencialmente nos vales fluviais,[...]” (ITEP/OS, 2011a, p.8.6-1).	O texto demonstra a relação existente entre as condições geológicas favoráveis para a formação de aquífero, mas indica um ambiente geomorfológico como mais propício para a alimentação ou recarga do aquífero.

Fonte: o autor (2019).

Logo, dos processos mais enfatizados pelo estudo, no que tange à geomorfologia, destaca-se a incidência dos movimentos de massa em encostas e topos do relevo colinoso, principalmente quando da exposição do solo e da movimentação de terras por meio de cortes e aterros, que acarretam na exposição do material a ação erosiva das chuvas, que estão presentes na área, resultando no aumento dos processos erosivos e movimentos de massa do tipo deslizamentos. Quanto aos processos erosivos, o EIA destaca a necessidade de identificar os riscos atrelados à erosão linear através de ravinas, dando uma atenção especial quanto ao comportamento das chuvas e coberturas pedológicas das vertentes.

Quanto aos terrenos baixos, enfatizou-se que as planícies aluviais e os terraços fluviais estão sujeitos a inundações periódicas, correspondendo a terrenos baixos e mais ou menos planos junto às margens dos rios, tendo o desenvolvimento de algumas atividades ligadas à agropecuária, policultura e pequenas vilas. Nas conclusões dos estudos geomorfológicos do Diagnóstico Ambiental do EIA da Barragem de Serro Azul, aponta-se:

A análise empírica das informações que tangerem às análises básicas do relevo, litologia-estrutura e declividade apontam para a viabilidade do empreendimento nessa área. Os principais impactos estão relacionados à mudança na paisagem regional (i), instabilidade dos solos no entorno do reservatório (ii) e aumento na erosão hídrica a jusante (iii).

No que tange a “mudança na paisagem regional”, o estudo considera que estaria relacionada a diminuição no aporte de água e sedimentos a partir da fase de operação da barragem. Como cenários previstos são elencados:

– assoreamento nos fundos de vale decorrente da subida artificial do nível de base com a formação do lago, processos de voçorocamento e eutrofização do reservatório.

- a instabilidade dos solos no entorno do reservatório representa riscos de erosão, deslizamentos e assoreamento;
- aumento na erosão hídrica está atrelado à incidência de processos erosivos em áreas de encosta.

Fica evidente que o transporte do material sedimentar é uma das preocupações mais expressivas para esse tipo de empreendimento, já que o assoreamento do reservatório pode acarretar na diminuição da sua vida útil.

4.2.1.2 Meio biótico

O tipo de paisagem que domina na AID do empreendimento é bastante similar à da ADA, tanto em relação aos elementos de ordem antrópica, como as matrizes de monoculturas em grandes e pequenas extensões, cultivos diversos de agricultura familiar, áreas de pastagens e áreas urbanas, quanto em relação às manchas de vegetação que são, em geral, pequenas e com estágio de degradação bem avançado. Os fragmentos florestais remanescentes estão assentados acima de 240 metros de altitude, mas não ultrapassam a cota de 400 metros³⁵. A abordagem da geomorfologia no estudo do meio biótico é apresentada no quadro a seguir.

Quadro 26 – Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Biótico do EIA da barragem de Serro Azul

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Análise da vegetação a ser suprimida na Área Diretamente Afetada (ADA) e na Área de Influência Direta (AID)	“A maioria dos fragmentos registrados faz parte da Área de Reserva Legal dos assentamentos do INCRA e/ou estão em Áreas de Preservação Permanente (APPs), do tipo topo de morros e faixas ciliares. Assim, apesar de localizados em áreas prioritárias para conservação é visível o nível de degradação que os fragmentos estão submetidos” (ITEP/OS, 2011a, p. 9.1-58).	O texto faz referência à vegetação remanescente e às localizações dos fragmentos, de acordo com o relevo (“topo de morros” e vales fluviais).
Flora Terrestre	“Tomando como referência a PE-103 no sentido Bonito-Palmares, entre as cachoeiras do Ecoparque e Véu da noiva II, constata-se a presença de matriz mista que se alterna entre a de cana-de-açúcar e	Trechos referentes às “Tipologias Vegetacionais da Floresta Atlântica” presentes na Área Diretamente Afetada (ADA) – I e II, e da Área de Influência Direta (AID) – I.

³⁵ No tocante aos “planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade”, conforme previstos no inciso IV do art. 5º da Resolução CONAMA nº 01/86, destaca-se o “Plano de Apoio à Revitalização de Bacias - Secretaria dos Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE)”, que foi implantado em 2010 pela SRHE e tem por objetivo a recuperação e revitalização da mata ciliar em nascentes ao longo de rios e outros cursos-d’água em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Salientam-se entre as ações a melhoria das condições das nascentes, proteção do solo contra a erosão e o assoreamento dos cursos-d’água, além da conscientização da população.

	a de banana, sempre ocupando pontos de encosta e mais altos do relevo. Já, nos trechos de vales mais encaixados do relevo, com altitude cerca de 221m, há manchas diminutas de vegetação que meandram o curso d'água" (ITEP/OS, 2011a, p. 9.1-58). "Trata-se de uma área com relevo bastante acentuado e de difícil acesso e a vegetação enquadra-se como secundária em estágio pioneiro de regeneração" (ITEP/OS, 2011a, p. 9.1-59). "Trata-se de uma área de mata ciliar (APP ciliar) que chega até o topo do relevo, com altitude que varia de 167 a 294m" (ITEP/OS, 2011a, p. 9.1-62).	Os três trechos tratam da vegetação fazendo estreita relação com os aspectos geomorfológicos da sua localização, atribuindo os níveis de acesso à área e as questões legais estabelecidas pelo Código Florestal.
Fauna Terrestre	"A paisagem da área diretamente afetada é caracterizada pelo elevado grau de antropização, com formações vegetais muito alteradas pelo processo de ocupação. Apresenta vastas áreas de canavial, policultivo, pastagens, sítios domiciliares, manchas de vegetação (capoeiras) e fragmentos de Mata Atlântica, sobretudo nas áreas de relevo mais acidentado" (ITEP/OS, 2011a, p.9.2-11).	Só uma citação é feita ao relevo, quando se indica a existência de fragmentos de Mata Atlântica na ADA, especialmente nas áreas de relevo mais acidentado, quando da abordagem da mastofauna alada, tendo a escolha dos pontos para a coleta de dados utilizado dos critérios: o nível de conservação das áreas; a heterogeneidade de habitats; e a localização em função da implantação empreendimento.
Flora aquática	Não foi identificada nenhuma referência à geomorfologia.	
Fauna aquática	Não foi identificada nenhuma referência à geomorfologia.	

Fonte: o autor (2019).

Dessa forma, o Quadro 26 expressa a necessidade de uma maior inserção da geomorfologia na abordagem do meio biótico do EIA da barragem de Serro Azul. A inserção da geomorfologia na fauna e flora aquáticas guarda relação com os impactos resultantes de outros impactos. Ao se compreender que a "limpeza da área do eixo da barragem", o "movimento de terras (escavação, corte, aterro e bota-fora)", a "construção e remoção das ensecadeiras (desvio do rio)", a "exploração de jazidas (empréstimo)", a "construção do maciço da barragem" e o "enchimento do reservatório (aumento do nível de base do rio)" constituem em ações do empreendimento que interagem com a geomorfologia, entende-se que também guardam relação com os elementos do meio biótico (faunas aquática e terrestre; floras aquática e terrestre), fazendo com que os impactos geomorfológicos acarretem em impactos secundários nos elementos do meio biótico.

4.2.1.3 Meio antrópico

Para o meio antrópico, os seguintes itens foram identificados diante da abordagem relacionada à geomorfologia (Quadro 27):

Quadro 27 – Abordagem da geomorfologia no Diagnóstico Ambiental – Meio Antrópico do EIA da barragem de Serro Azul

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Socioeconomia	“A análise dos mapas de relevo, de estradas e do sistema de redes municipais do IBGE levou a que fosse definida como AID os seguintes municípios [...]” (ITEP/OS, 2011a, p. 10.1-1).	Apesar de tal afirmativa, não foi identificada a existência do mapa de relevo citado.
Uso e Ocupação do Solo	“A região que se pretende construir a barragem de Serro Azul é caracterizada por uma área de feições com topos planos ou suavemente ondulados, com a presença de várzeas, cachoeiras, com áreas de formação vegetal florestal densa, caracterizadas por árvores de grande porte, variadas, com folhas largas” (ITEP/OS, 2011a, p. 10.2-64).	Ao tratar da AID, o estudo trata do percentual de uso para atividades diversas (pastagens, lavouras, matas/florestas e outros usos), o que poderia ser correlacionado com a geomorfologia, considerando as limitações que alguns trechos podem impor à prática agrícola, bem como a ocorrência de matas/florestas, decorrentes de possíveis APPs, de acordo com os critérios do Código Florestal.
Patrimônio arqueológico	“A Pedra do Rodeador é um atrativo turístico bastante visitado do município de Bonito. Trata-se de um morro de formação granítica, que chega a atingir cerca de 750m de altitude. O local foi palco do movimento Sebastianista ocorrido em Bonito em 1820, conforme mencionado no levantamento histórico. O local, rico em água potável, poderia ser considerado como de potencial arqueológico” (ITEP/OS, 2011a, p. 10.3-26).	O EIA considera a Pedra do Rodeador como um atrativo turístico bastante visitado do município de Bonito, o que configura um atrativo da geodiversidade local (enquadramento não mencionado no EIA). Logo, identifica-se a necessidade dos EIAs em incorporar uma abordagem sobre a geodiversidade das áreas de influência do empreendimento, especialmente as da ADA e AID, já que projetos como as barragens podem acarretar no desaparecimento desses atrativos naturais ou dificultar o acesso de moradores e turistas.
Patrimônio Paisagístico	“Do ponto de vista de sua formação, a ‘paisagem’, sob a ótica geográfica, é o resultado atual de um longo processo evolutivo do relevo, somado às ações do clima e interferências humanas. Sob este prisma, a estrutura da paisagem corresponde à organização de seus ecossistemas e seus elementos ou fatores como: solo, relevo, cobertura vegetal, material geológico e o clima” (ITEP/OS, 2011a, p. 10.3-20).	O texto detalha aspectos conceituais da categoria de análise – paisagem, para a ciência geográfica, incluindo o relevo como elemento da estrutura e organização da paisagem.

Fonte: o autor (2019).

4.2.1.4 Impactos ambientais

No capítulo referente à avaliação dos impactos ambientais, foi identificada a junção da geomorfologia com os solos, tendo sido elencados os seguintes impactos: mudanças na paisagem regional; instabilidade dos solos no entorno do reservatório; alteração da qualidade do solo; aumento da erosão hídrica a jusante; redução do poder fertilizante da água efluente. Partindo para a análise dos demais itens do EIA, o Quadro 28 descreve os impactos que estabeleceram relação com a geomorfologia.

Quadro 28 – Abordagem da geomorfologia nos Impactos Ambientais do EIA da barragem de Serro Azul

ITEM DO EIA	TEXTO TRANSCRITO	COMENTÁRIOS
Instabilidade dos solos no entorno do reservatório (ADA e AID)	“O relevo movimentado da área favorece a ocorrência de processos de movimentos de massa e erosão [...]” (ITEP/OS, 2011a, p. 11.0-2).	O texto destaca a propensão da morfologia da região com relação à ocorrência de processos erosivos e aos movimentos de massa, que podem acarretar na perda de áreas para agricultura, aumento da carga sólida no canal fluvial e no reservatório, acarretando no assoreamento.
Alteração na paisagem local com reflexos no patrimônio paisagístico	“Uma das cachoeiras tradicionalmente frequentadas na região a do Véu da Noiva II será atingida pelo enchimento do reservatório. O enchimento da barragem, ainda que não venha a ser mantida em sua cota máxima, certamente provocará alteração na paisagem local, e virá a se refletir sobre a cachoeira do Véu da Noiva II” (ITEP/OS, 2011a, p. 11.4-18).	O estudo destaca as consequências do enchimento do reservatório para locais turísticos da região, a exemplo da cachoeira citada, o que evidencia mais um exemplo da geodiversidade na área, de grande apelo geomorfológico.
Infraestrutura e qualidade ambiental	“Construções de habitações” é colocada como preocupação, já que “grande parte da população habita áreas caracterizadas de risco e receberão um contingente populacional que será envolvido direta e indiretamente com a construção da barragem” (ITEP/OS, 2011a, p. 11.4-20).	O componente geomorfológico estaria presente em tais áreas dos municípios inseridos na AID, sendo algo inerente à geomorfologia local, que apresenta feições bem aguçadas e muitos trechos de vales fluviais. O EIA estabelece a necessidade da identificação das áreas de risco e o deslocamento dessas famílias para áreas mais seguras, mesmo com a construção da barragem com objetivo de contenção de enchentes, porém proporcionará segurança frente aos demais eventos físico-naturais. Além disso, a ampliação da demanda habitacional, devido à instalação da barragem, deverá observar o zoneamento municipal e que se localizem em áreas que não ofereçam risco e sem as condições precárias de habitação.
Diminuição das atividades extrativistas no leito do rio	“A presença de atividades de extração de areia do leito e margens do rio Una é uma prática dos ribeirinhos e de outros trabalhadores	O estudo conclui que a diminuição dessas atividades minimizará o processo de assoreamento identificado em vários trechos do rio e com uma alta importância ecológica. Sendo

	do entorno para fins comerciais” (ITEP/OS, 2011a, p. 11.4-21).	assim, o EIA contribui ao oferecer conhecimentos do caráter histórico dos usos da área, bem como um histórico da ocorrência do processo de assoreamento, que é um processo inerente à operação de uma barragem.
--	--	---

Fonte: o autor (2019).

Por fim, o Quadro 29 apresenta uma matriz de correlação entre as ações do empreendimento e os elementos ambientais, com destaque para a geomorfologia, estando compreendidas nas fases de instalação e de operação.

Quadro 29 – Fragmento da matriz de correlação entre as ações do empreendimento e os elementos ambientais do meio físico

MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA O MEIO FÍSICO	Fase de Planejamento			Fase de Instalação											Fase de Operação			
	Difusão da notícia	Reassentamento da população	Estudos Preliminares	Contratação de mão de obra	Instalação do canteiro de obras e abertura de acessos	Limpeza da área do eixo da barragem	Movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora)	Construção e remoção das enscadeiras (desvio do rio)	Movimento de máquinas e de trabalhadores da obra	Exploração de jazidas (empréstimo)	Destinação de resíduos sólidos e efluentes gerados na obra	Construção do maciço da barragem	Limpeza do reservatório (remoções e destocas)	Enchimento do reservatório (elevação do nível de base do rio)	Desmobilização	Liberação de água durante chuvas intensas	Regularização da vazão mínima do rio	Outorga para uso da água (lazer, aquicultura, abastecimento)
Geomorfologia																		

Fonte: ITEP/OS (2011a).

É possível constatar que tais ações estão contempladas nos quadros anteriormente discutidos, o que demonstra um alinhamento do EIA com aquilo que foi previsto em seus diversos capítulos.

4.2.1.5 Programas ambientais

Em relação aos Programas Ambientais (Monitoramento e Acompanhamento), o estudo prevê 16 programas ambientais para a barragem Serro Azul. Desse total, oito voltados para o meio biótico, cinco foram para o meio socioeconômico e três foram para o meio físico (“monitoramento hidrológico”; “monitoramento da qualidade da água”; e “controle de erosão”). Desses, apesar de o monitoramento hidrológico³⁶ guardar relação com alguns processos

³⁶ **MONITORAMENTO HIDROLÓGICO:** o EIA expõe que os objetivos consistem em monitorar as vazões afluentes e defluentes da Barragem Serro Azul; monitorar o volume armazenado na Barragem Serro Azul; e avaliar a alteração do regime hidrológico do rio Una na área da barragem Serro Azul, o que guarda relação com o aumento e a diminuição do lençol freático, que pode favorecer a ocorrência de processos erosivos e de movimentos de massa.

geomorfológicos, o programa de controle de erosão é o que se apresenta como mais representativo no campo da geomorfologia:

CONTROLE DE EROSÃO: Segundo o EIA (2011a), o programa tem por objetivo identificar, caracterizar e acompanhar o desenvolvimento de feições de erosão que ocorrerem durante a construção e a operação do reservatório, estimulando a prevenção das erosões durante a obra. Prevê a análise das condicionantes, dos processos e mecanismos de instabilização das encostas marginais do lago, e das margens dos rios a jusante da barragem.

DETALHAMENTO DO PROJETO (ITEP/OS, 2011a):

“As atividades e respectivos procedimentos metodológicos estão previstas para serem implementadas na ADA, especificamente na área de construção dos barramentos, no entorno do lago, nas margens a jusante, dentro da AID e nas cabeceiras de drenagem dos afluentes de montante.

Para o Controle de Processos Erosivos, serão relacionadas as ações operacionais, preventivas e corretivas, destinadas a promover o controle dos processos erosivos decorrentes das obras de implantação das barragens, evitando problemas de instabilização de encostas e taludes. A recuperação dessas áreas tem como foco indicar as medidas que contribuam para o equilíbrio do terreno e a reinserção das áreas alteradas à paisagem local.

Tais medidas serão verificadas por meio da realização de vistorias técnicas rotineiras para acompanhamento das intervenções realizadas e monitoramento dos processos erosivos e da drenagem provisória implantada, e acompanhamento da execução das ações preventivas e/ou corretivas.

a) Estudo e definição das alternativas técnicas para controle dos processos erosivos, demandando a realização das atividades a seguir relacionadas:

- Análise das condicionantes do processo existente ou potencial;
- Análise e proposição de alternativas aplicáveis para a prevenção ou solução do problema;
- Análise de experiências realizadas em terrenos com características semelhantes.

b) Definição dos procedimentos a serem adotados:

- Implantação de sistemas de drenagem provisória por todo o tempo da obra e específicos para cada uma de suas fases;
- Implantação do sistema de drenagem definitivo simultaneamente ao avanço da movimentação de terra;
- Proteção dos rios e corpos-d'água com sistemas de retenção do material fino (argila e silte);
- Limitação, ao mínimo possível, da supressão de vegetação, quando dos serviços de limpeza do terreno para execução das obras dos barramentos, serviço que deve ser realizado imediatamente antes do início das obras;
- Conservação, ao máximo possível, da vegetação nativa existente no entorno das estradas de acesso;
- Limpeza da vegetação da área de enchimento, em pequeno período anterior à realização do enchimento dos lagos;
- Compensação dos volumes de terra movimentados;
- Adequada disposição do volume de material excedente gerado;
- Suavização dos ângulos e proteção dos taludes;
- Adequação da rede de drenagem;

- Limpeza da área com retirada de todo o entulho resultante dos serviços de construção;
- Reafeiçãoamento e sistematização do terreno; e
- Proteção das áreas suscetíveis à erosão em caso de chuva intensa.

c) Estudo e definição das ações a serem desenvolvidas para recuperação das áreas degradadas por erosão, deslizamento e assoreamento:

- Revegetação das áreas degradadas, compreendendo as seguintes atividades:
- Seleção das espécies a serem utilizadas;
- Produção de mudas;
- Subsolagem e gradagem, com utilização do solo vegetal removido durante a limpeza do terreno;
- Abertura e adubação de covas;
- Plantio e replantio de mudas; e
- Realização de tratos culturais.

d) Retaludamento e proteção de taludes;

- Cortes e aterros para a redução da declividade
- Calhas coletoras nas cristas e nas bases;
- Canais escoadouros (escadas hidráulicas) nas paredes;
- Caixas de dissipação nas bases; e
- Proteção vegetal superficial nas paredes, implantada logo que a forma final for alcançada pela obra.

e) Material cartográfico para o monitoramento

O desenvolvimento do programa deverá contemplar estudos baseados na utilização de imagens de satélite e fotointerpretação da área de interesse para o preparo de mapas bases, ou seja, todo perímetro do reservatório e áreas de jusante da barragem Igarapeba.

Esses recursos serão utilizados também para os estudos geológico-geotécnicos e de processos de instabilização das encostas marginais, como ferramentas de análise e de ajustes das áreas e a jusante das barragens como áreas prioritárias para monitoramento. Serão utilizadas também para orientar e executar os trabalhos de campo dos mapeamentos geológico-geotécnicos e a caracterização dos processos de instabilização das encostas. Para tanto, serão considerados aspectos geológicos, geomorfológicos e de declividade das encostas.

Os estudos de imageamento, fotointerpretação para fins preparo de mapas bases e de estudos das encostas deverá ser através de processamento e interpretação de imagens de satélite recentes e atualizadas, de fotos aéreas, de plantas de restituição aerofotogramétrica e ortofotocartas e de levantamentos topográficos disponíveis e específicos (terrestres e/ou aéreos a laser), além de modelos digitais do terreno.

Os levantamentos topográficos a serem utilizados no desenvolvimento dessas atividades são os mesmos disponíveis para o desenvolvimento de todos os programas e projetos ambientais ou específicos para o presente programa, nas escalas 1:10.000, e deverão abranger a faixa de APP e ainda mais 100 m às margens dos reservatórios.

f) Vistorias de campo e caracterização geológico-geotécnico dos processos de instabilização

Deverão ser feitos levantamentos para a caracterização dos processos de instabilização das encostas marginais e a montante e jusante das barragens. Esses levantamentos serão feitos através de:

- Interpretação do material cartográfico;
- Trabalhos de campo de detalhe visando à estabilidade das encostas.

O mapeamento geológico-geotécnico de campo compreende a identificação das unidades e suas espessuras, indicação dos afloramentos de rocha sã/alterada dura e/ou com altos graus de coerência e de resistência mecânica, individualização e caracterização de unidades geológico – geotécnicas de rochas alteradas e/ou com baixos graus de coerência e de resistência mecânica, depósitos de materiais transportados, surgências de água, erosões e demais processos de instabilização das encostas marginais e seus condicionantes e mecanismos. Se necessário, serão efetuadas sondagens a trado para auxiliar na definição das unidades geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas.

Os pontos de inspeção deverão estar indicados por números em plantas bases, amarrados por GPS e caracterizados em fichas ou em cadernetas de campo. Deverão ser identificadas as diversas unidades geológicas, geológico-geotécnicas, bem como as principais estruturas, destacando os seus aspectos de interesse para o presente programa.

Os mapeamentos geológico-geotécnicos deverão ser efetuados tendo por base plantas topográficas na escala 1:10.0000 ao longo da borda do reservatório”.

Vale destacar o programa “Monitoramento da vegetação de entorno da Barragem Serro Azul”, que não faz menção expressa à questão geomorfológica, mas compreende-se que estabelece relação direta com a geomorfologia, ao se considerar o papel que a vegetação pode desempenhar na proteção do solo (principalmente, o fato da criação de uma barragem acarretar no surgimento de novas Áreas de Preservação Permanente, concernentes às áreas existentes no entorno do reservatório), evitando ou minimizando os processos geomorfológicos, com a consequente perda sedimentar para o reservatório.

Já o programa “Regate e translocação da mastofauna terrestre da Área Diretamente Afetada da barragem Serro Azul – PE”, que tem o objetivo, de acordo com o EIA, de manejar as espécies de mamíferos nas áreas a serem alagadas para a operação da barragem de Serro Azul, indica a possibilidade de que alguns animais fiquem encurralados em pequenas ilhas que vão sendo formadas durante o enchimento. Uma prévia análise da geomorfologia fluvial do rio Una poderia ser realizada para considerar as possíveis áreas que formarão ilhas, onde possa ocorrer o encurralamento de espécies.

4.2.2 Análise documental: licenciamento ambiental da Barragem Serro Azul

A partir da análise feita na documentação do licenciamento ambiental (licenças ambientais – LP, LI e LO), emitida pelo órgão ambiental licenciador (CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco) (Quadro 30), as considerações sobre a abordagem geomorfológica nelas, são feitas a seguir.

Quadro 30 – Histórico do licenciamento ambiental da barragem Serro Azul

Licença Ambiental	Data de emissão	Data de vencimento
Licença Prévia - nº 02.11.12.006542-2	23 de dezembro de 2011	22 de dezembro de 2012
Licença de Instalação - nº 01.14.11.006092-9	17 de novembro de 2014	16 de novembro de 2016
Licença de Operação - nº 03.16.12.005316-2	06 de março de 2017	05 de março de 2022

Fonte: CPRH.

Org.: autor.

Como se observa, o licenciamento ambiental foi iniciado em dezembro de 2011, com a LP, enquanto que a LO encontra-se vigente até março de 2022.

4.2.2.1 Licença Prévia (LP)

Em nenhum dos itens da LP (“exigências”, “requisitos” e “observações”) se identifica citação direta aos termos “relevo” ou “geomorfologia”. É possível identificar condicionantes relacionadas à geomorfologia ou indiretamente por meio de outros componentes associados à dinâmica geomorfológica: “apresentação do Programa de monitoramento sedimentológico, destacando as consequências da acumulação para o reservatório” (condicionante nº 8 do item “exigências”); “apresentação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas das áreas de jazidas, pedreiras, áreas de empréstimo, canteiro de obras e usadas como bota-fora” (condicionante nº 9 do item “exigências”).

No item 10 (“Requisitos”), é possível enquadrar dois requisitos que estabelecem relação com a geomorfologia: “Delimitar e obter aprovação, pela CPRH, de área de empréstimo” (condicionante nº 3); “Definir e aprovar, pela CPRH, a localização das áreas de bota-fora e armazenamento temporário. Bem como a quantidade de material que será expurgado, e onde será colocado o que não estiver na especificação desejada” (condicionante nº 4).

4.2.2.2 Licença de Instalação (LI)

No item 9, foram destacadas as seguintes condicionantes relacionadas diretamente à geomorfologia ou indiretamente através de outros componentes associados à dinâmica geomorfológica: números 2, 3, 5 e 6.

4.2.2.3 Licença de Operação (LO)

A Licença de Operação nº 03.16.12.005316-2 foi emitida no dia 06 de março de 2017, tendo como data de vencimento o dia 5 de março de 2022, portanto sendo a licença ambiental vigente para a barragem de Serro Azul. Foram identificadas condicionantes relacionadas à geomorfologia ou indiretamente através de outros componentes associados à dinâmica geomorfológica: exigências nº 8, 9, 10 e 12.3.

4.2.3 Análise do diagnóstico ambiental da Barragem Serro Azul

A barragem Serro Azul encontra-se localizada no município de Palmares-PE e é uma das barragens que integra o Sistema de Controle de Enchentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una, proposto pelo governo estadual, após as enchentes ocorridas, nos dias 17, 18 e 19 de junho de 2010, ao longo dos rios Una, Sirinhaém, Pirangi, Mundaú e Canhoto, tendo atingido 68 municípios (Figura 34).

Figura 34 – As águas do Rio Una invadindo a cidade de Palmares – junho/2010 (a) e queda de parte da ponte sobre o rio Una, na cidade de Barreiros – junho/2010 (b)



Fonte: Secretaria Estadual de Imprensa.

Desses, nove declararam Estado de Calamidade Pública (Decretos nº 35.192 de 21/06/2010 e nº 35.231 de 27/06/2010) e 33 em Situação de Emergência (Decretos nº 35.191 de 21/06/2010 e nº 35.312, de 15/07/2010). O saldo final dos prejuízos foram 14.136 casas destruídas ou danificadas, 20 mortos, 26.966 desabrigados e 55.643 desalojados. Transcorrido quase um ano da tragédia de 2010, a Mata Sul pernambucana foi atingida pelas chuvas caídas em 3 de maio de 2011, que afetaram 56 municípios, dos quais 26 decretaram situação de emergência, e nove, de calamidade pública, atingindo mais de 15 mil famílias.

De acordo com a Morfodinâmica das Compartimentações do Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Una, estabelecida pelo EIA da barragem, foram identificadas cinco formas (Vales Rasos, Colinas Amplas, Colinas Médias, Colinas Estreitas e Planície Costeira). Vale destacar também o fato da área próxima do eixo da barragem se encontrar estruturada em um vale assimétrico, com embasamento cristalino, predominando formas de colinas amplas e médias, destacando-se as planícies aluviais e terraços fluviais presentes (Figuras 35 e 36).

Colinas amplas: derivado do embasamento cristalino com padrões de relevo de topos convexos a aguçados possuindo média amplitude (50 a 70m) e declividades superiores a 25% em alguns pontos. Apresenta vales bem encaixados, semi-fechados associados à ocorrência de planícies aluviais com níveis de terraços fluviais.

Colinas médias: derivado do embasamento cristalino com padrões de relevo de topos convexos com baixa amplitude (inferior a 30m) e manto de alteração geralmente espessa. Apresenta vales bem entalhados, semi-fechados, associados à ocorrência de terraços fluviais (ITEP/OS, 2011a, p. 8.3-3).

De acordo com a morfodinâmica dos dois compartimentos predominantes na área, verifica-se que apresentam um perigo associado aos movimentos de massa, dados os padrões de dissecação do relevo, amplitude do relevo e declividades acima dos 30%.

Figura 35 – Visualização do relevo colinoso à montante da área da barragem de Serro Azul



Fonte: o autor (21 dez. 2017).

Tais compartimentos estão sujeitos a inundações periódicas, correspondendo a terrenos baixos e mais ou menos planos junto às margens do rio Una, nos quais se desenvolviam atividades ligadas à agropecuária, policultura e pequenas vilas na época anterior ao início da construção e enchimento do reservatório da barragem, estando, atualmente, parte dessas áreas submersas diante do enchimento iniciado no final do primeiro semestre de 2017.

Figura 36 – Terraço fluvial do Rio Una em área próxima ao eixo principal da barragem



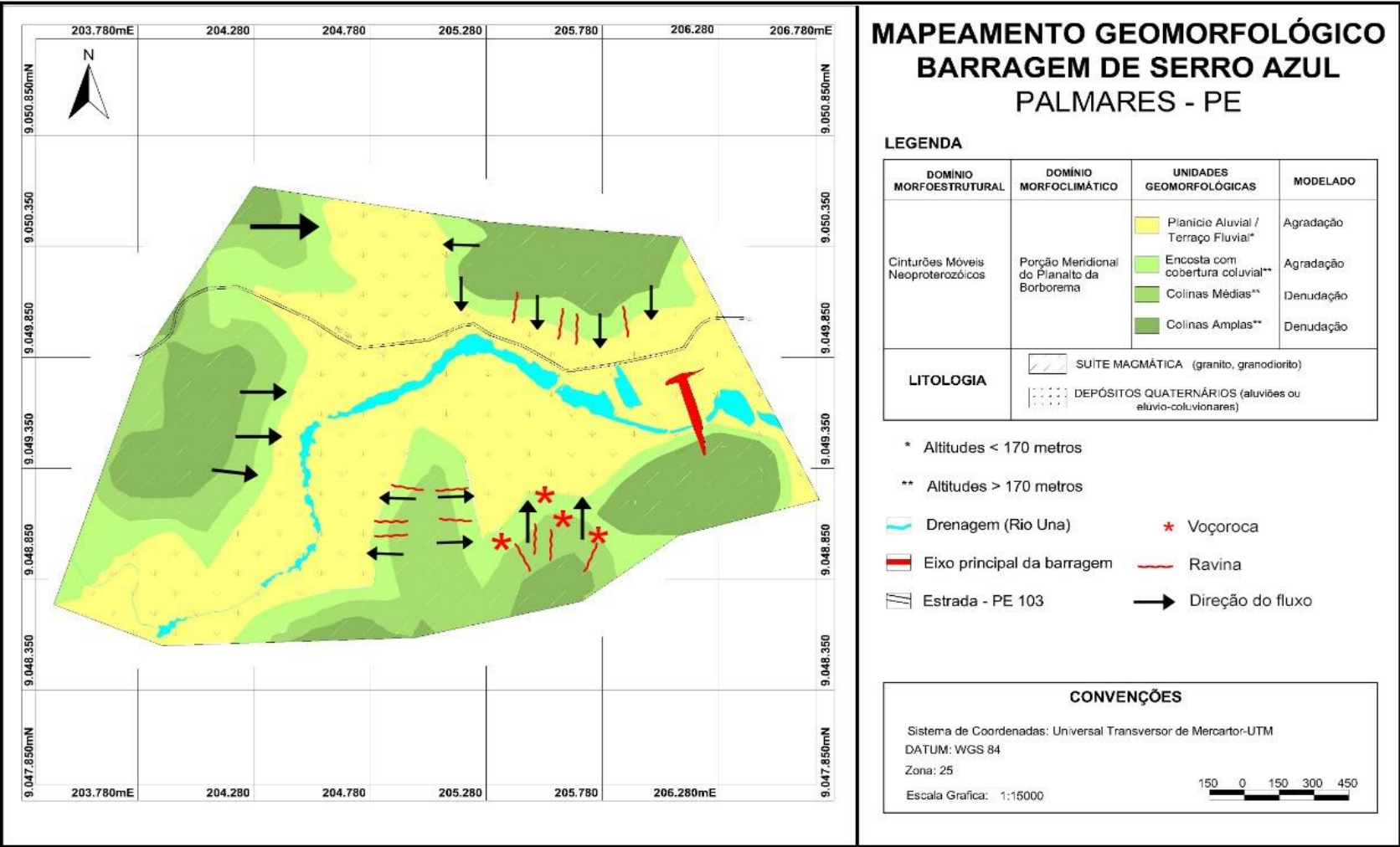
Fonte: Paulo Alves Silva Filho – ITEP/OS (2011a).

O mapa geomorfológico expõe um recorte da área do barramento no rio Una, como também o percurso da rodovia estadual PE-103 que foi submersa com o enchimento do reservatório, especialmente o trecho contido na planície aluvial e no terraço fluvial (Figura 37). Evidencia uma área caracterizada por uma planície aluvial e a presença de terraços fluviais ao longo do curso do rio Una, que percorre uma área mais rebaixada (por volta dos 150 metros), encaixada entre colinas (amplas e médias), que alcançam 255 metros em alguns pontos mais aguçados, associadas à presença de encostas com cobertura coluvial decorrente das declividades presentes, alto índice pluviométrico em determinados meses do ano e material pedológico suscetível aos processos erosivos (sulcos, ravinas e voçorocas) e movimentos de massa.

O mapeamento geomorfológico oferece subsídio para os projetistas da barragem terem uma noção das condições favoráveis e desfavoráveis da implantação do eixo da barragem. Obviamente, para uma análise integrada do meio físico, o mapa geomorfológico necessita vir acompanhado de um diagnóstico e uma avaliação holística dos outros componentes, buscando avaliar as suscetibilidades e vulnerabilidades. No entanto, vale salientar que a escolha do local de construção da barragem está também condicionada ao objetivo da barragem. Se ela tiver o

objetivo de controle de cheias (objetivo principal das barragens analisadas neste trabalho), a sua construção, normalmente, acontece a montante de uma cidade, distrito ou de uma comunidade (o paredão de Serro Azul encontra-se a montante da cidade de Palmares e do distrito de Serro Azul), a fim de proteger as propriedades e vidas humanas a jusante da devastação das inundações (CECH, 2013).

Figura 37 – Mapeamento geomorfológico da barragem de Serro Azul, localizada no município de Palmares-PE



No tocante ao embasamento geológico, a área se encontra inserida nos terrenos pré-cambrianos do Domínio Pernambuco-Alagoas, situada ao sul do Lineamento Pernambuco. Tem como principal característica estrutural a presença de estruturas rúpteis, representadas por um sistema de fraturamento regional. Esse conjunto de estruturas tem direções preferenciais NE-SW e ENW-WSE e está distribuído a leste da área do barramento (ITEP/OS, 2011a).

Considerando que o mapa não representa toda a extensão do reservatório da barragem (estimado, em outubro de 2019, segundo os técnicos da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, em 13 km de extensão), pode-se considerar que essa extensão se encontra representada pela unidade basal do Complexo Belém de São Francisco do Mesoproterozoico, pela intermediária Metaplutônica e pela Suíte magmática do Neoproterozóico, sendo essa a unidade mais recente da área considerada. Completando esse cenário geológico, ocorrem depósitos quaternários representados pelos aluviões ou elúvio-coluvionares, constituídos por sedimentos terrígenos (areias, argilas e detritos rochosos).

No contexto geomorfológico, o município de Palmares pertence à unidade das Superfícies Retrabalhadas, que é caracterizado por vales profundos e acidentados (CPRM, 2005b). O intemperismo é mais acentuado onde afloram essas unidades, apresentando uma drenagem dendrítica e solo bastante espesso. Conforme já discutido anteriormente, existe a presença predominante de colinas médias e amplas, que caracterizam tal região, com a presença de depósitos coluviais e uma drenagem que alia a compartimentação geomorfológica e os índices de precipitação favoráveis para a acumulação de água na área do eixo da barragem. Logo, demonstrando a interdependência estabelecida entre as condicionantes naturais de alguns aspectos relacionados à própria obra, em especial o relevo, que é um dos fatores “[...] essenciais não apenas para definir o melhor arranjo das obras de uma barragem, mas também para analisar a própria viabilidade dessa obra” (COSTA, 2012, p. 21).

Por meio dos procedimentos e técnicas adotados, identificaram-se diversas formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais associadas às intervenções antropogênicas (ravinas, voçorocas, cortes de taludes, escavações, depósitos, tecnogênicos como assoreamentos, aterros, “bota-foras”, ou as consideradas naturais, como cicatrizes erosivas, bancos de deposição fluvial, dentre outros). Considerando as propriedades dessas feições na geomorfologia, bem como o regime climático da área de estudo e as características pedológicas, entende-se que, no tocante à morfodinâmica, existem perigos associados aos movimentos de massa, considerando os padrões de dissecação e amplitude do relevo, como também as declividades que ultrapassam os 30%, o que pode agravar o assoreamento do reservatório, comprometendo o tempo de vida útil da barragem.

Em agosto de 2017, na área da ponte de acesso à barragem de Serro Azul, no trecho à montante da ponte, constatou-se que o rio apresentava considerável eutrofização, desde o paredão até a referida ponte, só sendo possível visualizar o espelho d'água após a ponte (Figura 38).

Figura 38 – Trecho do rio Una, à jusante da barragem Serro Azul, abaixo da ponte de acesso com evidências de sedimentação na sua margem direita



Foto: o autor (dez. 2017).

Quanto às APPs (Áreas de Preservação Permanente), o trecho mostra uma vegetação bem preservada, densa em alguns trechos, porém com acúmulo de sedimentos no pilar da ponte, na margem direita. Cabe frisar a importância da presença de detritos lenhosos (troncos, galhos, folhas, raízes etc.), que tenham caído nas margens ou dentro dos canais fluviais, pois podem influenciar nos processos fluviais e na morfologia, gerando desvio do fluxo e o aumento da velocidade local. Tal mudança no fluxo poderá resultar numa mudança dos locais de erosão nas margens ou no próprio leito, podendo contribuir também para a formação e/ou aumento de depressões, soleiras ou barras. Binda e Lima (2008, p. 61) destacam que “[...] pouco tem sido feito no sentido de reconhecer a função da vegetação ripária sobre os processos geomorfológicos fluviais”, sendo escassos os trabalhos na literatura geomorfológica em língua portuguesa, carecendo tais estudos de contextualização nos ambientes tropicais e subtropicais.

No tocante ao uso dos terrenos imediatamente à jusante, segundo os técnicos da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, as áreas foram desapropriadas, estão sem uso e encontram-se delimitadas por cercas. No entanto, foi possível constatar a existência, na margem direita do rio Una, logo após a ponte de acesso a barragem, de uma extração ilegal de areia (Figura 39). Conforme medições realizadas na cava de maior profundidade, ela apresenta 80

centímetros de profundidade e uma largura de 3,10m. No entanto, segundo relatos da equipe de segurança da barragem, a área não é mais explorada.

Figura 39 – Trecho da margem direita do rio Una, à jusante da barragem Serro Azul, após a ponte de acesso com evidências de extração ilegal de areia



Fonte: o autor (dez. 2017).

Por outro lado, nenhum tipo de intervenção visando à recuperação da área degradada ou isolamento para o acesso de pessoas foi implementada, resultando numa área potencial para que ocorram processos erosivos e o consequente carreamento de sedimentos para o leito do rio, contribuindo para o assoreamento dele.

À jusante da ponte, o rio se apresenta bem menos eutrofizado, até o primeiro meandro (de acordo com o alcance visual no nível do terreno). A vegetação das APPs encontra-se menos preservada e menos densa, com um espelho d'água mais largo.

No tocante aos processos da dinâmica superficial, o levantamento de drone permitiu registrar alguns trechos das margens do reservatório sendo afetados por movimentos de massa e processos erosivos, a exemplo de ravinas e voçorocas (Figura 40).

Figura 40 – Evidências de ravinamentos e um escorregamento na encosta localizada na margem esquerda do reservatório próximo ao barramento



Fonte: o autor (dez./2017).

Na margem direita, ravinas e voçorocas estão ocorrendo com diferentes graus de evolução (Figuras 41 e 42). O levantamento também identificou e permitiu a análise das áreas em processo de erosão e/ou propícias à instalação de fatores deflagradores dos processos erosivos na barragem, por meio das características do relevo e das propriedades físicas do solo.

Figura 41 – Uma visão geral (com a barragem ao fundo) demonstra a existência de diversas áreas com solo exposto, sendo um facilitador para a ocorrência dos processos erosivos



Fonte: o autor (dez./2017).

Figura 42 – Uma visão geral da margem direita do reservatório demonstra a existência de diversas áreas com solo exposto, sendo um facilitador para a ocorrência dos processos erosivos



Fonte: o autor (dez./2017).

Durante as visitas de campo, observou-se que o nível da água do reservatório não foi afetado por aberturas para maior vazão, porém, no campo realizado no dia 17 de abril de 2019, foi observada, *in loco*, uma diminuição considerável do nível, tendo sido obtida a informação, junto aos técnicos da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) presentes na barragem, de que nos dias 15 e 16 de fevereiro foi autorizada a abertura das válvulas dispersoras visando aumentar a capacidade de acúmulo da barragem nos meses mais chuvosos. Tal procedimento gerou uma considerável diminuição do nível d'água do reservatório, conforme demonstrado nas fotos das Figuras 43, 44 e 45.

Azevedo e Rubio (2018) apontam as condições de operação do reservatório como um dos fatores que potencializam a erosão das margens através da variação do nível operacional dos reservatórios. E enfatizam a possibilidade da ocorrência de diferentes processos erosivos decorrentes da relação entre as características geomorfológicas das margens e as condições operacionais. Para tanto, citam dois tipos principais de sistemas de operação de reservatório: a fio d'água e de acumulação. A barragem Serro Azul se enquadra nesse segundo tipo. A barragem, antes da abertura das válvulas, estava com 44,6% de sua capacidade total, correspondendo a 136 milhões de metros cúbicos. De acordo com a APAC, projeta-se uma redução de 10 metros do nível do reservatório e um aumento de 50cm do rio Una por conta da nova vazão, porém estando dentro da cota de segurança. Caracteriza-se como uma medida

técnica e preventiva, sendo justificada devido ao grande volume de chuvas que foi registrado na região nos últimos dias que antecederam a abertura.

Figura 43 – As duas imagens retratam o mesmo local da barragem de Serro Azul, no mês de abril (a foto da esquerda em 2018 e a da direita em 2019)



Fotos: o autor.

Como forma de demonstrar tais variações, a foto (a) foi tirada em abril de 2018, considerado como o início do período chuvoso na região. A outra foto foi registrada em abril de 2019, porém transcorridos dois meses da abertura das comportas da barragem para a liberação da água. A seta nas duas fotos demonstra um ponto de referência que permite comparar a diminuição do nível da água nessa área do reservatório. A foto (a) demonstra uma saturação do pé do talude da margem diante da elevação induzida do nível d'água do reservatório, podendo, em paralelo, ter gerado a elevação do lençol freático nessa área. Não sendo possível afirmar se tratar de um banco de assoreamento, mas um depósito tecnogênico oriundo das obras da barragem.

Nas Figuras 44 e 45 são evidenciados outros trechos do reservatório visando demonstrar os efeitos da diminuição do nível d'água. Na primeira foto, da Figura 44, registrada em agosto de 2018, e a outra registrada em abril de 2019, por meio da seta vermelha, indica-se a presença de um matacão, além de toda uma faixa de terra sem vegetação e bancos de assoreamento ao longo dessa margem, o que não se verifica na primeira imagem.

Figura 44 – Imagens retratam a área junto ao paredão da barragem, sendo evidenciada a diferença no nível d'água na imagem (a) em relação à imagem (b)



Fonte: o autor (ago. 2018 e abr. 2019).

Azevedo e Rubio (2018) compreendem que as condições de operação do reservatório, especialmente a variação do nível operacional dos reservatórios, é um fator potencializador para a erosão das suas margens. Logo, entendem que “[...] diferentes processos erosivos atuam, dependendo da relação entre as características geomorfológicas das margens e das condições operacionais” (AZEVEDO; RUBIO, 2018, p. 256).

Figura 45 – Visão do reservatório de Serro Azul, a partir da barragem auxiliar, mostrando um nível d'água mais baixo



Fonte: o autor (abr./2019).

Sendo assim, com essa compreensão, faz-se necessário investigar os materiais que recobrem o relevo na área e como reagem diante da dinâmica fluvial e climática. Para isso, foram realizadas coletas de amostras de solo e análise granulométrica em diversos trechos da barragem de Serro Azul.

4.2.4 Coleta das amostras de solo e análise laboratorial

Na barragem Serro azul, diante da conclusão da obra e do enchimento do reservatório, optou-se pela coleta de amostras de solo nas margens do reservatório e nas margens do rio Una, no trecho a jusante da barragem (Quadro 31). No total de nove amostras, cinco foram coletadas no reservatório, sendo que as amostras na margem direita foram selecionadas a partir das duas voçorocas³⁷ utilizadas para o monitoramento, além de mais quatro coletas no trecho a jusante.

Quadro 31 – Códigos das amostras da barragem de Serro Azul que foram analisadas no laboratório.

Nº	Nome da Amostra	Código da amostra
1	MARGEM ESQUERDA - JUSANTE - (ANTES DA PONTE)	1MEAP
2	MARGEM DIREITA - JUSANTE - (ANTES DA PONTE)	2MDAP
3	MARGEM ESQUERDA - JUSANTE - (PÓS PONTE)	3MEPP
4	MARGEM DIREITA - JUSANTE - (PÓS PONTE)	4MDPP
5	MARGEM DIREITA - RESERVATÓRIO - VOÇOROCA 02	5MDV2
6	VOÇOROCA 01 - TOPO	6V1T
7	VOÇOROCA 01 - (MEIA ENCOSTA)	7V1ME
8	MARGEM ESQUERDA (RESERVATÓRIO 1)	8MER1
9	MARGEM ESQUERDA (RESERVATÓRIO 2)	9MER2

Fonte: o autor (2019).

Conforme demonstrado na Tabela 2, os resultados obtidos da análise granulométrica das amostras de solo coletadas em Serro Azul demonstraram o predomínio das frações silte e areia, sendo a primeira predominante em seis amostras (4, 5, 6, 7, 8 e 9), enquanto que a areia predominou nas amostras 1, 2 e 3.

³⁷ Diante da grande profundidade da voçoroca 01, optou-se pela obtenção de duas amostras: topo e meia encosta (6V1T e 7V1ME).

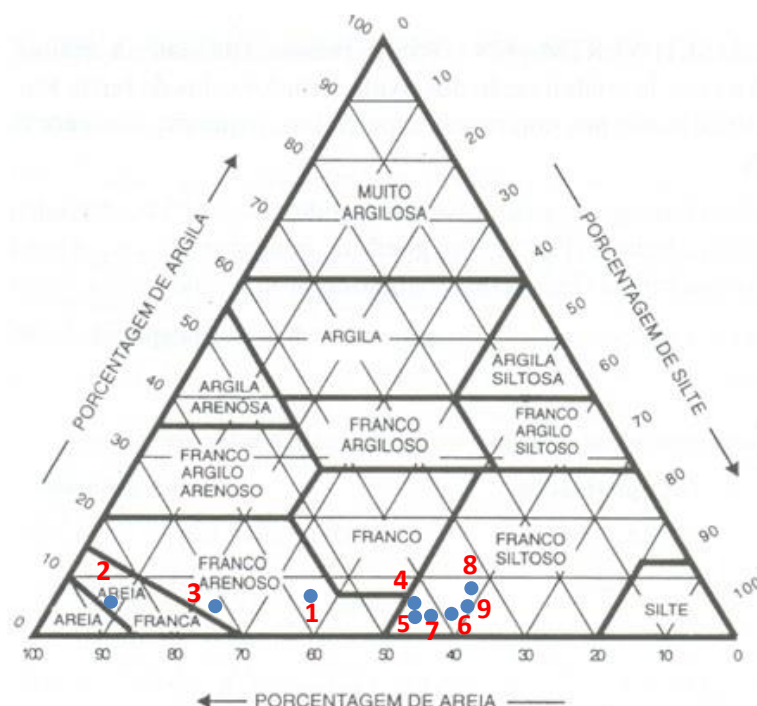
Tabela 2 – Resultados da análise granulométrica das amostras de solo coletadas na barragem de Serro Azul

Código da amostra	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,15mm	0,125mm	0,063mm	0,038mm	Total (Peneiramento)	Silte	Argila	Total da amostra (g)	Areia Fina + Silte (gramas)
1MEAP	0,069	0,487	3,044	9,069	12,254	4,961	19,012	9,411	58,307	37,343	4,35	100	92,03 g
2MDAP	19,476	9,242	17,625	20,612	9,978	2,125	5,255	2,128	86,441	9,464	4,095	100	49,53 g
3MEPP	0,6	0,066	0,602	7,262	15,462	7,138	30,056	9,801	70,987	24,593	4,42	100	94,29 g
4MDPP	2,64	4,31	6,908	10,194	7,965	2,076	5,979	2,373	42,445	51,585	5,97	100	80,14 g
5MDV2	1,65	5,646	7,078	8,384	5,751	1,691	7,052	5,326	42,578	53,542	3,88	100	81,73 g
6V1T	1,344	3,93	5,754	9,607	6,106	1,658	5,828	4,986	39,213	56,972	3,815	100	85,12 g
7V1ME	4,637	7,354	6,467	7,474	5,138	1,596	6,548	4,41	43,624	52,421	3,955	100	77,56 g
8MER1	0,13	0,593	3,462	9,938	7,167	1,972	6,89	2,465	32,617	58,118	9,265	100	86,52 g
9MER2	0,741	1,747	6,748	9,207	5,574	1,813	6,741	3,418	35,989	59,451	4,56	100	86,18 g

Fonte: o autor (2019).

Assim como foi feito para a análise granulométrica da barragem de Igarapeba, procedeu-se a inserção de uma coluna com valores da soma das frações areia fina e silte, adaptando a classificação granulométrica quanto ao diâmetro das partículas apresentada por Lepsch (2011). Das nove amostras analisadas, apenas uma (amostra 2MDAP) apresentou um valor baixo, tendo as demais amostras superado os 77% das frações silte e areia fina em relação ao total das demais frações.

Figura 46 - Diagrama triangular detalhado para determinação das classes texturais das amostras de solo da barragem de Serro Azul.



Fonte: EMBRAPA (2006).

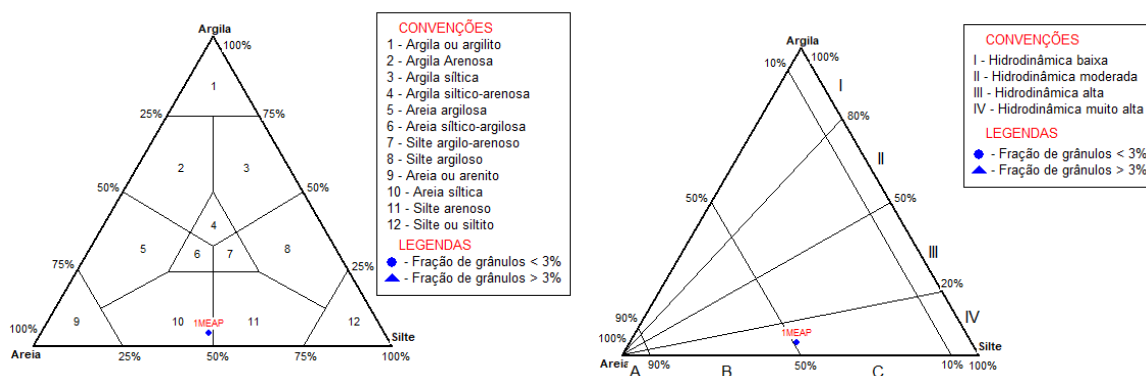
Os resultados da tabela 2 foram enquadrados no diagrama triangular detalhado para determinação das classes texturais da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) (Figura 46).

O enquadramento no diagrama indica que seis amostras foram classificadas na classe textural “franco siltoso” (4, 5, 6, 7, 8 e 9), enquanto que duas amostras foram classificadas como “franco arenoso” (1 e 3) e uma na classe “areia franca” (2). Correlacionando à distribuição espacial dos pontos de coleta, constata-se que três amostras (de um total de quatro) a jusante foram enquadradas fora da classe “franco siltoso”, que predominou em todos os pontos de coleta (cinco) nas margens do reservatório. Logo, tais classes predominantes, associadas aos outros aspectos do meio físico, resultam em preocupação com relação à suscetibilidade de ocorrência dos processos erosivos na área.

No tocante à análise da correlação entre a granulometria obtida e a influência exercida nas propriedades e comportamentos do solo (conforme explicado no item sobre a barragem de Igarapeba), considerando as influências destacadas por Brady e Weil (2013) – “suscetibilidade à erosão eólica”, “suscetibilidade à compactação”, “impermeabilização de barragens”, “potencial de expansão/contração”, “taxa de drenagem” –, tendo a maior parte das amostras sido classificadas como silte, a classificação das influências indicadas para a barragem de Igarapeba, se aplicariam à realidade das amostras analisadas da barragem Serro Azul.

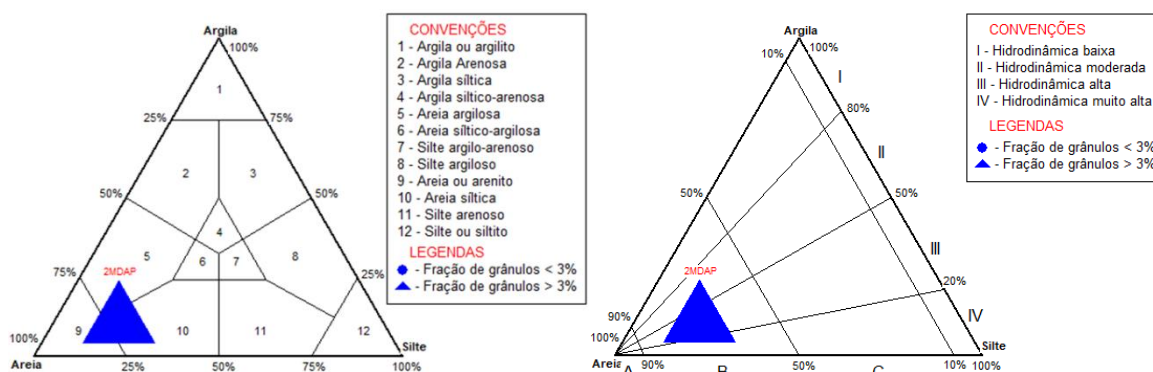
Nos diagramas de Shepard e Perjup, as nove amostras apresentaram resultados parecidos. A amostra 1 foi classificada como “areia siltica” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 47), enquanto que a assimetria foi classificada como “positiva” e a curtose como “muito platicúrtica”.

Figura 47 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 1MEAP.



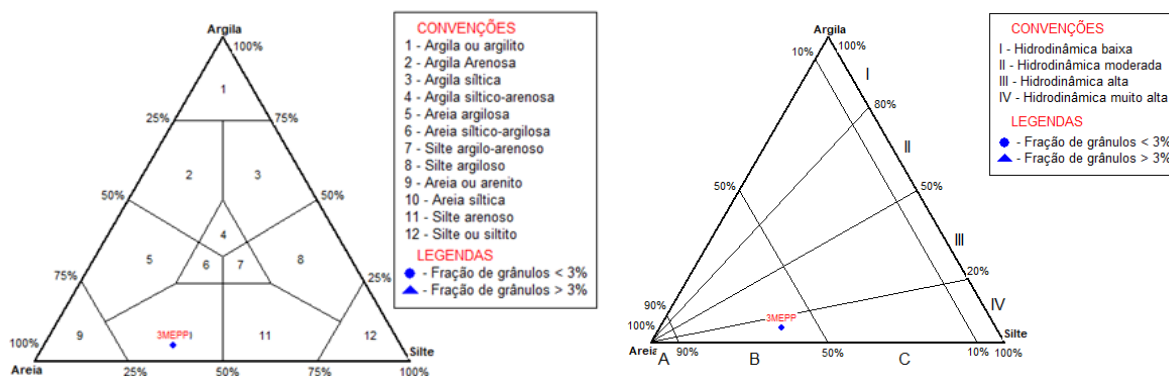
A amostra 2 foi classificada como “areia siltica” e uma “hidrodinâmica alta”, destacando-se na fração de grânulos, que atingiu 19,48% da amostra analisada (Figura 48), além da assimetria classificada como “positiva” e a curtose como “leptocúrtica”.

Figura 48 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 2MDAP



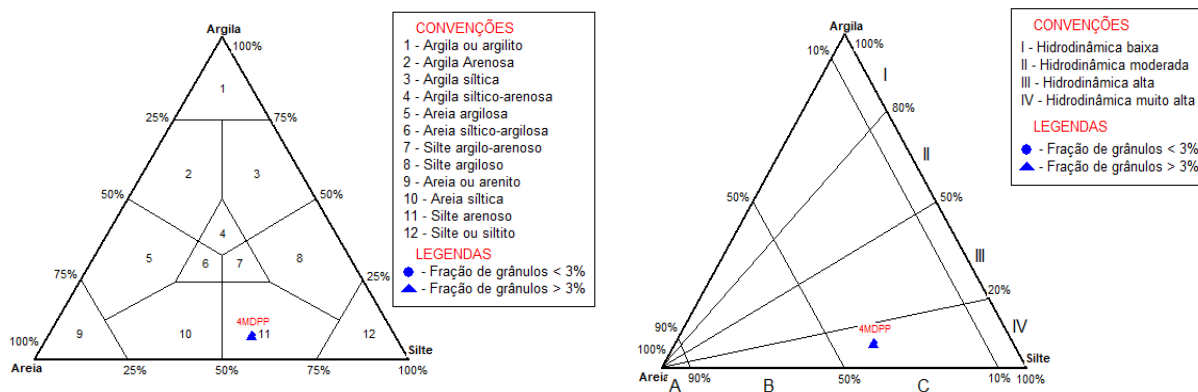
A amostra 3 apresentou a classificação de “areia siltica” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 49), tendo a assimetria sido classificada como “muito positiva” e a curtose como “muito platicúrtica”.

Figura 49 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 3MEPP



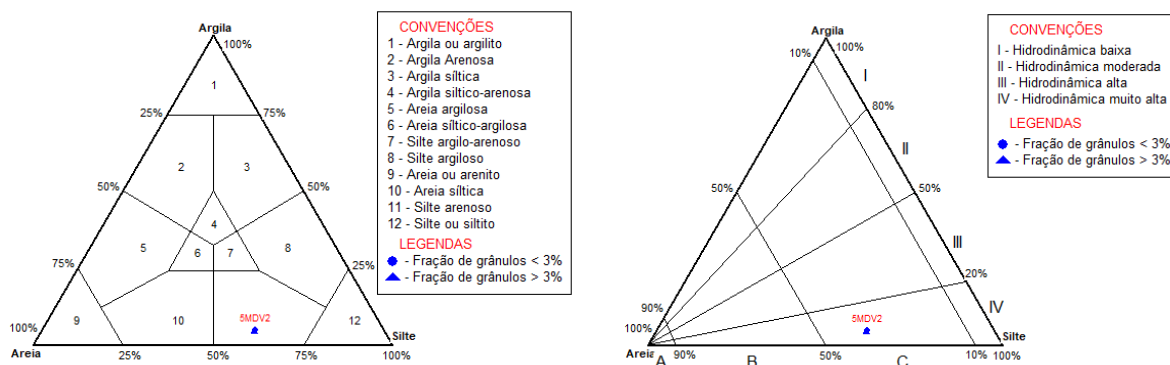
Na amostra 4, essa foi classificada em “silte arenoso” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 50), além da assimetria “muito negativa” e a curtose “platicúrtica”.

Figura 50 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 4MDPP



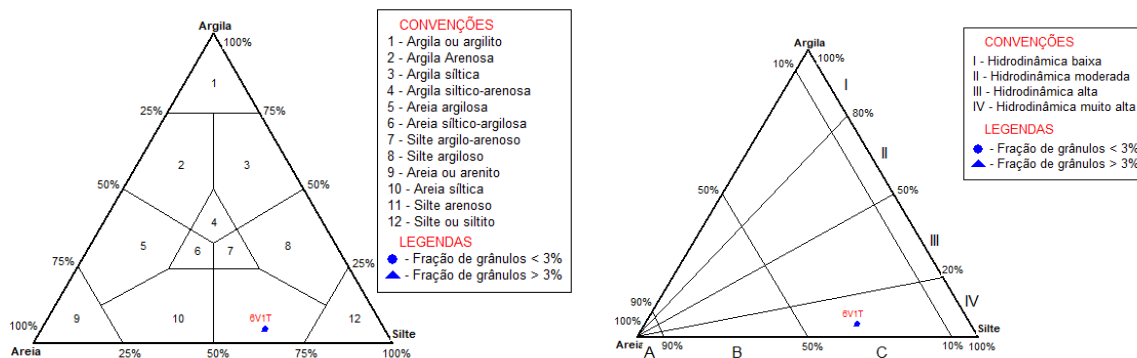
A amostra de número 5 obteve as mesmas classificações da amostra anterior (Figura 51), no entanto uma assimetria “muito negativa” e uma curtose “muito platicúrtica”.

Figura 51 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 5MDV2



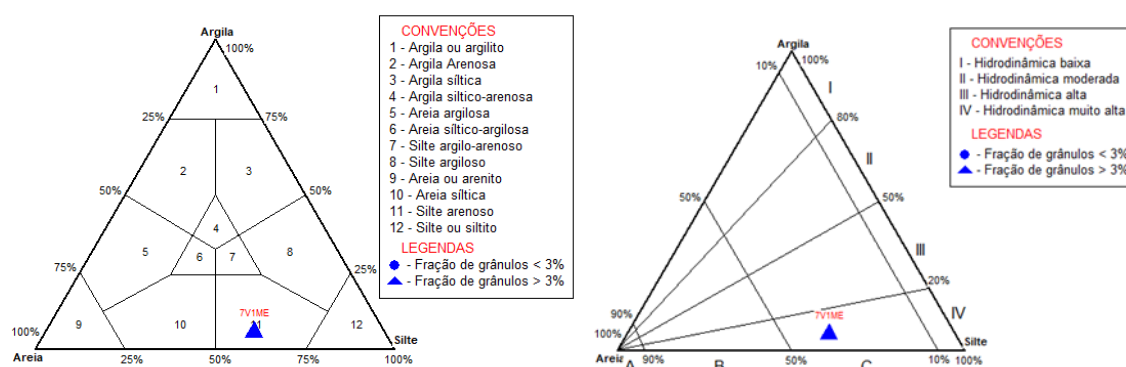
Na amostra 6, foram obtidos os mesmos resultados anteriormente descritos para os diagramas (Figura 52), enquanto que a assimetria “muito negativa” e a curtose “muito platicúrtica”.

Figura 52 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 6VIT



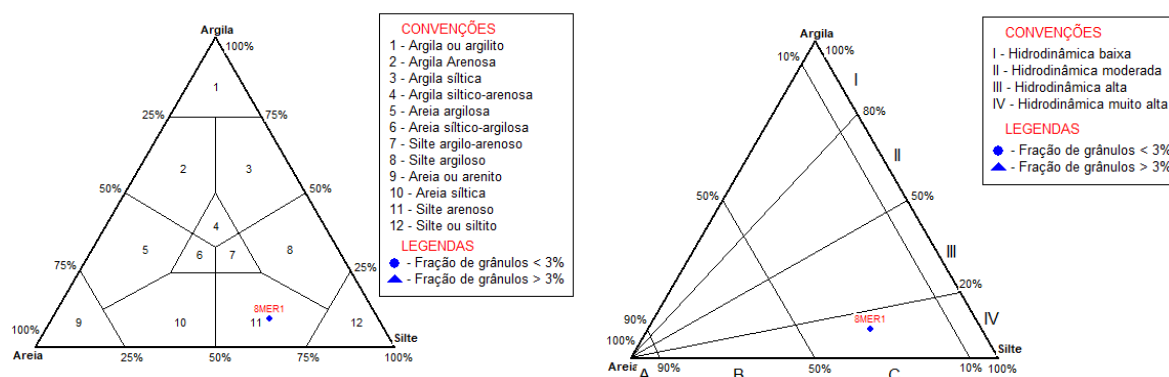
A amostra 7 manteve a mesma classificação das anteriores, contudo se evidenciou a presença de uma maior quantidade de grânulos – 4,6% (Figura 53), enquanto que a assimetria foi classificada como “muito negativa” e a curtose como “muito platycúrtica”.

Figura 53 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 7VIME



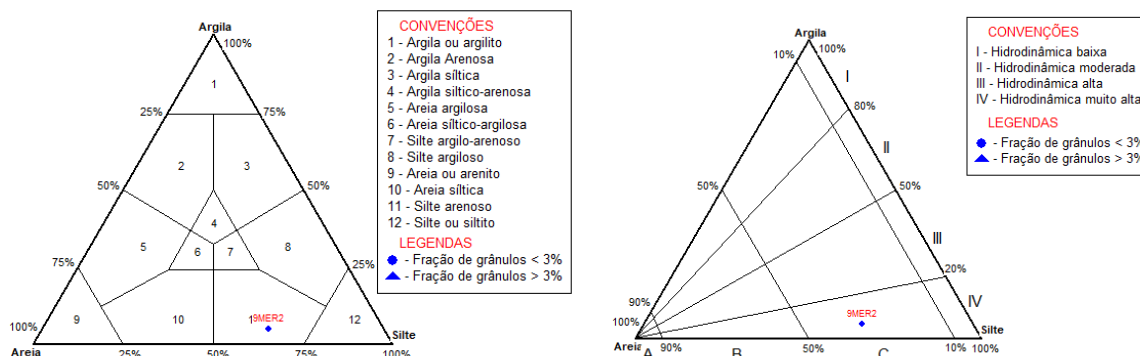
Na amostra 8, a fração de grânulos voltou a diminuir e a amostra foi classificada como “silte arenoso” e uma “hidrodinâmica muito alta” (Figura 54), com uma assimetria “muito negativa” e uma curtose “mesocúrtica”.

Figura 54 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 8MER1



Por fim, a amostra 9 também apresentou a mesma classificação da amostra anterior (Figura 55), com a mesma classificação da assimetria, porém com uma curtose “muito platycúrtica”.

Figura 55 – Aplicação dos diagramas de Shepard (1954) e Perjup (1988) nos solos da barragem Serro Azul – amostra 9MER2



Sendo assim, a assimetria se mostrou diferenciada nos locais de coleta a jusante, enquanto que todos os pontos de coleta nas margens do reservatório apresentaram uma classificação “muito negativa”. Já a curtose, em quatro amostras do total de cinco do reservatório, foi enquadrada como “muito platicúrtica”.

Poucas publicações puderam ser encontradas sobre os solos da barragem de Serro Azul. Foi o caso da publicação de Souza *et al.* (2017), que analisaram duas amostras de solo em áreas com ocorrência de processos erosivos em encostas na barragem Serro Azul (uma na margem direita e outra na margem esquerda do reservatório)³⁸, objetivando avaliar a sua granulometria, além de utilizarem as curvas de nível para gerar mapas topográficos e de declividade, e avaliar também áreas susceptíveis à erosão. Os autores destacaram a importância, na construção de barragens, do estudo das morfologias, da declividade e do comprimento das encostas, mas sem se esquecer do material que recobre tais feições – os solos, buscando a análise dos tipos e das suas propriedades físicas, que constituem um dos fatores na degradação e na recuperação das áreas com alto potencial erosivo.

Inicialmente, são apresentados os índices de limite de liquidez, índice de plasticidade e limite de plasticidade (Tabela 3). O limite de liquidez (baseado na NBR 7180/94) tem a finalidade de estudar a quantidade de umidade do solo, no qual ele muda do estado sólido para o estado plástico (perda da sua capacidade de fluir).

³⁸ “A primeira coleta na margem direita, localizada próxima à barragem auxiliar, nas coordenadas UTM SIRGAS 2000 (Fuso 25S), 205655 mE e 9049112 mN em uma cota aproximada de 172 m (Figura 2a). A segunda amostra está localizada próxima à área do enrocamento, na ombreira esquerda da barragem, nas coordenadas 205822 mE e 9049900 mN, em cota aproximada de 165 m” (SOUZA *et al.*, 2017, p.927).

Tabela 3 – Resultado dos ensaios de consistência, massa específica e granulometria dos solos

Local		CONSISTÊNCIA			MASSA ESP. REAL	GRANULOMETRIA					
Barragem de Serro Azul	Amostra	LL* (%)	LP** (%)	IP*** (%)	g/cm ³	% Argila	% Silte	% Areia Fina	% Areia Média	% Areia Grossa	% Pedreg.
Margem direita	1	57	39	18	2,531	56	8	25	9	2	0
Margem esquerda	2	46	28	18	2,540	47	7	37	9	0	0

LL = Limite de Liquidez LP = Limite de Plasticidade IP = Índice de plasticidade.

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Souza *et al.* (2017) identificaram a presença de solo no estado plástico e com baixa capacidade de fluidez. Na amostra 1, é possível observar o predomínio de material argiloso em quantidade superior ao que foi encontrado na amostra 2.

Quanto ao Limite de Plasticidade, considerando que ele compreende valores que vão de 0 a 100 (ou mais), a maioria dos solos apresenta valores abaixo de 40. Sendo assim, os limites das duas amostras estão dentro do valor aceitável.

Já o Índice de Plasticidade (IP), resultante da diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP), representa a massa de uma amostra como a quantidade máxima de água que lhe pode ser adicionada, a partir de seu Limite de Plasticidade, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica. As duas amostras apresentaram 18% de IP.

Por fim, daquilo que se apresenta na Tabela 3, a granulometria demonstra a ausência de pedregulhos nas duas amostras e o predomínio de argila (56% na amostra 1 e 47% na amostra 2), além de 8% e 7% de silte, 25% e 37% de areia fina e 9% de areia média para as duas amostras. Sendo assim, os dados demonstraram a existência de solos argilosos nos pontos de coleta de Souza *et al.* (2017), especialmente na margem direita, o que predispõe ao risco de erosão, decorrente das características da argila (baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água) e do relevo, que apresenta feições bastante íngremes.

4.2.5 Monitoramento de voçorocas

Os processos erosivos constituem um dos principais problemas enfrentados durante a construção, mas, principalmente, durante a vida útil de uma barragem, conforme destacam Azevedo e Rubio (2018, p. 264):

Nos últimos anos tem aumentado a preocupação com erosões marginais em reservatórios. Esta situação se reflete numa significativa melhoria dos

cadastros dos processos erosivos, ao mesmo tempo que aumentam os casos onde as concessionárias são obrigadas a atuar, obrigando-as a priorizar ações sobre os processos erosivos de maiores dimensões ou onde há maior pressão social.

Sendo assim, foi realizado o monitoramento de duas voçorocas na margem direita do reservatório da barragem Serro Azul. A escolha dessa margem ocorreu devido à evidência de processos erosivos, além da dinâmica de tais processos, dentre outros fatores, a exemplo da elevação, da declividade e da suscetibilidade (conforme os mapas apresentados nas Figuras 60 a 63), como também pela influência das oscilações no nível d'água do reservatório ao longo do ano. No tocante à viabilidade da execução, essa foi possível devido às condições de vigilância da área e de acesso de pessoas, diminuindo a possibilidade da retirada das estacas e/ou da descaracterização da voçoroca por ações humanas. Sendo assim, a tabela 4 demonstra os dados referentes ao monitoramento da voçoroca 01.

Tabela 4 – Dados do monitoramento de voçoroca na margem direita da barragem Serro Azul

VOÇOROCA 01 - Barragem: Serro Azul (Município: Palmares – PE)				
Coordenadas: 8° 35' 37,5" S 35° 40' 29,4" W		Início do monitoramento: 26/04/2018 (09:30h)	Comprimento = 15,4 m	Distância das estacas para a borda: 10 metros
LARGURA	PROFUNDIDADE	Campo: 23/08/2018	Campo: 17/04/2019	Campo: 31/10/2019
Largura (base) = 10,3 m	P1 (Topo) = 4,6 m	P1Direita – 8,50 metros P2Direita – 10 metros	P1Direita – 8,50 metros P2Direita – 9,57 metros	P1Direita – 7,21 metros P2Direita – 9,57 metros
Largura (meio 1) = 8,9 m	P2 = 5,5 m	P3Direita – 9,68 metros	P3Direita – 9,68 metros	P3Direita – 9,36 metros
Largura (meio 2) = 10,29 m	P3 = 6,2 m	P1Esquerda – 10 metros P2Esquerda – 9,16 metros	P1Esquerda – estaca saiu do lugar P2Esquerda – 8,90 metros	P1Esquerda – estaca saiu do lugar no campo anterior P2Esquerda – estaca saiu do lugar
Largura (topo) = 10,25 m	P4 = 6,5m	P3Esquerda – 10 metros	P3Esquerda – 10 metros	P3Esquerda – 10 metros
	P5 6,6 m (Base) = 6,6m	Topo 1 – 9,66 metros Topo 2 – 9,22 metros	Topo 1 – 8,55 metros Topo 2 – 8,73 metros	Topo 1 – 3,03 metros Topo 2 – 3,05 metros

Fonte: o autor (2019).

Os dados demonstram alterações consideráveis nas estacas do lado direito da voçoroca, especialmente nos pontos P1 e P3, diante do final do período chuvoso. No entanto, as medições no mês de abril demonstraram uma certa estabilização desses dois pontos, verificando-se uma perda da borda no ponto P2. Nas estacas do lado esquerdo, elas não sofreram alterações, exceto

a estaca P2, o que também se verificou nas medições no mês de abril de 2019. Por fim, as estacas do topo vêm apresentando uma maior dinâmica, verificando-se a perda da borda nos dois pontos e nos dois períodos de medição. O “Topo 1” apresentou uma perda de 1,11m de agosto a abril, enquanto que o “Topo 2” perdeu 1,27m nas duas medições (Figura 56).

Já na medição de outubro de 2019, o “Topo 1” perdeu 5,52 m e o “Topo 2” diminuiu 5,68m. Tal dinâmica, provavelmente, fez refletir na diminuição da estaca do P1Direita, que registrou 7,21m em outubro, enquanto que em abril apresentou 8,50m. Por fim, os pontos do lado esquerdo, no monitoramento de outubro, uma outra estaca saiu do lugar (P2E), evidenciando um intenso processo de erosão laminar, sendo bem evidenciado no campo pela considerável diminuição da vegetação e a exposição do material pedológico. Vale frisar que as amostras 6V1T (topo) e 7V1ME (meia encosta) foram coletadas nessa voçoroca.

Figura 56 – Destaque da declividade da voçoroca 1 na margem direita do reservatório; indícios de deposição dos sedimentos oriundos da voçoroca e o consequente assoreamento do lago da barragem Serro Azul



Fonte: o autor (ago. 2018).



Fonte: o autor (out. 2019).



Fonte: o autor (ago. 2018).

As fotos demonstram a possibilidade de tais voçorocas deixarem a situação de desconectadas e evoluírem para um estágio de voçorocas integradas, caracterizadas pela ligação direta com o reservatório.

Figura 57 – Estaqueamento da voçoroca 1 na margem direita do reservatório da barragem Serro Azul, Palmares-PE



Fonte: o autor (foto esquerda – abr. 2018; foto direita – ago. 2018).

A outra voçoroca monitorada também se encontra na margem direita (Tabela 5).

Tabela 5 – Dados do monitoramento de voçoroca na margem direita da barragem Serro Azul

VOÇOROCA 02 - Barragem Serro Azul (Município: Palmares – PE)				
Início do monitoramento: 26/04/2018 (14:00h)	Comprimento = 11 metros	Distância das estacas para a borda: 7 metros	Coordenadas: S 08° 35.634' / W 35° 40.529'	
LARGURA	PROFUNDIDADE	Campo: 23/08/2018	Campo: 17/04/2019	Campo: 31/10/2019
P1 (Topo): 4,27 m	P1 (topo): 90 cm	P1Direita – 6,35 metros P2Direita – 6,35 metros	P1Direita – 6,35 metros P2Direita – 6,35 metros	P1Direita – 6,35 metros P2Direita – 6,35 metros
P2: 1,54 m	P2: 65 cm	P3Direita – 7 metros	P3Direita – 7 metros	P3Direita – 7 metros
P3: 1,20 m	P3: 76 cm	P1Esquerda – 7 metros P2Esquerda – 6,89 metros	P1Esquerda – 7 metros P2Esquerda – 6,89 metros	P1Esquerda – 7 metros P2Esquerda – 6,89 metros
P4: 1,54 m	P4: 48 cm	P3Esquerda – 6,95 metros	P3Esquerda – 6,91 metros	P3Esquerda – 6,91 metros
P5: 60 cm	P5: 51 cm	Topo 1 – 7 metros Topo 2 – 7 metros	Topo 1 – 6,91 metros Topo 2 – 6,92 metros	Topo 1 – 6,91 metros Topo 2 – 6,82 metros
P6 (base): 50 cm	P6 (base): 22 cm			

Fonte: o autor (2019).

O que se observa é que o avanço da erosão na voçoroca 2 não se deu no mesmo ritmo da voçoroca 1, tendo, após 12 meses de início de monitoramento, avançado nos dois pontos do topo e no P2Esquerda, porém um avanço de poucos centímetros, chegando ao máximo de 8cm no Topo 2. Cabe destacar a menor profundidade dessa em relação à anterior, bem como a declividade menor do terreno (Figura 58). Enquanto na voçoroca 1, a profundidade vai de 4,4 a 6,6 metros, na voçoroca 2 a profundidade vai de 22 cm e não ultrapassou os 90 centímetros.

Figura 58 – Medições sendo realizadas para preparação do estaqueamento da voçoroca 2 na margem direita do reservatório da barragem Serro Azul, Palmares-PE



Fotos: o autor (abr./2018).

Figura 59 – Voçoroca estaqueada para o monitoramento

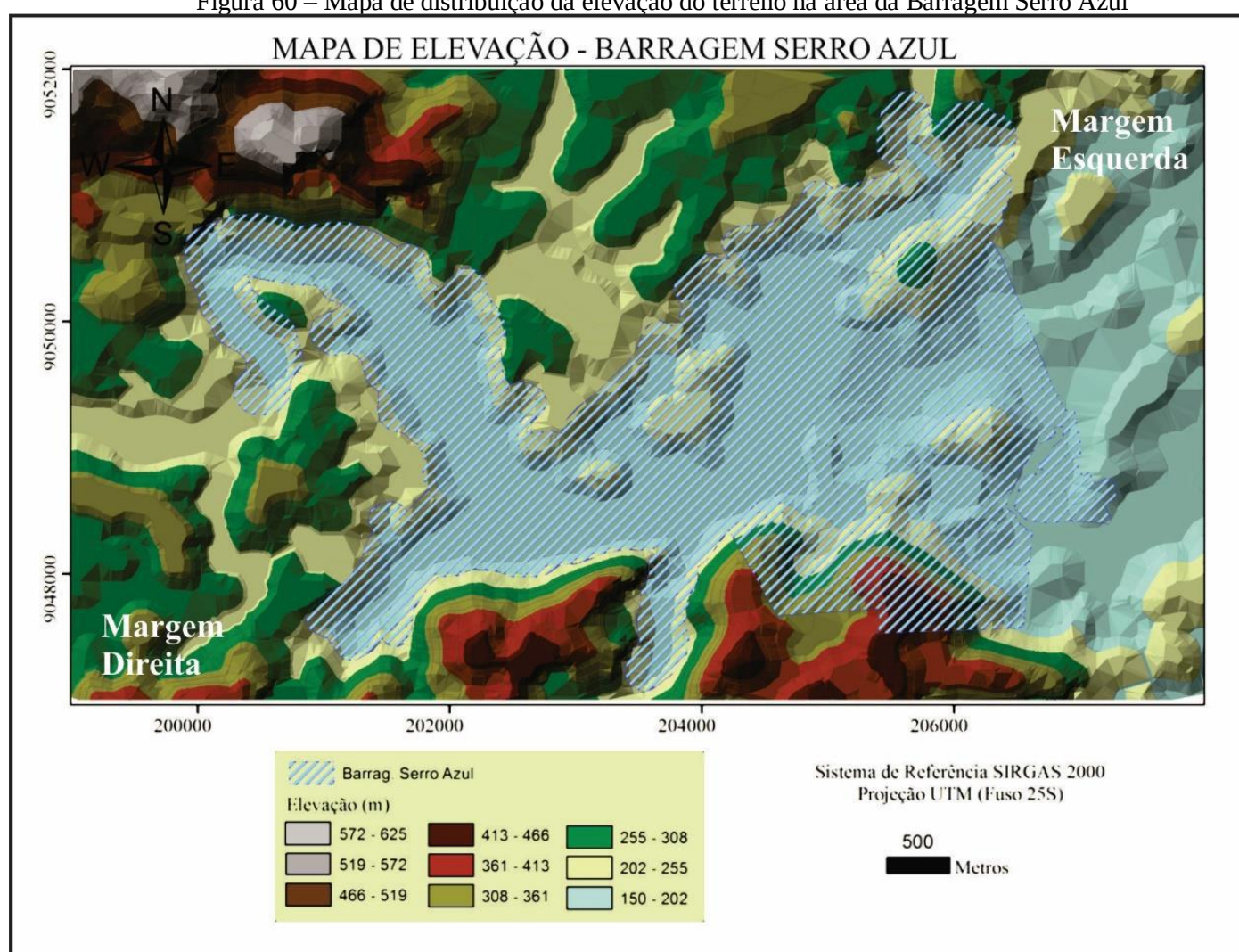


Fotos: o autor (abr. 2018).

O estudo de Souza *et al.* (2017) concluiu que as áreas susceptíveis à erosão estão situadas nos locais de maior grau de declividade (ao longo da margem direita e no final da

margem esquerda), bem como nas encostas próximas ao eixo, as quais estão propícias à instalação de processos erosivos e deslizamentos. Os autores apresentam um mapa de elevação da área, compreendendo o reservatório junto ao eixo barrável (Figura 60). Observa-se que a elevação do terreno vai de 150 a 625 metros de altitude. A partir da legenda, constata-se um relevo íngreme nas margens, especialmente na margem direita, incluindo as duas voçorocas monitoradas. Por fim, Souza *et al.* (2017) apontam o predomínio das cotas na área da barragem, compreendendo a faixa entre 150 e 202 m, o que confirma o mapa geomorfológico anteriormente apresentado.

Figura 60 – Mapa de distribuição da elevação do terreno na área da Barragem Serro Azul

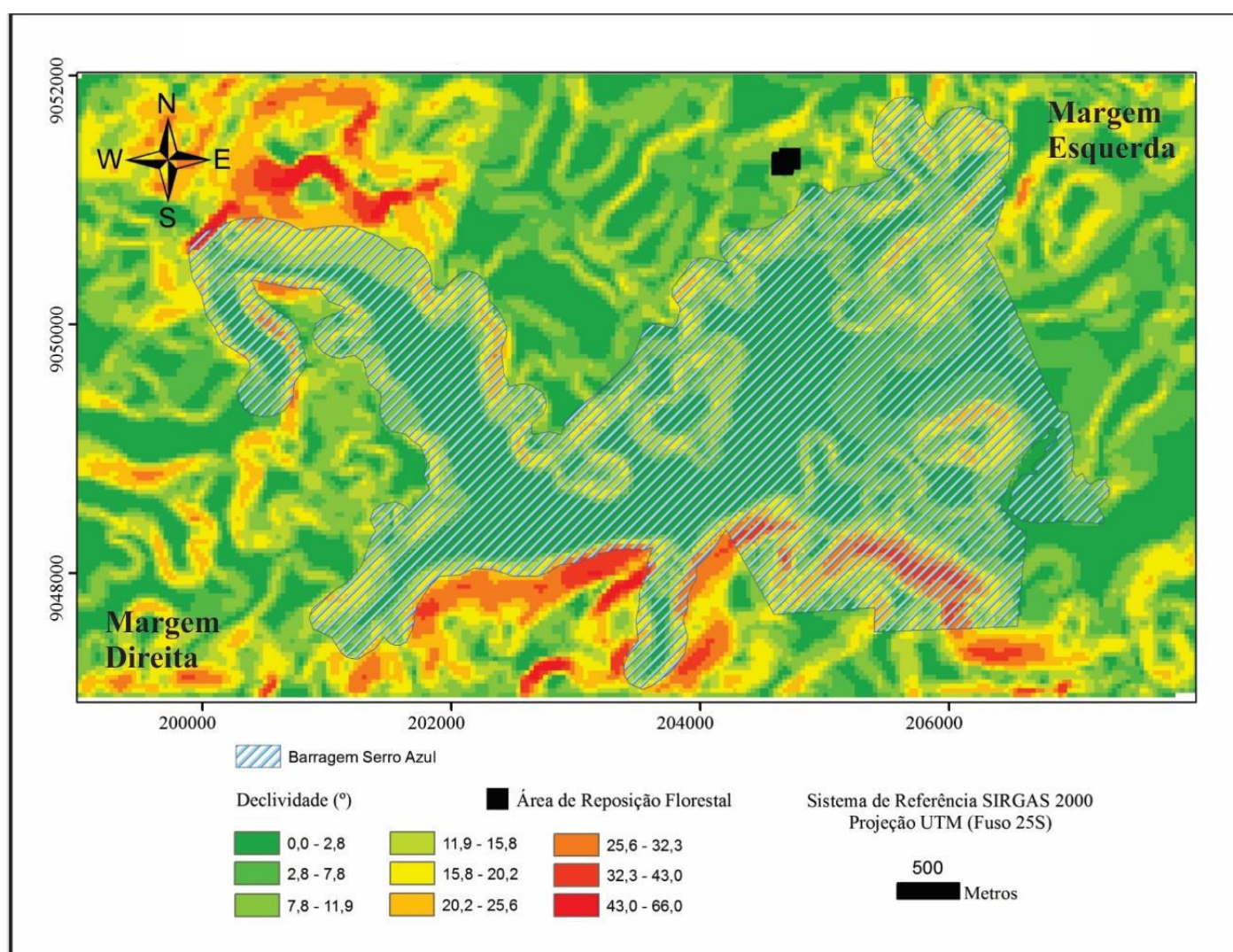


Fonte: Souza *et al.* (2017).

No tocante à declividade, que é parâmetro fundamental para identificar áreas suscetíveis à deflagração de processos erosivos, Souza *et al.* (2017), por meio do mapa de declividade

(Figura 61), identificaram que a declividade das encostas das margens do reservatório apresentou um grau de variação entre 0° a 66° , com o maior grau de declividade se concentrando na margem direita e no final da margem esquerda. Logo, ao se executar cortes em encostas para a construção de barragens, corre-se o risco, quando o corte atinge o solo de alteração, outros condicionantes, denominados de estruturas residuais da rocha (fraturas e demais descontinuidades), contribuirão para uma maior suscetibilidade aos escorregamentos nas encostas, principalmente, quando submetidas à ação das águas (GIRÃO *et al.*, 2007).

Figura 61 – Mapa de distribuição da declividade da barragem Serro Azul



Fonte: Souza *et al.* (2017).

Analisando o mapa de declividade, e confrontando com os dados de GPS obtidos no campo, constata-se que a voçoroca 1 estaria compreendida na faixa de declividade entre $32,3 - 43^{\circ}$, enquanto que a voçoroca 2 se enquadraria entre $20,2 - 25,6^{\circ}$. É possível correlacionar com

os resultados obtidos das análises granulométricas referentes às amostras das duas voçorocas (5MDV2, 6V1T e 7V1ME).

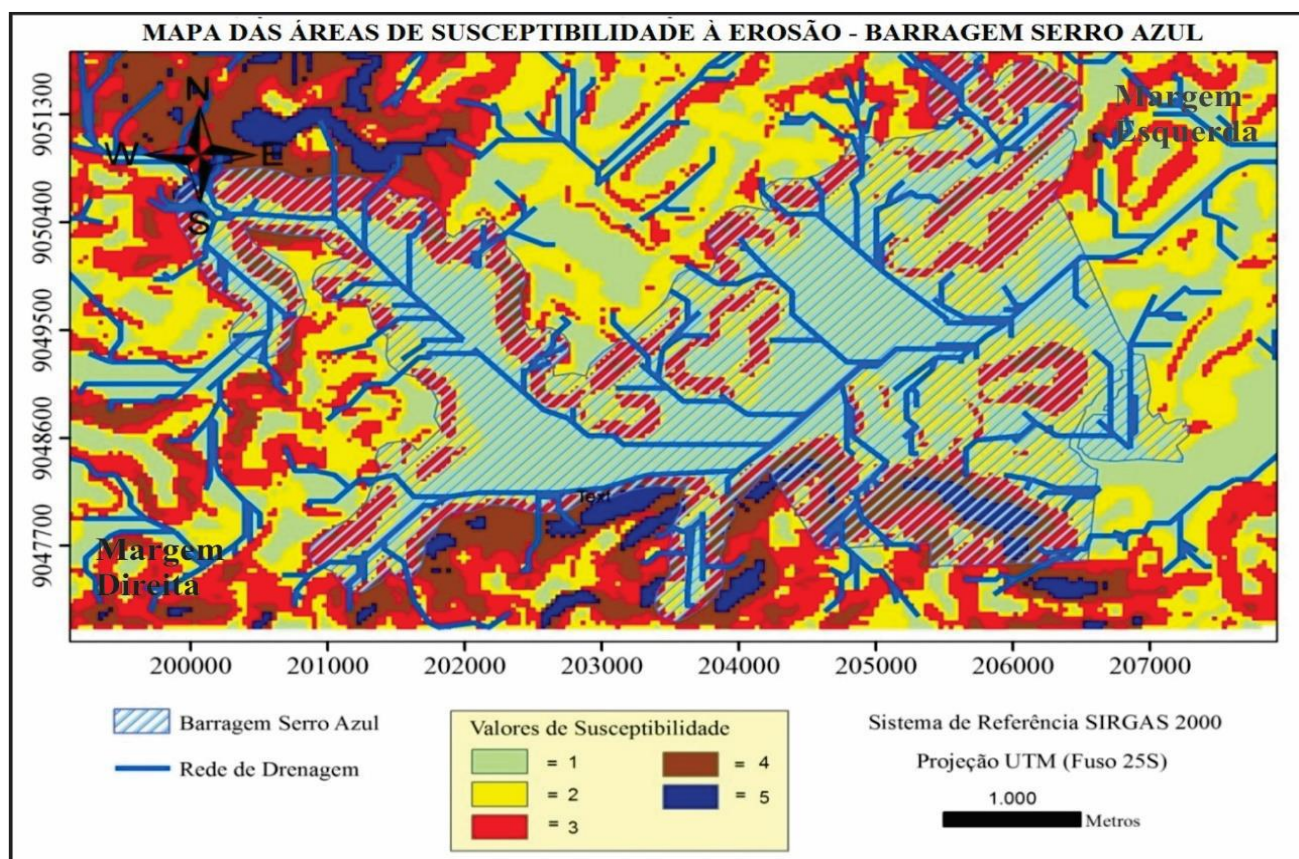
Figura 62 – Visão ortogonal demonstrando o relevo da área da barragem Serro Azul e o distrito de Serro Azul (destacado em vermelho) a jusante do barramento



Fonte: Google Earth.

Por fim, Souza *et al.* (2017) apresentam a espacialização das áreas suscetíveis à erosão na área do reservatório da barragem (Figura 63), que incorpora aspectos como declividade, elevação etc., associando as características dos materiais pedológicos, já que a presença de, por exemplo, silte e areia fina numa declividade baixa, mesmo assim, pode gerar erosão. Enquanto que, numa declividade maior, o terreno estiver recoberto por um material mais argiloso, a intensidade pode ser menor.

Figura 63 – Mapa das áreas de susceptibilidade à erosão da barragem Serro Azul



Fonte: Souza *et al.* (2017).

Novamente tomando os exemplos das duas voçorocas monitoradas, a voçoroca 1 estaria enquadrada no valor 5, de susceptibilidade à erosão, enquanto que a voçoroca 2 estaria no valor 4. Portanto, sendo mais um parâmetro que justifica a fragilidade das duas áreas, bem como a importância do monitoramento delas (e de outras que estão ocorrendo) ao longo da vida útil de barragem.

Logo, a partir do mapa, as áreas na faixa mais alta de susceptibilidade aos processos erosivos estão situadas na margem direita e no fim da margem esquerda, áreas que se caracterizam pela ocorrência das cabeceiras da rede de drenagem do reservatório. Diante do que foi encontrado, concorda-se com a explicação de Sales *et al.* (2017, p. 89):

O mapeamento das áreas dos entornos dos reservatórios e de suas áreas de influência, com demarcação dos processos erosivos existentes, bem como o acompanhamento durante a implantação e posterior a execução do empreendimento devem ser considerados nessas obras. Tratar um processo erosivo na fase de ravina de pequeno porte ou sulco é geralmente mais rápido e de menor custo. Já com a erosão no estágio de voçoroca, eliminar ou mesmo mitigar o problema é altamente custoso, complexo e muitas vezes inviável, além do enorme prejuízo gerado com o assoreamento reduzindo os volumes

de água armazenados nos reservatórios. As análises realizadas permitem ainda concluir que a gestão do reservatório e do seu entorno exerce papel de grande relevância na prevenção e mitigação dos processos erosivos.

Em outras realidades, as erosões acontecem, a exemplo de Rodrigues (2007), que estudou a influência de reservatórios hidrelétricos na alteração do nível de base (e da influência do uso e da ocupação inadequada do solo pela agricultura e pecuária) e a origem e evolução de voçorocas em canais de 1ª ordem, tendo analisado por meio de fotografias aéreas num intervalo de 38 anos, demonstrando o aumento acelerado de incisões erosivas nas cabeceiras de drenagem.

Dessa maneira, conhecer e acompanhar a realidade ambiental de uma barragem é fundamental, pois, como será visto no próximo capítulo, os impactos, as medidas mitigadoras e os programas de monitoramento guardam certa semelhança, na maior parte dos casos, quando se trata de reservatório de água para os diversos fins.

4.3 AUDITORIA GEOMORFOLÓGICA DE EIAs DE BARRAGENS EM OUTROS ESTADOS BRASILEIROS E DAS BARRAGENS DE IGARAPEBA E SERRO AZUL

Buscando conhecer outras realidades do ponto de vista geográfico, envolvendo diferentes estados brasileiros, além de optar por tipologias relacionadas às barragens de Igarapeba e Serro Azul, os EIAs de barragens em outros estados brasileiros passaram a ser analisados por meio da análise de conteúdo. Anifowose *et al.* (2016) salientam que a análise de conteúdo de amostras não probabilísticas de EIAs tem sustentado a pesquisa da AIA em todo o mundo. A adoção de tal instrumento permite orientar o trabalho, reduzir a subjetividade e favorecer a análise da qualidade do estudo (GUTIERRES *et al.*, 2017). No Quadro 32, constam as informações (número de identificação, ano do estudo, órgão ambiental licenciador, empresa elaboradora do EIA, nome do empreendimento, Unidade Federativa e finalidade do empreendimento) referentes às oito barragens selecionadas para a análise.

Quadro 32 – Dados gerais dos EIAs selecionados para a análise

Nº DE IDENTIFICAÇÃO DO ESTUDO	ANO	ÓRGÃO AMBIENTAL LICENCIADOR	EMPRESA ELABORADORA DO EIA	NOME DO EMPREENDIMENTO	UF	FINALIDADE
EIA01	2017	Instituto Ambiental do Paraná - IAP	Cia Ambiental	Pequena Central Hidrelétrica São Luís	PR	Geração de energia elétrica
EIA02	2016	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS	Ambientare Soluções Ambientais	Complexo Hidrelétrico Cupari Braço Oeste	PA	Geração de energia elétrica
EIA03	2015	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA	Sete Soluções e Tecnologia Ambiental	Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Santa Rosa II	GO	Geração de energia elétrica
EIA04	2015	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA	Sete Soluções e Tecnologia Ambiental	Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Cachoeira do Meia Ponte	GO	Geração de energia elétrica
EIA05	2014	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA (antiga FATMA)	IGUATEMI - Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda. KL – Serviços de Engenharia S.A.	Barragem de Contenção de Cheias no Rio Itajaí/Mirim a montante da cidade de Botuverá	SC	Controle de cheias

EIA06	2013	Superintendência de Administração do Meio Ambiente - SUDEMA	CEMAPPU	Barragem de Cupissura	PB	Abastecimento público/Contenção de cheias
EIA07	2013	Instituto Estadual do Ambiente - INEA	Ambiental Engenharia e Consultoria	Barragem do rio Guapi-Açu	RJ	Abastecimento público
EIA08	2011	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB	BIOESFERA – Engenharia e Gestão Ambiental	Barragem do Ribeirão Pirai	SP	Abastecimento público

Fonte: o autor (2019).

Geograficamente, do total, um EIA foi da região Norte (Pará), um da região Nordeste (Paraíba), dois da região Centro-Oeste (Goiás), dois da região Sudeste (Rio de Janeiro e São Paulo) e dois da região Sul (Paraná e Santa Catarina). Temporalmente, os EIAs se concentraram entre os anos de 2011 e 2017, tendo uma maior quantidade nos anos de 2013 e 2015.

A partir do que foi elencado no Quadro 32, bem como a análise feita diretamente nos EIAs, procedeu-se ao preenchimento do Quadro 33, que consiste numa matriz de análise técnico-documental para verificação de conteúdo e análise da abordagem geomorfológica dos EIAs (EIA01 A EIA08), de acordo com o atendimento mínimo as atividades técnicas elencadas no art.6º da Resolução CONAMA nº 01/86.

Quadro 33 – Matriz de análise técnico-documental para verificação de conteúdo e análise da abordagem geomorfológica dos EIAs (EIA01 A EIA08), de acordo com o atendimento mínimo as atividades técnicas elencadas no art. 6º da Resolução CONAMA nº 01/86

QUESITOS	SIM	NÃO	Obs.
1.O EIA declara expressamente e/ou demonstra por outros meios se houve levantamento de campo aplicado a geomorfologia?	01;02;03;04;05;07;08	06	
2.A geomorfologia do local do empreendimento foi abordada no EIA?	01;02;03;04;05;07;08	06	
3.A equipe fez uso de registros de fotografias terrestres, imagens de satélite e de drone, destacando a geomorfologia da área do empreendimento?	01;02;03;04;05;07	06; 08	
4.No EIA, foi identificado o uso de instrumento(s) de campo para aquisição de dados que subsidiem a análise geomorfológica?	01;03;04;07;08	02; 05; 06	
5.No EIA, foi identificada a realização de análise(s) de laboratório para subsidiar a análise geomorfológica?	03;04;07	01; 02; 05; 06; 08	
6.No EIA, consta(m) mapa(s) geomorfológico(s) de detalhe que permitam a compreensão dos processos geomorfológicos na área?	03; 06 (unidades); 07; 08	01; 02; 04; 05	
7.No levantamento e/ou uso de dados secundários pertinentes à geomorfologia, constam referências de autores e/ou publicações técnico-científicas da geomorfologia na “Bibliografia” do EIA?	01; 06; 07	02; 03; 04; 05; 08	
8.Em relação ao levantamento de dados secundários, consta(m) citação(ões) de publicações (trabalhos acadêmicos, artigos científicos, capítulos de livros, livros e outros) na “Bibliografia” do EIA, que tiveram como objeto de estudo áreas próximas ao local do empreendimento analisado pelo EIA?	01; 07; 08	02; 03; 04; 05; 06	
9.O item de “Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas” contemplou a geomorfologia? (Quantidade de impactos geomorfológicos; e em qual meio (físico/biológico/socioeconômico) foi enquadrado cada impacto?)	01;02;03;04;05;06;07;08		
10.Na atividade técnica de “Definição das Medidas Mitigadoras”, houve a proposição relacionadas à área da geomorfologia? (Quantidade de medidas mitigadoras relacionadas à geomorfologia; e em qual meio (físico/biológico/socioeconômico) foi enquadrada cada medida identificada?)	01;02;03;04;06;07;08	05	

11.Foram propostos “programas de monitoramento” para os impactos e medidas mitigadoras relacionados à área da geomorfologia? (Quantidade de programas relacionados à geomorfologia; e qual o meio relacionado para cada programa identificado; e em qual meio (físico/biológico/socioeconômico) foi enquadrado cada programa?)	01;02;03;04;06;07;08	05	
12.Nos “programas de monitoramento”, foram identificados indicadores voltados para a geomorfologia? (exemplos: volume do material erodido/quantidade de processos por área)	07	01;02;03;04;05;06;08	
13.Nos “programas de monitoramento”, foram indicados padrões de gestão (metas, periodicidade, responsabilidades)?	07	01;02;03;04;05;06;08	

Fonte: Adaptado de Gutierrez *et al.* (2017).

O preenchimento do quadro permite extrair algumas conclusões iniciais. Para a maioria dos estudos, foram confirmadas a realização do levantamento de campo, a análise da geomorfologia local e o registro fotográfico (exceto o EIA06 para os três quesitos e o EIA08 no tocante ao registro fotográfico). Isso confirma os estudos e pesquisas da área da geomorfologia que destacam a importância e a necessidade da atividade de campo como um dos procedimentos para a elaboração de um estudo ambiental efetivamente útil.

Por outro lado, o uso de instrumentos no campo aconteceu na maior parte dos EIAs, enquanto que a análise laboratorial primária³⁹, visando permitir um melhor entendimento dos processos geomorfológicos na área estudada, só foi identificada em três EIAs (03, 04 e 07). Possivelmente, necessita-se aperfeiçoar os Termos de Referência, que orientam a elaboração desses estudos, de forma a considerar a adoção de tais procedimentos, caso sejam necessários.

A cartografia geomorfológica se mostrou presente só em quatro estudos, correspondendo a 33,3%, número abaixo do que foi obtido por Gutierrez *et al.* (2017), mas que confirma a tendência da necessidade de inserção desse instrumento nos EIAs. Entende-se que, no licenciamento ambiental de muitos projetos de engenharia, a exemplo das barragens, o meio físico é um suporte para fins de localização e fundação, bem como representa um recurso a ser explorado. Sánchez (2013) critica as descrições setoriais do meio físico em detrimento de análises integradas. Sendo assim, explica que:

Por essa razão, os estudos sobre o meio físico podem (mas não deveriam) ser muito compartimentados, com seções descritivas estruturadas em torno de disciplinas ou áreas do conhecimento – Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrologia, Hidrogeologia, Meteorologia e outras -, porém, com pouca ou nenhuma integração. Nesses casos, não é rara a apresentação de mapas temáticos de escalas diferentes e com recortes territoriais variados, o que deveria ser evitado a todo custo (SÁNCHEZ, 2013, p. 259).

Assim, deve-se avaliar como a “área de estudo” e a “temporalidade dos estudos” podem ser voltados para a geomorfologia. E aí a importância da cartografia para o diagnóstico ambiental é indiscutível. Em sua publicação, Sánchez (2013, p. 261) apresenta um quadro intitulado “Mapas temáticos empregados para diagnósticos ambientais”. Na “Carta geomorfológica”, o autor destaca que “[...] formas do relevo: formas estruturais, erosivas, de modelado fluvial, de litorâneo, cársticas, de antrópico, processos erosivos” devem ser contempladas.

³⁹ A análise laboratorial secundária, caso tenha sido utilizada, deve ser registrada nos quesitos sobre o “levantamento e/ou uso de dados secundários”, especialmente daquele que o “[...] objeto de estudo áreas próximas ao local do empreendimento analisado pelo EIA”.

No tocante ao “levantamento de dados secundários”, que também constitui um dos procedimentos essenciais na elaboração de um EIA, apenas três estudos elencaram referências de publicações geomorfológicas na “Bibliografia” (EIAs 01, 06 e 07) e três estudos apresentaram referências de trabalhos geomorfológicos, que tiveram como objeto de estudo áreas próximas ou na região do empreendimento analisado (EIAs 01, 07 e 08). Tal panorama não se harmoniza com o entendimento de Sánchez (2013, p. 200), de que a “[...] pesquisa bibliográfica e consulta a trabalhos similares são prováveis primeiros passos de uma equipe encarregada de planejar ou elaborar um estudo de impacto ambiental”.

Com relação a inserção da geomorfologia na análise dos impactos ambientais, em 100% dos EIAs analisados foi identificada tal inserção, sendo detalhados no quadro 33. Já na definição e apresentação das medidas mitigadoras, relacionadas à área da geomorfologia, com exceção do EIA05, os demais apresentaram, pelo menos, uma medida mitigadora. Logo, sendo um percentual de destaque dos EIAs que contemplaram tal abordagem.

O mesmo aconteceu com a proposição de “Programas de Monitoramento”, pois só no EIA05 foi identificada a ausência da proposição. No entanto, quando se busca a identificação de “indicadores voltados à geomorfologia” e “padrões de gestão (metas, periodicidade, responsabilidades)” para os programas de monitoramento, o cenário é bem diferente, já que só o EIA07 atende a tais quesitos.

Na sequência, o Quadro 34 apresenta os impactos ambientais identificados e os programas de monitoramento previstos para cada estudo analisado, que guardam relação com a geomorfologia.

Quadro 34 – Descrição dos impactos identificados e dos programas de monitoramento de cada EIA analisado, que estão relacionados à geomorfologia.

Nº DE IDENTIFICAÇÃO DO ESTUDO	IMPACTOS IDENTIFICADOS	PROGRAMAS DE MONITORAMENTO
EIA01	1. Aceleração de processos erosivos e assoreamento. 2. Instabilidade de encostas e margens. 3. Alteração no transporte de sedimentos.	1. Monitoramento e Controle de Processos Erosivos; 2. Monitoramento e Controle de Estabilidade de taludes marginais; 3. Recuperação de áreas degradadas.
EIA02	1. Predisposição e/ou aceleração dos processos erosivos; 2. Risco de deslizamentos em áreas marginais aos reservatórios; 3. Assoreamento dos reservatórios; 4. Mudança da dinâmica de transporte de sedimentos do rio Cupari.	1. Programa de prevenção e controle de processos erosivos e de assoreamento; 2. Programa de Recuperação de áreas degradadas; 3. Programa de monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico e sedimentométrico.

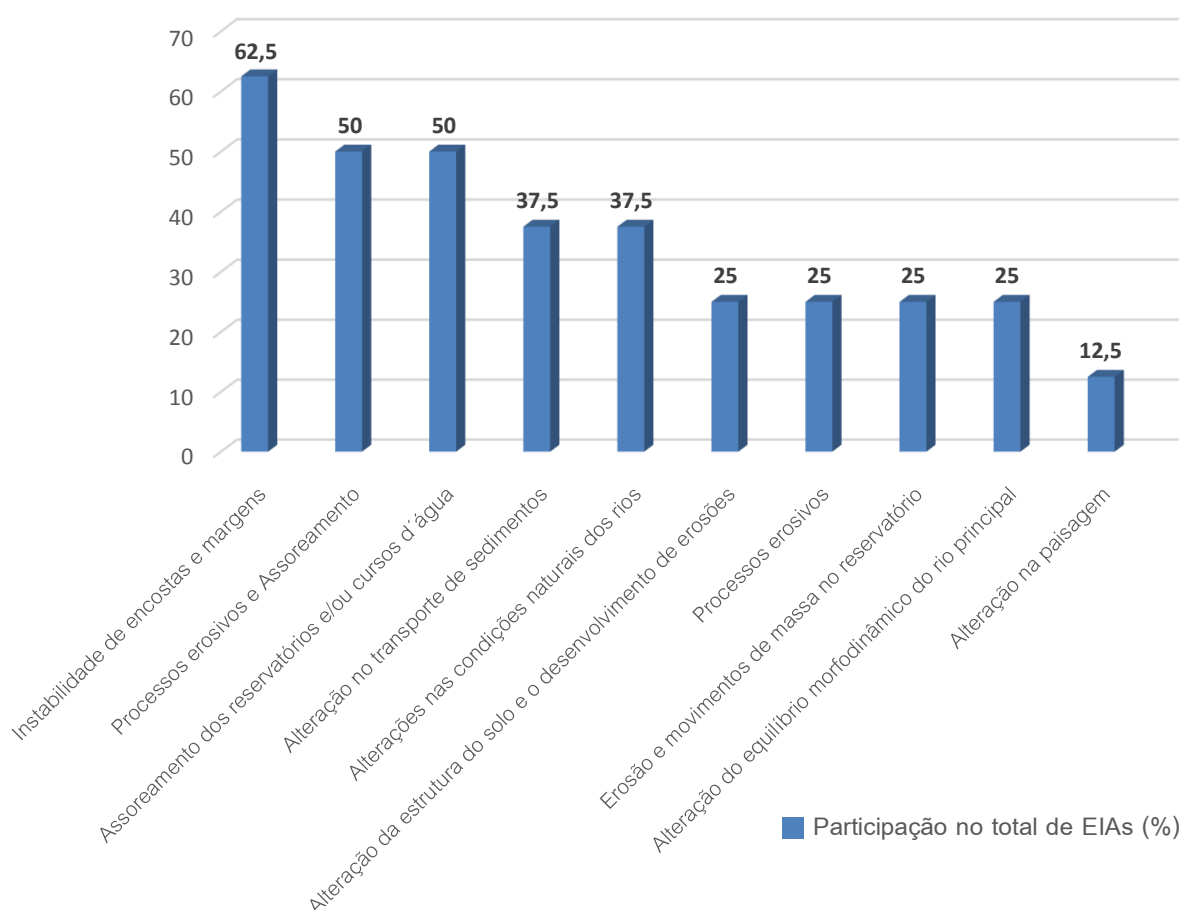
EIA03	1. Alteração da estrutura do solo e desenvolvimento de erosões; 2. Assoreamento de cursos-d'água; 3. Alteração nas condições naturais do rio Meia Ponte e tributários nos trechos remansados (E); 4. Desenvolvimento de erosões e de movimentos de massa nas margens do reservatório (O); 5. Alteração do equilíbrio morfodinâmico do rio Meia Ponte com a construção do barramento e formação do reservatório (O).	1. Recuperação de Áreas Degradadas e Controle de Processos Erosivos; 2. Monitoramento Fluviométrico e Sedimentométrico; 3. Monitoramento Batimétrico do Reservatório e a Jusante da Barragem.
EIA04	1. Alteração da estrutura do solo e desenvolvimento de processos erosivos; 2. Assoreamento de cursos-d'água; 3. Alteração na morfometria e hidrodinâmica do rio Meia Ponte e tributários nos trechos remansados; 4. Desenvolvimento de processos erosivos e de movimentos de massa nas margens do reservatório; 5. Alteração do equilíbrio morfodinâmico do rio Meia Ponte com a construção do barramento e formação do reservatório.	1. Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e Controle de Processos Erosivos; 2. Programa de Monitoramento Fluviométrico e Sedimentométrico.
EIA05	1. Erosão; 2. Instabilidade em encostas; 3. Assoreamento do rio; 4. Desvio do rio para construção do barramento; 5. Alteração do aporte sedimentar no reservatório da barragem.	Não existem programas voltados para o monitoramento dos impactos e das medidas mitigadoras a serem implementadas.
EIA06	Nenhum citado.	1. Plano de Recuperação das áreas Degradadas; 2. Plano de combate à eutrofização/erosão/assoreamento/salinização.
EIA07	1. Carreamento de sedimentos durante a movimentação de terras/assoreamento da rede de drenagem; 2. Início e/ou aceleração de processos erosivos; 3. Instabilidade e potencial erosivo de taludes e encostas marginais.	1. Plano de Controle da Erosão e Recuperação de Áreas Degradadas; 2. Programa de Monitoramento e Controle dos Processos Erosivos e Carreamento de Sedimentos (PMPE); 3. Programa de Proteção dos Taludes Marginais do Reservatório (PPTM).
EIA08	1. Alteração na Paisagem; 2. Desencadeamento de Processos Erosivos e Assoreamento; 3. Instabilização do Talude da Barragem.	1. Programa de Gestão Ambiental das Obras de Implantação (Alteração na Paisagem); 2. Programa de Gestão Ambiental da Operação (Instabilização do Talude da Barragem); 3. Programa de Treinamentos, Cursos e Aperfeiçoamento Profissional (Desencadeamento de Processos Erosivos e Assoreamento).

Fonte: o autor (2019).

Por fim, todos os EIAs apresentaram impactos ambientais de cunho geomorfológico. No entanto, exceto o EIA05, os demais estudos apresentaram programas ambientais relacionados ao campo da geomorfologia.

Foram identificados 28 impactos relacionados à geomorfologia, resultando numa média de 3,5 impactos/EIA. Conforme se observa no Gráfico 1, o impacto “instabilidade de encostas e margens” foi indicado na maior parte dos EIAs, sendo seguido pelos “processos erosivos e assoreamento” e “assoreamento dos reservatórios e/ou cursos-d’água”.

Gráfico 1 – Impactos ambientais identificados nos EIAs, com a indicação da quantidade de ocorrências nos EIAs analisados



Fonte: o autor (2019).

Esses três impactos totalizaram quase a metade dos impactos identificados nos oito estudos analisados. Vale destacar que, para uma melhor organização na compreensão dos impactos, por exemplo, foram elencados os impactos “processos erosivos” ou “erosão e

movimentos de massa nas margens do reservatório”, tendo sido considerados a parte dos três primeiros, já que os estudos preferiram apresentar tais impactos de modo separado ou não contemplando um dos dois. Nos impactos, conforme o Quadro 34, os mais identificados foram: “processos erosivos”, “movimentos de massa”, “assoreamento”, “transporte sedimentar” e “alteração da morfologia fluvial – morfometria e hidrodinâmica”. Portanto, convergindo com o que foi obtido por Gutierrez *et al.* (2017), destacam-se, em ordem decrescente, os quatro impactos mais identificados: “erosão”, “alteração morfológica”, “assoreamento” e “movimentos de massa”.

Por outro lado, as alterações nos cursos-d’água e no reservatório foram contempladas, de forma direta, por meio da alteração das condições naturais e de equilíbrio, através dos parâmetros morfométricos, hidrodinâmicos e morfodinâmicos. Sendo assim, os impactos identificados dialogam com os processos geomorfológicos responsáveis pelas alterações na morfologia da área, bem como os reflexos desses processos e a ocorrência de processos fluviais, que acarretam em mudanças na morfologia fluvial na área do reservatório, na área a montante e na área a jusante.

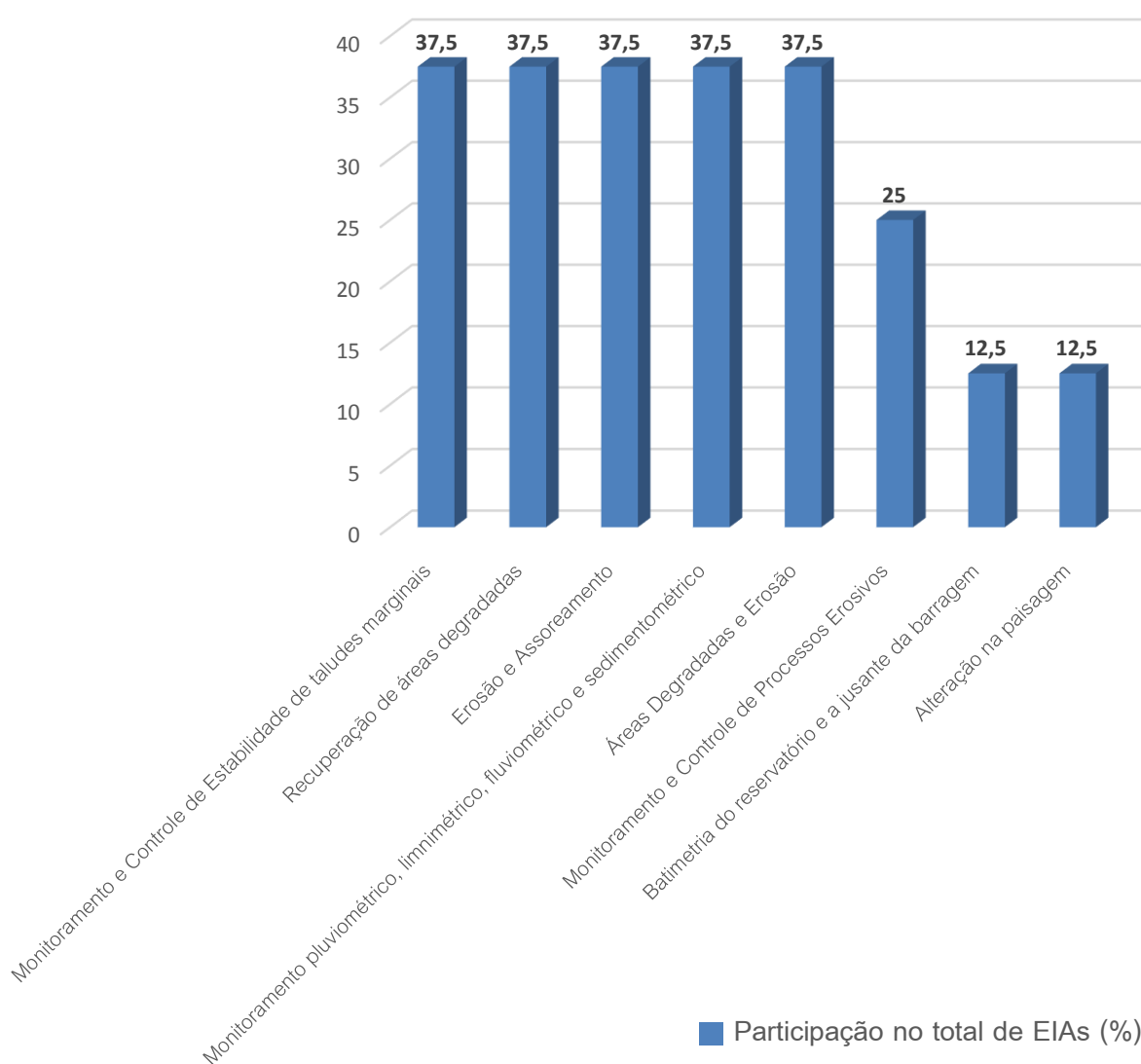
Um outro aspecto analisado foi com relação aos programas ambientais voltados à gestão dos impactos (e das medidas mitigadoras) estabelecidos nos estudos analisados. Consta-se que os programas mais recorrentes foram condizentes aos impactos mais indicados (Gráfico 2).

Cinco programas apresentaram o mesmo percentual (37,5%): “monitoramento e controle de estabilidade de taludes marginais”, “recuperação de áreas degradadas”, “erosão e assoreamento”, “monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico e sedimentométrico (MPLFS)” e “áreas degradadas e erosão”. Assim como nos impactos, observa-se que as nomenclaturas foram preservadas na definição dos programas, no entanto, no “Programa de Áreas Degradadas e Erosão”, os dois impactos também estão contidos em outros dois programas diferentes (“recuperação de áreas degradadas” e “erosão e assoreamento”).

O Programa MPLFS guarda relação com os impactos relacionados aos processos fluviais e as consequentes mudanças na morfologia fluvial (na área do reservatório, na área a montante e na área a jusante). Sendo assim, os programas estão associados aos mesmos propósitos dos impactos ambientais. Quanto à importância do monitoramento, apenas o EIA05 não apresentou programas de monitoramento relacionados à geomorfologia. Os outros sete EIAs indicaram o programa de “Monitoramento e controle dos processos erosivos”, seis indicaram a “Recuperação de áreas degradadas”, enquanto que o “Assoreamento” foi citado em quatro e o programa de “Estabilidade de taludes/encostas” e o “Monitoramento fluviométrico e sedimentométrico” em três EIAs, cada. Tais estudos deveriam buscar tratar indicadores

ambientais levantados antes e depois da implantação do empreendimento, o que favoreceria a uma comparação com caráter temporal. Sendo assim, as publicações citadas e o levantamento realizado demonstram a necessidade do aperfeiçoamento da abordagem da geomorfologia nos EIAs, buscando a valorização de um conhecimento essencial para o planejamento, a instalação e a operação de empreendimentos.

Gráfico 2 – Programas ambientais identificados nos EIAs, com a indicação da quantidade de ocorrências nos EIAs analisados



Fonte: o autor (2019).

A seguir, foi aplicada a mesma matriz para os EIAs das barragens de Igarapeba e Serro Azul. Optou-se pela separação e pela primeira avaliação em relação aos outros EIAs de barragens estaduais, como forma de enfatizar os estudos de impacto das duas barragens

analisadas neste trabalho, de modo a permitir uma comparação delas em relação aos estudos dos outros estados. Novamente, foi utilizada a matriz de análise técnico-documental para verificação de conteúdo e análise da abordagem geomorfológica, de acordo com o atendimento mínimo as atividades técnicas elencadas no art.6º da Resolução CONAMA nº 01/86 (Quadro 35), tendo sido adotadas as siglas EIG (EIA da barragem de Igarapeba) e ESA (EIA da barragem Serro Azul).

Quadro 35 – Matriz de análise técnico-documental para verificação de conteúdo e análise da abordagem geomorfológica dos EIAs das barragens de Igarapeba (EIG) e de Serro Azul (ESA), de acordo com o atendimento mínimo as atividades técnicas elencadas no art. 6º da Resolução CONAMA nº 01/86

QUESITOS	SIM	NÃO	Obs.
1.O EIA declara expressamente e/ou demonstra por outros meios se houve levantamento de campo aplicado a geomorfologia?	EIG / ESA		
2.A geomorfologia do local do empreendimento foi abordada no EIA?	EIG / ESA		
3.A equipe fez uso de registros de fotografias terrestres, imagens de satélite e de drone, destacando a geomorfologia da área do empreendimento?	EIG / ESA		
4.No EIA foi identificado o uso de instrumento (s) de campo para aquisição de dados que subsidiem a análise geomorfológica?	ESA	EIG	
5.No EIA foi identificada a realização de análise (s) de laboratório para subsidiar a análise geomorfológica?	ESA	EIG	
6.No EIA consta(m) mapa(s) geomorfológico(s) de detalhe que permitam a compreensão dos processos geomorfológicos na área?		EIG / ESA	
7.No levantamento e/ou uso de dados secundários pertinentes à geomorfologia, constam referências de autores e/ou publicações técnico-científicas da geomorfologia na “Bibliografia” do EIA?	EIG	ESA	
8.Em relação ao levantamento de dados secundários, consta (m) citação (ões) de publicações (trabalhos acadêmicos, artigos científicos, capítulos de livros, livros e outros) na “Bibliografia” do EIA, que tiveram como objeto de estudo áreas próximas ao local do empreendimento analisado pelo EIA?		EIG / ESA	
9.O item de "Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas" contemplou a geomorfologia? (Quantidade de impactos geomorfológicos; e em qual meio (físico/biológico/socioeconômico) foi enquadrado cada impacto?)	EIG / ESA		
10.Na atividade técnica de “Definição das Medidas Mitigadoras”, houve a proposição relacionadas à área da Geomorfologia? (Quantidade de medidas mitigadoras relacionadas à geomorfologia; e em qual meio (físico/biológico/socioeconômico) foi enquadrada cada medida identificada?)	EIG / ESA		
11.Foram propostos “Programas de Monitoramento” para os impactos e medidas mitigadoras relacionados à área da Geomorfologia?	EIG / ESA		

(Quantidade de Programas relacionados à geomorfologia; e qual o meio relacionado para cada programa identificado; e em qual meio (físico/biológico/socioeconômico) foi enquadrado cada programa?)			
12. Nos “Programas de Monitoramento”, foram identificados indicadores voltados para a geomorfologia? (exemplos: volume do material erodido/quantidade de processos por área)		EIG / ESA	
13. Nos “Programas de Monitoramento”, foram indicados padrões de gestão (metas, periodicidade, responsabilidades)?	EIG / ESA		

Fonte: Adaptado de Gutierrez *et al.* (2017).

Apesar de as “medidas mitigadoras” e os “programas de monitoramento” serem consequências da predição, no instrumento concebido para a verificação da existência de abordagem geomorfológica nestes itens, é possível o enquadramento como “NA”.

A verificação dos 13 quesitos demonstrou que o EIG apresentou oito conformidades (“sim”) e cinco não conformidades (“não”), portanto, 61,5% de quesitos atendidos. Tais conformidades estão associadas, principalmente a adoção de procedimentos de campo e de levantamento da geomorfologia da área do empreendimento, bem como da inserção da geomorfologia nas atividades de “análise dos impactos”, “proposição de medidas mitigadoras” e da “proposição e a estruturação de programas de monitoramento”.

Já para o ESA, foram identificadas nove conformidades (“sim”) e quatro não conformidades (“não”), um percentual de 69,2% de conformidades.

Ao partir para a análise da convergência das conformidades dos dois EIAs, considerando o valor máximo de oito conformidades (EIG), constatou-se que sete conformidades foram observadas em ambos os estudos, enquanto que três não conformidades (de um total de quatro – ESA) convergiram. Nas conformidades, a única que não convergiu foi a que trata do “levantamento e/ou uso de dados secundários pertinentes à geomorfologia”, tendo sido identificado nas referências do EIG, mas, no ESA, não consta nenhuma referência de autores e/ou publicações técnico-científicas da geomorfologia. Por outro lado, nenhum dos dois EIAs fez uso de referências de publicações que tiveram como objeto de estudo áreas próximas ao local do empreendimento analisado pelo EIA.

No tocante à discussão comparativa com o Quadro 33 e confrontando com o que foi constatado nos EIAs das duas barragens, verifica-se uma convergência⁴⁰ em muitos dos quesitos avaliados, a exemplo dos de número: 1, 2, 3, 9, 10 e 11. No quesito 4, a convergência se deu no tocante ao equilíbrio da distribuição dos estudos. O quesito 4 apresentou um EIA em

⁴⁰ O valor acima de 37,5% foi estabelecido para caracterizar a conformidade entre os dois quadros de EIAs analisados.

conformidade e outro em não conformidade, portanto um índice de 50%. Comportamento parecido foi observado na análise dos oito EIAs, já que no quesito 4 foi identificado um total de 62,5%.

O quesito 5 apresentou um índice de conformidade mais baixo (37,5%) em relação aos 50% do Quadro 33. Já o quesito 6 apresentou um índice de 50% na análise dos oito EIAs, porém de total não conformidade nos dois EIAs analisados. No quesito 7, um EIA apresentou conformidade e o outro, não, enquanto que, no Quadro 33, apenas dois apresentaram conformidade.

No quesito 8, foram constatados 100% de não conformidade dos dois EIAs, enquanto que 37,5%, do universo dos oito EIAs, atenderam a esse quesito. Os quesitos 9, 10 e 11 apresentaram 100% de atendimento por parte dos dois EIAs, ficando quase similar aos resultados do quadro 33, com exceção de um EIA (05), que não propôs medida mitigadora e programa de monitoramento na área da geomorfologia. No quesito 12, observou-se que nenhum dos dois EIAs atendeu e só um, do universo de oito, contemplou o que preconiza tal quesito (o estabelecimento de indicadores relacionados à geomorfologia). Por fim, o quesito 13 foi o que apresentou maior divergência na relação das conformidades e não conformidades, pois os dois EIAs atenderam a esse quesito, enquanto que apenas 12,5% dos EIAs (um estudo) indicaram padrões de gestão (metas, periodicidades, responsabilidades) nos programas estabelecidos.

Dessa forma, diante dos resultados obtidos, demonstra-se que os “procedimentos de campo”, a “inserção da geomorfologia do local do empreendimento no EIA” e a “inserção da geomorfologia nos impactos, nas medidas mitigadoras e programas ambientais” representaram os parâmetros mais atendidos. Enquanto isso, o uso da análise de materiais no laboratório, a elaboração de mapas geomorfológicos de detalhe, o levantamento de dados e conhecimentos geomorfológicos de uma maneira mais geral, bem como das áreas próximas ao local do empreendimento analisado, por meio de publicações (trabalhos acadêmicos, artigos científicos, capítulos de livros, livros e outros), apresentaram os piores resultados.

Por fim, confrontando os resultados obtidos nos Quadros 33 e 35, de mesma tipologia, com o que foi obtido por Gutierrez *et al.* (2017), que analisaram 18 EIAs de empreendimentos de diferentes tipologias, é possível ampliar a discussão. Os autores afirmam que 63,8% dos EIAs demonstraram ter realizado “levantamento de campo”, o que converge com o obtido da análise dos EIAs desta pesquisa. Os registros fotográficos, destacando a geomorfologia do local do empreendimento, também foi recorrente, já que “[...] são importantes na composição do diagnóstico ambiental, uma vez que se tornam atestados dos relatos presentes no texto,

validando o conteúdo apresentado e fornecendo ao órgão licenciador maior segurança de análise” (AGUIAR, 2015, p. 96).

Na pesquisa realizada por Gutierrez *et al.* (2017), o uso de instrumentos no campo não foi constatado em 66,7% dos EIAs analisados, um índice diferente dos 62,5% do universo dos oito EIAs, que fizeram uso de instrumentos. No levantamento de Gutierrez *et al.* (2017), nenhum estudo realizou análise laboratorial dos materiais coletados nas áreas dos empreendimentos, a exemplo de amostras de solo para fins de análise granulométrica. Para esta pesquisa, o índice foi de 37,5% dos EIAs que fizeram uso de análise em laboratório, representando uma menor parcela dos estudos.

Já a existência de mapas geomorfológicos foi identificada em 50% dos estudos, de acordo com Gutierrez *et al.* (2017). Foi o mesmo percentual obtido no Quadro 33 (8 EIAs).

Quanto ao uso dos conhecimentos geomorfológicos para a avaliação dos impactos ambientais, Gutierrez *et al.* (2017) identificaram que 82,4% dos EIAs apresentaram algum impacto ambiental de cunho geomorfológico, enquanto que, no Quadro 33, o índice foi de 100% dos estudos.

Diante da importância dos impactos identificados para a proposição das medidas mitigadoras e para a elaboração dos programas ambientais, apenas 14,2% dos EIAs não estabeleceram tal relação, enquanto que, de acordo com Gutierrez *et al.* (2017, p. 68), “[...] em 88,9% dos estudos não houve a devida relação entre os impactos identificados, o estabelecimento das medidas mitigadoras e a elaboração dos programas de monitoramento”.

Portanto, as análises discutidas, a partir da auditoria geomorfológica dos EIAs, permite traçar um panorama da realidade e servir de base, diante dos acertos, erros e deficiências apontados, para a estruturação de uma proposta metodológica para a aplicação dos conhecimentos, técnicas e procedimentos da Geomorfologia nos EIAs para barragens, por meio da aplicação dos instrumentos da auditoria ambiental.

4.4 PROPOSTA DE AUDITORIA GEOMORFOLÓGICA DE EIAs DE BARRAGENS

4.4.1 Auditoria ambiental compulsória nas unidades federativas

A auditoria ambiental compulsória por determinação legal já é realidade em alguns estados brasileiros. Segundo Oliveira (2014), o estado do Rio de Janeiro foi pioneiro (1991), seguido por Minas Gerais (1992) e Espírito Santo (1993). Para La Rovere *et al.* (2011), tal exigência tem sido positiva, enquanto instrumento de apoio à gestão ambiental, especialmente facilitando o controle ambiental, principalmente no que se refere ao licenciamento ambiental. O Quadro 36 apresenta um levantamento da legislação dos estados do Brasil que contemplam a auditoria ambiental (de forma geral ou específica) e/ou com previsão da auditoria de Estudo de Impacto Ambiental.

A partir da análise dos dados apresentados, constata-se que 19 unidades federativas, ou seja, 70,4%, possuem alguma norma jurídica que contemple a auditoria ambiental. Desse total, sete são estados da região Nordeste, quatro da Sudeste, quatro da Norte, três da região Sul e uma da Centro-Oeste. Para esse caso, a Lei/Decreto/Resolução/Portaria contempla a auditoria ambiental em algum capítulo, artigo ou inciso. Tomando o aspecto temporal da promulgação dessas normas jurídicas, identifica-se que dez estados promulgaram alguma norma contemplando a auditoria ambiental, entre os anos de 1991-2000, destacando-se a região Sudeste, que teve as suas quatro unidades federativas promulgando nessa década. Nas demais de regiões, dois estados no Norte, dois no Nordeste, um do Centro-Oeste e um do Sul completam a lista. Já na década seguinte (2001-2010), sete estados apresentaram a sua primeira legislação contemplando a auditoria ambiental, com destaque para a região Nordeste, com quatro unidades federativas, além de duas na região Sul e uma na região Norte. Por fim, dois estados (no Norte e no Nordeste) promulgaram leis contemplando a auditoria ambiental, só na década de 2011-2019.

Por outro lado, apenas nove unidades federativas possuem alguma legislação que trata especificamente da auditoria ambiental, sendo 66,7% dos estados sem a existência de legislação específica. Na maioria tal tratamento é por meio de lei, porém, existindo alguns que fazem uso de Decreto, Resolução ou Portaria. Do total de nove, três são estados da região Sudeste, dois do Norte, dois do Nordeste, um da região Sul e um da região Centro-Oeste. No tocante aos anos de promulgação da lei, a maioria dos estados promulgou sua norma jurídica específica entre 1991-2000, com exceção do Pará e do Paraná, enquadrados na década de 2001-2010 e o Maranhão, na década de 2011-2019.

Por fim, apenas cinco abordam a auditoria de EIA (Ceará, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Sergipe), totalizando 18,5% das unidades federativas. Chama atenção o fato da concentração espacial, sendo dois estados da região Nordeste e os três da região Sul. Constatase que o Ceará foi o estado pioneiro na previsão da auditoria de EIA em sua legislação, tendo isso ocorrido no ano de 1993. De 2000 a 2009, quatro estados promulgaram leis que preveem a auditoria de EIA: Rio Grande do Sul (2000), Paraná (2002), Sergipe (2006) e Santa Catarina (2009), logo evidenciando a necessidade de uma disseminação de normas jurídicas que contemplem a auditoria de EIA, especialmente nas unidades federativas com maior dinamismo econômico, bem como um aspecto de cunho geográfico, como a presença de pelo menos um estado nas regiões Centro-Oeste, Norte e Sudeste.

Em outras unidades federativas identifica-se a previsão da inserção da auditoria de EIA, sendo posteriormente alterada ou revogada, a exemplo do Distrito Federal, que em sua lei de 1996, previa a verificação do cumprimento ou não das recomendações previstas no EIA, mas a Lei nº 3.458/2004 alterou os textos que tratavam da relação entre auditoria ambiental e EIA.

Contudo, um grupo de estados apresenta o pior cenário, já que não possuem legislação que contemple a auditoria ambiental, nem por meio de lei geral ou de lei específica, como também sem previsão da auditoria de EIA. É a realidade de sete unidades federativas (Amazonas, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Rondônia e Roraima).

Quadro 36 – Levantamento da legislação dos estados do Brasil que contemplam a auditoria ambiental (de forma geral ou específica) e/ou com previsão da auditoria de Estudo de Impacto Ambiental

Unidade Federativa	Legislação estadual (número e data)	Ementa	Normas jurídicas que contemplam a auditoria ambiental	Lei específica para auditoria ambiental	Auditoria de EIA contemplada
Acre	Lei nº 1.117, de 26 de Janeiro de 1994	Dispõe sobre a política ambiental do Estado do Acre	Sim	Não	Não
Alagoas	Lei nº 6.787, de 22 de dezembro de 2006	Dispõe sobre a consolidação dos procedimentos adotados quanto ao licenciamento ambiental, das infrações administrativas, e dá outras providências.	Sim	Não	Não
Amapá	Lei Ordinária nº 0485, de 03 de dezembro de 1999	Institui as auditorias ambientais e dá outras providências.	Sim	Sim	Não
Amazonas			Não	Não	Não
Bahia			Não	Não	Não
Ceará	Lei nº 12.148, de 29 de julho de 1993 (alterada pela Lei nº 12.685, de 09 de maio de 1997)	Dispõe sobre a realização de Auditorias Ambientais e dá outras providências.	Sim	Sim	Sim
Distrito Federal	Lei nº 3.458, de 04 de outubro de 2004 (alterou a Lei n.º 1.224, de 11 de outubro de 1996)	Dispõe sobre a realização de auditorias ambientais.	Não	Sim	Não
Espírito Santo	Lei nº 4.802, de 02 de agosto de 1993. Decreto nº 3.795, de 27 de dezembro de 1994	Dispõe sobre Auditoria Ambiental. Regulamenta a Lei 4802/93 que dispõe sobre Auditoria Ambiental.	Sim	Sim	Não

Goiás			Não	Não	Não
Maranhão	Portaria nº 012, de 10 de março de 2015.	Dispõe sobre a instituição dos procedimentos mínimos a serem adotados quando da realização de Auditorias Ambientais pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA	Sim	Sim	Não
Mato Grosso	Lei Complementar nº 38, de 21 de novembro de 1995	Código Estadual de Meio Ambiente.	Sim	Não	Não
Mato Grosso do Sul			Não	Não	Não
Minas Gerais	Lei nº 10.627, de 16 de janeiro de 1992 (alterada pela Lei nº 15.017, de 15 de janeiro de 2004, e pela Lei nº 17.039, de 16 de outubro de 2007).	Dispõe sobre a realização de auditorias ambientais e dá outras providências.	Sim	Sim	Não
Pará	Lei nº 6.837, de 13 de fevereiro de 2006.	Dispõe sobre a realização de auditorias ambientais.	Sim	Sim	Não
Paraíba			Não	Não	Não
Paraná	Lei nº 13.448, de 11 de janeiro de 2002. (Regulamentada pelo Decreto nº 2.076, de 7 de novembro de 2003, três Portarias do IAP (49/05, 100/05 e 145/05).	Dispõe sobre a auditoria ambiental compulsória e adota outras providências.	Sim	Sim	Sim

Pernambuco	Lei nº 14.249, de 17 de dezembro de 2010.	Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências.	Sim	Não	Não
Piauí	Lei nº 4.854, de 10 de julho de 1996. Decreto nº 17.557, de 21 de dezembro de 2017.	Dispõe sobre a política de meio ambiente do Estado do Piauí, e dá outras providências. Institui a Licença Ambiental por Declaração e estabelece critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental no âmbito do Programa Ativo Verde, com fundamento no art. 7º da Lei Estadual nº 6.947, de 09 de janeiro de 2017 e na Lei Estadual nº 7.033, de 28 de agosto de 2017, e dá outras providências.	Sim	Não	Não
Rio de Janeiro	Lei nº 1.898, de 26 de novembro de 1991. Resolução CONEMA nº 21, de 07 de maio de 2010.	Dispõe sobre auditoria ambiental. Estabelecer as responsabilidades, os procedimentos e os critérios técnicos para a realização de auditorias ambientais, como instrumento do sistema de licenciamento ambiental.	Sim	Sim	Não
Rio Grande do Norte	Lei Complementar nº 272, de 3 de março de 2004.	Regulamenta os artigos 150 e 154 da Constituição Estadual, revoga as Leis complementares Estaduais n.º 140, de 26 de janeiro de 1996, e n.º148, de 26 de dezembro de 1996, dispõe sobre a Política e o Sistema Estadual do Meio Ambiente, as infrações e sanções administrativas ambientais, as unidades estaduais de conservação da natureza, institui medidas compensatórias ambientais, e dá outras providências.	Sim	Não	Não
Rio Grande do Sul	Lei nº 11.520, de 03 de agosto de 2000.	Código Estadual de Meio Ambiente.	Sim	Não	Sim

	Lei nº 10.330, de 27 de dezembro de 1994.	Dispõe sobre a organização do Sistema Estadual de Proteção Ambiental, a elaboração, implementação e controle da política ambiental do Estado e dá outras providências.			
Rondônia			Não	Não	Não
Roraima			Não	Não	Não
Santa Catarina	Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009.	Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.	Sim	Não	Sim
São Paulo	Lei nº 9.509, de 20 de março de 1997.	Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.	Sim	Não	Não
Sergipe	Lei nº 5.858, de 22 de março de 2006.	Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, institui o Sistema Estadual do Meio Ambiente, e dá providências correlatas.	Sim	Não	Sim
Tocantins	Resolução COEMA/TO nº 73, de 10 de maio de 2017.	Definem as atividades, obras e empreendimentos que causam ou possam causar impacto ambiental local, fixa normas gerais de cooperação técnica entre o Instituto Natureza do Tocantins - Naturatins e prefeituras ou consórcios municipais nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas em conformidade com o previsto na Lei complementar nº 140/2011 e dá outras providências.	Sim	Não	Não

Fonte: Adaptado dos endereços eletrônicos das Assembleias Legislativas (18 e 19 set. 2019).
Org.: autor.

A análise do quadro anterior permite constatar uma estreita relação da auditoria ambiental com o licenciamento ambiental. No Rio Grande do Sul é exigida a entrega do relatório de auditoria ambiental ao órgão competente, servindo de base para a renovação da Licença de Operação do empreendimento (art. 89). A Lei Estadual nº 11.520/2000, instituiu o Código Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, trouxe o capítulo XII (Das Auditorias Ambientais) e no art. 98 faz expressa menção à aplicação da auditoria ambiental nos empreendimentos licenciados através de EIA/RIMA.

Ou seja, a lei propõe a aplicação das auditorias dentro do licenciamento ambiental. Ao apresentar a vivência à frente do órgão ambiental do Rio Grande do Sul, Da Silva (2002, p. 225) afirma que, “do ponto de vista legal e da atuação dos órgãos públicos, as auditorias são instrumentos dentro do processo de licenciamento ambiental”. Tanto que na realidade retratada, as auditorias ambientais são periódicas e servem de base para a renovação das Licenças de Operação. Contudo, apesar da ênfase na fase de operação, entende-se que essas auditorias já deveriam ocorrer na fase de instalação. Da Silva (2002, p. 226) aponta

[...] a importância das atividades de monitoramento e auditoria no acompanhamento dos impactos ambientais na fase de operação, o que permite a reavaliação dos prognósticos do EIA/RIMA – e do próprio licenciamento – é amplamente documentada na literatura.

Da Silva (2002, p. 229) ainda explica que

[...] a estruturação dos Sistemas de Meio Ambiente e a aplicação das auditorias no processo de licenciamento ambiental viabilizam maior controle social sobre o processo de licenciamento ambiental, a possibilidade do estabelecimento de medidas compensatórias e de correções ao processo de licenciamento. Para isto, a aplicação das auditorias deve estar associada a um processo de disponibilização da informação e retro-alimentação do processo de licenciamento ambiental.

No Quadro 37, encontram-se listados os textos das leis estaduais com expressa referência à aplicação da auditoria de EIAs. Os textos constituirão mais um embasamento para a proposta metodológica a ser apresentada, demonstrando a aplicação da auditoria ambiental para os EIAs e as atividades técnicas exigidas.

Quadro 37 – Textos das leis estaduais com expressa referência à aplicação da auditoria de EIAs

ESTADO	TEXTO DA LEI
Ceará	Art. 4º - Para efeitos do que dispõe estão sujeitos às auditorias ambientais as empresas ou atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, entre as quais: [...] XII. As barragens que acumulam acima de 200 milhões de m³; ([14]) Art. 5º - As auditorias ambientais serão periódicas ou ocasionais. Parágrafo Único - As auditorias periódicas serão realizadas entre um intervalo máximo de 01 (um) ano e as ocasionais sempre que solicitadas na forma do caput do art. 2º desta Lei: I. A auditoria ambiental deverá avaliar se as orientações contidas no estudo prévio de impacto ambiental estão sendo observadas e se os métodos de controle ambiental são eficazes;
Paraná	Art.6º As diretrizes para realização de auditorias ambientais compulsórias deverão incluir, entre outras, avaliações relacionadas aos seguintes aspectos: [...] II - cumprimento das condições estabelecidas nas licenças ambientais e no estudo prévio de impacto ambiental, quando houver, bem como as exigências feitas pelas autoridades competentes em matérias ambiental;
Rio Grande do Sul	Art. 98 - As auditorias ambientais dos empreendimentos ou atividades utilizadoras de recursos ambientais licenciados através do EIA/RIMA, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos desta lei e seu regulamento e os expressos na Lei de Política Nacional de Meio Ambiente, deverá conter as seguintes atividades técnicas: I - confrontar os impactos ambientais gerados na implantação e operação da atividade com os previstos no EIA/RIMA, considerando o diagnóstico ambiental da área de influência do projeto e seus efeitos no meio físico, biológico, nos ecossistemas naturais e meio sócio-econômico; II - reavaliar os limites da área geográfica realmente afetada pela atividade e comparar com os previstos no EIA/RIMA; III - relacionar o desenvolvimento econômico da área de influência do projeto, considerando os planos e programas governamentais realmente implementados, os benefícios e ônus gerados pela atividade e os impactos ambientais negativos e positivos; IV - identificar os impactos ambientais não previstos no EIA/RIMA, ou a sua tendência de ocorrência, especificando os agentes causadores e suas interações;

	V - apresentar estudo comparativo do monitoramento realizado no período, com os impactos ambientais previstos no EIA/RIMA, considerando a eficiência das medidas mitigadoras implantadas e as realmente obtidas; VI - apresentar cronograma de ações corretivas e preventivas de controle ambiental, e se couber, projetos de otimização dos equipamentos de controle e sistemas de tratamento, com o seu respectivo dimensionamento, eficiência e forma de monitoramento com os parâmetros a serem considerados.
Santa Catarina	Art.97. O órgão ambiental licenciador pode exigir, mediante recomendação constante em parecer técnico, a qualquer tempo, auditoria ambiental de atividades ou empreendimentos licenciáveis mediante Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EIA, sem prejuízo de outras exigências legais. Art.98 A finalidade das auditorias ambientais deve se restringir à avaliação da implementação dos programas ambientais, de controle, compensação e monitoramento ambiental, bem como das condicionantes técnicas das licenças, não substituindo a fiscalização ambiental pelo órgão licenciador. Art.99 As atividades que possuem sistema de gestão ambiental certificada por entidades credenciadas pelo Sistema Brasileiro de Certificação Ambiental, poderão utilizar esta certificação para o atendimento à exigência disposta no art. 97 desta Lei, desde que o escopo da auditoria e seu relatório incluam a avaliação dos Programas Ambientais e dos condicionantes das licenças emitidas.
Sergipe	Art.32. O EIA/RIMA deve atender à legislação ambiental então vigente, e em especial aos princípios e objetivos desta Lei, e aos expressos na Política Nacional de Meio Ambiente, obedecendo as seguintes diretrizes gerais: [...] V - estabelecer os programas de monitoramento e auditorias necessárias para as fases de implantação, operação, e, se for o caso, desativação, do empreendimento;

Fonte: Adaptado dos endereços eletrônicos das Assembleias Legislativas (18 e 19 set. 2019).

Org.: autor.

Na lei do estado do **Ceará**, a auditoria ambiental é utilizada para “avaliar se as orientações contidas no EIA estão sendo observadas”, ou seja, de modo geral, não se restringindo à implementação de medidas mitigadoras ou dos programas ambientais. Logo, tal enunciado “valoriza” o EIA em sua totalidade. Vale destacar, ao final do texto do inciso I (art. 5º), sobre a necessidade da avaliação da efetividade na implementação dos métodos de controle ambiental, o que enfatiza os programas de monitoramento.

No estado do **Paraná**, o artigo 6º estabelece que para a realização de auditorias ambientais compulsórias algumas avaliações devem ser feitas, a exemplo do inciso II, que trata do cumprimento das condições estabelecidas nas licenças ambientais e no estudo prévio de impacto ambiental (quando houver), portanto, assim como no Ceará, a auditoria deve abranger o EIA em sua plenitude, naquilo que for passível de implementação e verificação.

A lei do **Rio Grande do Sul** se apresenta como a mais detalhada com relação à aplicação da auditoria ambiental para os EIAs, através do artigo 98, que exige a observação das atividades técnicas elencadas em seus incisos. O inciso I indica que se confronte os impactos ambientais gerados nas etapas de implantação e de operação da atividade com os previstos no EIA/RIMA, considerando o diagnóstico ambiental da área de influência do projeto e seus efeitos no meio físico, biológico, nos ecossistemas naturais e no meio socioeconômico. Portanto, conforme já comentado neste trabalho, algumas abordagens se restringem a avaliar os impactos ambientais na fase de operação, enquanto que a lei analisada inclui a fase de “instalação” e esta tese ainda incluiu a fase de “planejamento”. No inciso II propõe a reavaliação dos limites da área geográfica realmente afetada pela atividade e que se compare com os previstos no EIA/RIMA, algo que necessita utilizar a geomorfologia como um dos parâmetros para a avaliação. E o inciso III também trata de pontos contemplados no EIA, tendo ao final do texto um destaque para a preocupação com os impactos ambientais do empreendimento. A abordagem dos impactos também são exigidos no inciso seguinte, que determina a identificação dos impactos não previstos no EIA/RIMA ou a sua tendência de ocorrência, devendo a auditoria ambiental especificar os agentes causadores e as suas interações. Seguindo a sequência das atividades técnicas de um EIA, o inciso aborda as medidas mitigadoras e os programas de monitoramento, quando solicita que a auditoria apresente estudo comparativo do monitoramento realizado no período analisado, com os impactos ambientais previstos no EIA/RIMA, avaliando a eficiência das medidas mitigadoras implantadas e as realmente obtidas. Por fim, fruto de tudo que foi diagnosticado e verificado pela auditoria ambiental, o último inciso solicita que se apresente um cronograma de ações corretivas e preventivas de controle ambiental, e se couber, projetos de otimização dos equipamentos de controle e sistemas de tratamento, com o seu respectivo dimensionamento, eficiência e forma de monitoramento com os parâmetros a serem considerados.

A lei de **Santa Catarina** dedica três artigos a auditoria de EIA (97, 98 e 99), deixando a cargo do órgão ambiental licenciador a exigência, a qualquer tempo, da auditoria ambiental de atividades ou empreendimentos que foram licenciados com a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental. Os objetivos dessa auditoria são detalhadas no artigo 98, que restringe a

sua finalidade a avaliação da implementação dos programas ambientais, de controle, compensação e monitoramento ambiental, além das condicionantes das licenças ambientais. Por fim, no artigo 99, a lei inova em relação as demais leis analisadas, pois aborda o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) decorrente de certificação ambiental. Caso o empreendimento se utilize desse tipo de auditoria ambiental e, caso o escopo da auditoria e seu relatório incluam a avaliação dos Programas Ambientais, tal atividade poderá ser usada para atender à exigência disposta no artigo 97.

No estado de **Sergipe**, a abordagem acontece no inciso V do artigo 32, que determina que o EIA/RIMA deve obedecer as diretrizes gerais elencadas em seus incisos, com destaque para o inciso V, que impõe o estabelecimento dos programas de monitoramento e auditorias necessárias para as fases de implantação, operação, e, se for o caso, desativação, do empreendimento.

Vale destacar que, no caso das auditorias compulsórias, o órgão ambiental pode proceder a elaboração de um “termo de referência”, a exemplo do que acontece nos EIAs, contudo aplicado às orientações e procedimentos a serem atendidos na auditoria ambiental. Em se tratando do EIA e dos diversos conhecimentos geomorfológicos, pode-se enfatizar uma “auditoria geomorfológica de EIA”, na qual o objetivo consiste em enfatizar a abordagem da geomorfologia nas diversas atividades técnicas desenvolvidas no estudo ambiental e a sua implementação.

Conforme dito no texto introdutório, a pouca produção bibliográfica referente à relação EIA e geomorfologia, bem como dos dois assuntos na auditoria ambiental, não significa que não exista potencial para o aprofundamento dessas relações, em especial da geomorfologia, que, diante da sua estruturação, por meio dos aspectos teóricos, metodológicos, procedimentais e técnicos, se apresenta como um grande potencial nos dois instrumentos (EIA e Auditoria Ambiental) e na Auditoria Geomorfológica. Mantovani e Rodrigues (2018) explicam que a geomorfologia possui uma visão de conjunto e adota uma abordagem multiescalar, temporalmente e espacialmente.

Dessa forma, tais características “[...] permitem o entendimento mais completo dos processos geomorfológicos, seu dimensionamento espacial, e a compreensão da duração e da permanência desses processos” (MANTOVANI; RODRIGUES, 2018, p. 74). Isso, segundo as autoras, também possibilita o estabelecimento de previsões e prognósticos de futuras tendências dos processos geomorfológicos e de mudanças de ordem ambiental. Sendo assim, Glasson *et al.* (1999) comentam que, em geral, é provável que a auditoria ambiental aumente o nível de monitoramento, conscientização ambiental e disponibilidade de dados ambientais.

4.4.2 Detalhamento da proposta metodológica

Conforme descrito na metodologia, até o item anterior (4.4.1), todos serviram de embasamento para a concepção e elaboração da proposta metodológica a ser apresentada e discutida. A proposta visa apresentar um modelo de auditoria geomorfológica de EIAs, contemplando a orientação e a verificação para a aplicação dos conhecimentos, técnicas e procedimentos da Geomorfologia nos EIAs de barragens, a partir do entendimento de que a auditoria de EIA “[...] deverá avaliar se as orientações contidas no estudo estão sendo observadas e se os métodos de controle ambiental estão sendo eficazes” (MACHADO, 2004, p. 100).

As ações expostas e detalhadas até o presente, dentre outros objetivos, são fundamentais para um estudo geomorfológico e embasam a concepção e construção de instrumentos da auditoria ambiental, especialmente o Protocolo, e o Checklist, aplicados à elaboração, análise e implementação dos EIAs de barragens, sendo o objetivo principal desta pesquisa, numa perspectiva metodológica, visando contribuir na atuação dos consultores ambientais que elaboram os EIAs, os técnicos dos órgãos ambientais licenciadores (e de outros órgãos públicos) que elaboram os Termos de Referência e analisam os EIAs e, por fim, os profissionais responsáveis pela gestão ambiental dos empreendimentos, que devem utilizar o estudo durante as etapas de planejamento, instalação e operação. Sendo assim, buscam respaldo nas melhores práticas relacionadas a área.

Diante da localização específica do empreendimento a ser analisado por um EIA, é impossível se obter dados da área, exclusivamente, por fontes secundárias. Mesmo se fosse possível obter, é fundamental que a equipe elaboradora do EIA busque particularizar a avaliação das áreas de influência, especialmente da Área Diretamente Afetada (ADA), o que proporciona maior confiabilidade ao estudo produzido.

O levantamento de campo realizado nas duas barragens consistiu no cumprimento das ações de “observações e descrições”, “coletas de amostras de solo” e “monitoramento da evolução de voçorocas”. Rodrigues (2000) destaca as “análises de laboratório” com os diversos ensaios que permitem uma melhor avaliação. Apesar de o autor isolar a ação “base cartográfica”, entende-se que ela também acontece no “levantamento de campo” com o uso do GPS, levantamentos topográficos, uso do drone etc.

Por outro lado, o “levantamento de dados secundários” é essencial, pois permite, dentre outros objetivos, apresentar um histórico de uso e ocupação da área, por exemplo. Tais dados podem ser bibliográficos e/ou cartográficos. Seja a “bibliografia teórico-metodológica”,

“bibliografia sobre área de estudo” (livros, artigos, estudos ambientais, publicações governamentais, trabalhos acadêmicos), “dados climatológicos”, “aptidão física/geologia” e “legislação incidente”, todos foram utilizados na análise das duas barragens. A partir da correlação das informações desses três pilares, o autor propõe uma segunda fase, que buscará discutir as informações cartográficas, os resultados de experimentos no campo e as análises de laboratório, bem como da avaliação empírica.

A pesquisa elaborou modelos de Protocolo voltados para a atividade de “elaboração do EIA”, que para uso geral, têm o objetivo de definir os critérios que devem ser atendidos visando à sistematização dos dados e informações geradas na Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) (IBAMA, 2016). Além disso, foi elaborado um modelo de Lista de Verificação para a análise de conteúdo geomorfológico dos EIAs de barragens, para as atividades de análise técnica, associando a avaliação das conformidades e não conformidades (e o NA – não se aplica), com os conceitos de avaliação, de Lee e Colley (1992), discriminados no Quadro 4. Portanto, buscando orientar e reduzir a subjetividade da análise.

Sandoval e Cerri (2009) exemplificam o estado de São Paulo, por meio das Resoluções SMA 42/94 e 54/04, voltadas para a regulamentação da AIA e do licenciamento ambiental, como deficientes no tocante aos critérios de avaliação de significância de alterações ambientais no ambiente (físico, biótico e socioeconômico) e a subjetividade, colocando a viabilidade ambiental dos empreendimentos aprovados como duvidosa. Para os autores:

A importância da avaliação dos impactos e da predição de sua significância é inquestionável, já que a identificação, previsão e avaliação de impactos ambientais são caracterizadas por incertezas inerentes ao caráter prévio dos estudos e garantem ou não a viabilidade de um projeto (SANDOVAL; CERRI, 2009, p. 101).

Ainda que haja muitas produções técnico-acadêmicas sobre o assunto os estudos de impacto ambiental ainda apresentam deficiências de conteúdo. Elas atingem desde a caracterização do projeto e do meio em que se pretende implantá-lo, até a identificação, a previsão e a avaliação dos impactos, apresentando também problemas de redação que dificultam o entendimento dos decisores e do público interessado (SANDOVAL; CERRI, 2009, p. 102).

Logo, é fundamental a contribuição de pesquisas que identifiquem tais deficiências e proponham metodologias voltadas para o aprimoramento dos estudos de impacto ambiental. Tal preocupação é voltada para os consultores ambientais, responsáveis pela elaboração do estudo e a implementação daquilo que consta no mesmo, não restringindo a esse público o teor dessas pesquisas, sendo também fundamental o aperfeiçoamento da prática profissional dos técnicos dos órgãos ambientais licenciadores, que apresentam uma diversidade de

procedimentos do ponto de vista de estrutura e rotina de trabalho, conforme relatado por Cruz *et al.* (2010).

Neste contexto de grande desenvolvimento metodológico da área de licenciamento ambiental de barragens, há uma grande heterogeneidade de comportamentos dos órgãos ambientais, dada a sua volatilidade de pessoal ou devido ao peso político da área ambiental sobre as decisões referentes aos grandes projetos de investimentos. As incertezas relativas aos desenvolvimentos técnico-científicos recentes, a pouca disponibilidade de pessoal qualificado nestas áreas novas, tem levado a uma grande variedade de comportamentos institucionais, resultando em processos de licenciamento que não necessariamente acompanham os avanços metodológicos refletidos em nível federal nas unidades da federação (CRUZ *et al.*, 2010, p. 48).

Portanto, os modelos de Protocolo e de Lista de Verificação a serem apresentados se justificam diante das diferenças de abordagem e rigor dos diferentes órgãos ambientais no Brasil, necessitando de instrumentos que permitam uma certa “padronização” para a avaliação de impactos ambientais de barragens, bem como representam a possibilidade de uma maior valorização dos conhecimentos geomorfológicos no momento do licenciamento ambiental das mesmas. No entanto, vale frisar, a partir do entendimento de Fonseca *et al.* (2020), que tal padronização constitui, de certa forma, uma orientação técnica, não podendo resolver todos os fatores que afetam adversamente a previsão de impactos. Além do mais, as pessoas podem ter ideias diferentes do que é “padronização” e como ela pode ser operacionalizada no contexto na AIA.

A elaboração de instrumentos de análise visa contribuir nas três fases que envolvem um EIA: elaboração, análise e implementação. Na fase de elaboração, o Termo de Referência é o documento essencial que norteará o processo. Enquanto isso, na fase de análise (revisão) pelo órgão ambiental, pode-se considerar que esse desempenha o principal papel no controle da qualidade desses estudos. Contudo, dificuldades inerentes à realidade brasileira demonstram a necessidade de aperfeiçoamento e avanços. Sánchez (2013, p. 195) considera que buscar a “[...] retenção de pessoal qualificado é um grande desafio que influencia diretamente a qualidade da revisão”.

Os instrumentos de análise têm o foco na geomorfologia, visando à avaliação dos impactos nos EIAs de barragens, no entanto ela pode ser adaptada à realidade de outras tipologias e/ou outras áreas de implantação, conforme se comprova tal papel no texto de Cavallin (1994). Como dito por Sánchez (2013), a definição de um roteiro de trabalho voltado para a previsão de impactos integra o planejamento de um EIA. O autor entende que “[...] nem todos os impactos são passíveis de previsão quantitativa, e nem todos são suficientemente

significativos para que se despenda tempo e dinheiro tentando quantificá-los, mas todos devem ser satisfatoriamente descritos e qualificados no EIA” (SÁNCHEZ, 2013, p. 290).

Apesar da ênfase na geomorfologia, vale destacar que a proposta metodológica buscou a análise integrada, também, aos meios biológico e socioeconômico. Tal conduta advém da necessidade em se integrar os conhecimentos abordados nos EIAs, de modo que tenhamos a avaliação de impactos, a proposição de medidas mitigadoras e os programas de monitoramento que busquem, ao máximo, a integração dos três meios, numa abordagem sistêmica. Esse objetivo proposto neste trabalho busca a superação comentada por Vernonez (2018, p. 122) de que:

[...] apesar da evidente participação de equipe multidisciplinar, formada por especialistas das mais variadas áreas, a análise documental indica que a análise dos impactos é limitada aos impactos de cada meio estudado (físico, biótico e socioeconômico), não havendo discussão e análise dos impactos entre as diferentes áreas estudadas. Alguns estudos apresentaram uma sessão intitulada de “análise integrada” que, em sua grande maioria, apresentou apenas uma “análise resumida” dos impactos em cada meio avaliado, não abordando questões de integração e potencialização/cumulatividade dos impactos dos diferentes aspectos ambientais no território. Essa característica limitada da análise dos impactos teve reflexos nas sugestões de medidas (mitigadoras, potencializadoras e compensatórias) que, em sua grande maioria, também se limitou a um único meio e/ou aspecto estudado.

As constatações, apontadas pela autora, ainda continuam acontecendo em outras realidades (GUTIERRES *et al.*, 2018), buscando-se, com a proposta metodológica aqui apresentada, o aperfeiçoamento dessa análise integrada. Diante do que já foi demonstrado a respeito da geomorfologia, não resta dúvida do potencial dessa ciência para atender tal desejo.

Fonseca *et al.* (2020), ao analisarem quarenta e nove EIAs no Brasil, compreendem que, no geral, os resultados sugerem a existência de um padrão de previsão na amostra: os EIAs no Brasil tendem a prever impactos mais negativos do que positivos, particularmente em áreas biofísicas. Além disso, os impactos positivos são frequentemente associados a questões socioeconômicas. Os autores apontam que as causas disso ainda não são claros e precisam de mais investigações, porém, considera que as listas preliminares de impactos tendem a ter impactos mais negativos do que positivos, enquanto que a maior parte dos impactos positivos passam a ser associados aos fatores socioeconômicos. Dentro dessa perspectiva, é possível que uma das explicações para tais problemas na previsão dos impactos esteja na atuação dos profissionais que elaboram esses estudos. Gutierrez *et al.* (2018) constataram profissionais atuando em áreas que não são de sua atribuição, ausência de profissionais de áreas específicas (especialmente para o meio socioeconômico) e o grande número de profissionais de uma mesma

área de formação em detrimento de outras profissões (que seriam necessárias). Logo, a ausência de profissionais especializados para tratar de determinados temas do EIA pode acarretar em algumas deficiências, especialmente relacionadas aos impactos ambientais, a exemplo da: não-identificação de determinados impactos ambientais; indicação de impactos genéricos; subutilização ou desconsideração de dados do diagnóstico ambiental para avaliação dos impactos ambientais (BRASIL/MPF, 2004).

Inicialmente, serão apresentadas as propostas metodológicas de elaboração e de análise de EIAs, levando em consideração os aspectos, os efeitos e os impactos ambientais relacionados às fases de planejamento, implantação e operação das barragens às formas, processos e materiais relacionados, por sua vez, à geomorfologia.

O modelo de Protocolo foi estruturado para a “elaboração do EIA”, definindo os dados que devem ser organizados e sistematizados para subsidiar o aperfeiçoamento da análise e gestão dos impactos ambientais. Sendo a “elaboração” decorrente do Termo de Referência, compreende-se que o protocolo servirá também para o desenvolvimento do roteiro voltado a orientar o aperfeiçoamento das informações e a melhoria contínua dos procedimentos que subsidiam a elaboração dos termos de referência (IBAMA, 2016).

Com relação ao Checklist voltado para a “análise técnica do EIA”, a partir das três fases de um empreendimento (Planejamento, Instalação e Operação) e os três meios elencados na Resolução CONAMA nº 01/86 para fins de elaboração do EIA, estabelecendo, quando possível, relações entre as fases, atividades, aspectos, impactos, componentes ambientais, medidas mitigadoras e programas ambientais.

Por fim, incluindo uma coluna para “Procedimentos” aplicadas às duas atividades técnicas, visando o aperfeiçoamento dos procedimentos do campo da geomorfologia e que podem ser adotados nas diversas fases do processo de AIA.

4.4.3 Elaboração e análise técnica

O Quadro 38 foca na fase de “**Planejamento**” do empreendimento, momento em que os aspectos de viabilidade locacional, tecnológica e outros requisitos são abordados, buscando entender as restrições e as possibilidades de uso da área a ser implantado o empreendimento. Já nessa fase a análise integrada é essencial, buscando correlacionar a geomorfologia aos outros elementos do meio físico, bem como em relação aos componentes contemplados no meio biótico e no meio socioeconômico, de modo a orientar um melhor uso e uma melhor ocupação da área do empreendimento.

Para o **meio físico**, foram contemplados quinze quesitos nos seguintes temas geomorfológicos: “processos e dinâmica geomorfológica”, “impactos geomorfológicos”, “mapeamento”, “geodiversidade⁴¹ e etnogeomorfologia” e “legislação aplicada à geomorfologia”. A maior parte, oito, compreendem o tema “processos e dinâmica geomorfológica”, sendo algo inerente às barragens, seguido pelos “impactos geomorfológicos”, “mapeamento” e pela “geodiversidade e etnogeomorfologia”, cada um com dois quesitos. Finalmente, o tema “legislação aplicada à geomorfologia” registrou um quesito. Apesar de utilizado o tema “geomorfologia fluvial” nas outras fases (instalação e operação), para a etapa de planejamento nenhum quesito foi enquadrado nesse tema.

Os quesitos dos “processos e dinâmica geomorfológica” foram voltados para a análise da escolha das áreas de bota-fora (PMF1), que contempla a dinâmica geomorfológica como um dos parâmetros para a definição dessas áreas, a serem utilizadas durante a obra, através da indicação e delimitação, tanto das áreas recomendadas, como das não recomendadas. Logo, a importância desse quesito não se restringe aos possíveis impactos negativos durante a etapa de construção, e nem na etapa de operação, porém, também é importante no planejamento da obra, pois, a partir de uma atividade de mapeamento, validação dos dados no campo e análise da legislação ambiental, é possível evitar que as áreas de bota fora se localizem em terrenos com restrições legais ou otimizem o planejamento para outros usos.

O quesito PMF2 foca nas alternativas locais, conforme o entendimento dos autores citados na revisão da literatura, de que a geomorfologia constitui um dos fatores ambientais para a definição das alternativas locais da futura barragem, com a vantagem de contribuir para a escolha da alternativa menos impactante ao meio ambiente e que, ao mesmo tempo, garanta um nível de segurança na estabilidade da obra.

Os processos erosivos encontram-se contemplados nos quesitos PMF3 e PMF4, tendo o primeiro o objetivo de avaliar o grau de suscetibilidade à erosão da bacia de drenagem, focando na avaliação do potencial da geomorfologia local para a transferência dos sedimentos aos corpos d’água e o consequente assoreamento. Tal processo é o foco do item PMF8, que busca identificar e avaliar a ocorrência de depósitos de assoreamento nos cursos d’água principais, associando à configuração e a dinâmica geomorfológica, a partir de um viés histórico. Portanto, necessitando que se busquem e interpretem as fotografias aéreas e imagens

⁴¹“A geodiversidade pode ser entendida como a variedade de elementos geológicos que suportam a vida e funcionam como substrato para o desenvolvimento humano. Suplementa a noção corrente de biodiversidade como mais um elemento do meio natural a ser avaliado na caracterização de um dado território, seja para protegê-lo, seja para ordenar sua ocupação ou uso” (MANSUR, 2018, p.4).

de satélite atuais e antigas, além do levantamento com drone, como exemplos de procedimentos que podem ser adotados.

O quesito PMF4 tem a finalidade de que seja feita uma análise da situação atual da ocorrência dos processos erosivos nas áreas inseridas na ADA - a montante e a jusante do futuro reservatório. Logo, com o intuito de ter um diagnóstico prévio (antes do início da obra) dos processos erosivos. O objetivo do item PMF5 é ampliar a preocupação com os processos erosivos nas margens do futuro reservatório, devido a sua capacidade de fornecimento de sedimentos ser maior e num tempo menor, caso não sejam adotadas medidas para minimizar tais processos. Para isso, propõe-se a avaliação da propensão a suscetibilidade para a ocorrência dos processos erosivos e que sejam estabelecidos cenários da evolução dos mesmos.

Os quesitos PMF6 e PMF7 dedicam um foco especial nas áreas degradadas, decorrentes dos processos erosivos e dos movimentos de massa. Para as duas situações, a orientação é que tais áreas degradadas sejam identificadas, com o estabelecimento dos percentuais para os processos ativos, estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de feições erosivas ou movimentos de massa por km², sendo fundamentais as atividades de campo e de mapeamento.

Nos quesitos dos “impactos geomorfológicos”, a ênfase é dada à abertura de acessos (PMF9), que, normalmente, favorece a retirada da vegetação, compactação do solo, instabilidade de taludes e erosão/assoreamento. Sendo assim, a orientação é que sejam identificados e analisados os possíveis impactos geomorfológicos resultantes da abertura de acessos na fase de projeto. Enquanto que para a execução de sondagens (PMF10) devem ser tomadas as mesmas medidas do quesito anterior, no entanto, tal atividade resulta em impactos particulares, a exemplo da geração de fluxos d’água concentrados, quando das sondagens rotativas, devendo considerar o risco de erosões localizadas, principalmente no caso de realizadas ao longo das encostas com ausência de vegetação de médio ou grande porte.

Nos quesitos ligados ao “mapeamento”, a preocupação recai na espacialização das características dos solos, dos usos do solo, drenagem e estrutura fundiária e as suas relações com a geomorfologia, tanto na ADA como na AID (PMF11), assim como o mapeamento hidrográfico, no intuito de projetar eventos de cheia no rio principal, possibilitando diagnosticar a rede de drenagem da área do projeto, de modo a subsidiar a não supressão ou aterramento de cursos-d’água ou de nascentes (PMF12).

A preocupação com a “geodiversidade e a etnogeomorfologia” devem permear o EIA desde a fase de planejamento, visto que a ausência do início das obras possibilita que a equipe elaboradora do estudo possa avaliar as áreas de beleza cênica, a partir do critério da

geodiversidade, especialmente na Área Diretamente Afetada (ADA) e na Área de Influência Direta (AID), tanto na situação atual (sem o barramento do rio) como após o barramento, por meio da simulação do represamento, com a espacialização e a quantificação de possíveis perdas. Essa é a orientação dos quesitos PMF13 e PMF14, sendo o primeiro restrito a geodiversidade, enquanto que o quesito seguinte contempla os serviços ecossistêmicos anteriores e posteriores às obras e à operação da barragem.

Por fim, o item PMF15 aborda uma questão central em qualquer obra de engenharia, que é a viabilidade legal, que no caso apresentado seria a verificação das restrições legais de cunho geomorfológico para a construção e a operação da barragem, tendo como referência as alternativas locacionais indicadas e as suas respectivas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs). Tal ação é fundamental para que se evitem alterações substanciais no projeto, perda de tempo decorrente de exigências no licenciamento ambiental ou por demandas oriundas do Ministério Público ou de ações judiciais.

No **meio biológico** foram elencados seis quesitos, compreendendo quatro temas, com dois não contemplados no meio físico: “geomorfologia fluvial” e “geomorfologia e ecologia”. Os quesitos foram bem distribuídos, sendo dois enquadrados no tema “mapeamento” e os outros dois em “geomorfologia e ecologia”, enquanto que os outros dois temas (“legislação aplicada à geomorfologia” e “geomorfologia fluvial”) apresentaram um quesito cada.

O quesito PMB1 tem o objetivo de, inicialmente, identificar e espacializar os fragmentos de vegetação, decorrentes do enquadramento geomorfológico, associados à presença de áreas protegidas (especialmente APPs, Unidades de Conservação e Reserva Legal) e, posteriormente, indicando a perda desses fragmentos devido o enchimento do reservatório. O quesito PMB2 visa mapear a distribuição da cobertura vegetal, não protegida legalmente, antes do início das obras, associando as unidades geomorfológicas identificadas na área estudada para o licenciamento ambiental da barragem. O quesito PMB3 propõe uma abordagem específica para as florestas nativas, objetivando correlacionar a existência de restrições geomorfológicas (de ordem legal ou de uso antrópico). Sendo assim, a ideia é de que tais “restrições geomorfológicas” sejam decorrentes de limitações da própria legislação (federal, estadual ou municipal) ou para o uso antrópico (a exemplo do uso para fins de agricultura, habitação etc.).

Já os quesitos PMB4 e PMB5, enquadrados no tema “geomorfologia e ecologia”, têm o objetivo de estabelecer a relação entre a geomorfologia, cobertura vegetal e a fauna. No caso do primeiro quesito busca-se por identificar e apresentar possíveis locais de refúgio da fauna terrestre, que tome como referência a correlação entre as unidades geomorfológicas e a cobertura vegetal em cada uma. Esta verificação pode ser de grande importância para o estudo

do meio biológico, como também para o projeto construtivo do empreendimento, que pode passar por alterações como consequência do que for obtido dessa análise. Enquanto isso, o PMB5 aborda os reflexos das futuras alterações morfológicas no estabelecimento da cobertura vegetal e da fauna associada. Novamente um quesito focado na relação entre aspectos construtivos, geomorfologia e meio biológico. Já o quesito PMB6, enquadrado no tema “geomorfologia fluvial”, visa estabelecer o nível de influência da morfologia e da dinâmica fluvial na composição da ictiofauna presente na região, especialmente na distribuição longitudinal das espécies.

O **meio antrópico** teve quatro quesitos elencados, sendo dois para o tema “geodiversidade e etnogeomorfologia” e dois para “impactos geomorfológicos”.

Em se tratando da etapa de planejamento, os quesitos do meio antrópico versam sobre as expectativas sociais com relação ao projeto e às consequências no uso dos ambientes naturais (processos geomorfológicos, desmatamento e alterações na morfologia) das atividades econômicas e sociais na região. Para isso, o quesito PMA1 busca obter as percepções, preocupações e conhecimentos geomorfológicos da população, que vivencia o ambiente (etnogeomorfologia) e será afetada pela obra, a respeito dos processos geomorfológicos que ocorrem na área, visando um melhor manejo geomorfológico durante as fases de construção e de operação da barragem. A lógica da é que, mesmo o mais bem preparado profissional da geomorfologia e da AIA, cada local possui a sua dinâmica e as suas particularidades, inclusive no aspecto temporal da recorrência de processos geomorfológicos e consequentes alterações. Logo, situações que podem ser melhor testemunhadas por aqueles que residem numa determinada localidade e que, mesmo sem ter o conhecimento técnico-científico, podem ofertar aos profissionais, caminhos para um melhor diagnóstico e previsão dos impactos no campo da geomorfologia.

Além disso, outra preocupação é com relação ao levantamento da geodiversidade local, tanto pela equipe técnica quanto pela população local, por meio da etnogeomorfologia, de modo a entender como a construção e a operação da barragem podem afetar a geodiversidade local, e os possíveis reflexos para as atividades econômicas e de lazer, vinculadas a tal aspecto. É o que propõe o quesito PMA2, que tem a finalidade de identificar e avaliar as atividades (econômicas – agricultura, indústria, turismo -, lazer, entre outras) desenvolvidas na área, principalmente na ADA e na AID, que estabeleçam relação com a geodiversidade existente no local e os seus serviços. Mansur (2018) explica que são relevantes os serviços prestados pela geodiversidade e que eles podem sofrer ameaças, podendo ser por processos naturais, mas, principalmente, decorrentes das alterações do meio natural diretamente pelo homem, através da ocupação e uso

para os diversos fins, resultando em danos resultantes do uso inadequado da geodiversidade. Essas ameaças são elencadas por Gray (2013): extração mineral; aterros e recuperação de áreas mineradas; expansão urbana; gestão de zonas costeiras e obras de engenharia; desmatamento e revegetação; agricultura; mudanças no uso das terras; turismo e lazer; coleta de amostras; mudanças climáticas e do nível do mar; incêndios; atividades militares; falta de informações/educação.

No quesito PMA3, o foco recai sobre a identificação e os possíveis impactos geomorfológicos resultantes de lavras clandestinas na área da bacia hidráulica e no entorno, como consequência das expectativas sociais com o futuro projeto. É mais uma ação a ser realizada antes do início da construção da barragem. Também uma outra ação resultante das expectativas sociais com o futuro empreendimento, é com relação ao aumento do desmatamento, motivado por uma maior expectativa social e a finalidade de identificar os possíveis impactos geomorfológicos, especialmente na área do futuro reservatório (PMA4).

Quadro 38 – Modelo de Protocolo das atividades técnicas de elaboração e análise técnica do EIA – FASE: PLANEJAMENTO

MEIO FÍSICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA ANÁLISE TÉCNICA
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA			
PMF1	Analise, previamente, a dinâmica geomorfológica local para a definição das áreas de bota-fora da obra, indicando as áreas recomendadas e não recomendadas, durante a fase de construção.	Atividade de campo; mapeamento.	A dinâmica geomorfológica foi considerada como um dos parâmetros para a definição das áreas de bota-fora, a serem utilizadas durante a obra, tendo sido indicadas e delimitadas as áreas recomendadas e não recomendadas?
PMF2	Considere a geomorfologia como um dos fatores ambientais para a definição das alternativas locais para a barragem, de modo a contribuir na escolha da alternativa com menor quantidade de impactos.	Levantamento documental; atividade de campo; análise da legislação; mapeamento.	A geomorfologia foi considerada como um dos fatores ambientais para a definição das alternativas locais para a barragem?
PMF3	Avalie o grau de suscetibilidade à erosão da(s) bacia(s) de drenagem e indique o potencial da geomorfologia para transferir os sedimentos aos corpos d'água.	Atividades de campo; análise de laboratório; atividades de mapeamento.	Foi avaliado o grau de suscetibilidade à erosão da(s) bacia(s) de drenagem e indicado o potencial da geomorfologia para transferir os sedimentos aos corpos d'água?
PMF4	Analise a situação atual da ocorrência de processos erosivos nas áreas inseridas na ADA - a montante e a jusante.	Atividades de campo; análise de laboratório; mapeamento.	Foram identificados os processos erosivos que podem nas áreas inseridas na ADA - a montante e a jusante?
PMF5	Delimite os trechos das margens do futuro reservatório e avalie a propensão à suscetibilidade aos processos erosivos e os cenários da sua evolução.	Atividades de campo; análise de laboratório; mapeamento.	Foi realizada a delimitação simulada dos trechos das margens do futuro reservatório, tendo sido analisada a dinâmica das áreas, destacando a suscetibilidade para ocorrência dos processos erosivos e os cenários da sua evolução?
PMF6	Identifique as áreas degradadas por processos erosivos, estabelecendo percentuais para os processos ativos e estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de feições erosivas/km ² .	Atividades de campo; mapeamento.	Foram identificadas as áreas degradadas por processos erosivos, tendo sido estabelecidos os percentuais para os processos ativos, estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de feições erosivas/km ² ?
PMF7	Identifique as áreas degradadas por movimentos de massa, estabelecendo percentuais para os processos ativos e estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de movimentos de massa/km ² .	Atividades de campo; mapeamento.	Foram identificadas as áreas degradadas por movimentos de massa, tendo sido estabelecidos os percentuais para os processos ativos e estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de movimentos de massa/km ² ?

PMF8	Identifique e avalie a ocorrência de depósitos de assoreamento nos cursos-d'água principais, associando a configuração e a dinâmica geomorfológica, a partir de um viés histórico.	Fotografias aéreas atuais e históricas, imagens de satélite. Interpretação visual de imagens de satélite; levantamento com drone.	Foi identificada e avaliada a existência de depósitos de assoreamento nos cursos-d'água principais, associando à configuração e à dinâmica geomorfológica, a partir de um viés histórico?
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS			
PMF9	Identifique e analise os possíveis impactos geomorfológicos decorrentes da “abertura de acessos”, na fase de projeto (a exemplo da retirada da vegetação, compactação do solo, instabilidade de taludes e erosão/assoreamento).	Atividades de campo; imagens de satélite; mapeamento.	Foi realizada a identificação e a análise dos possíveis impactos geomorfológicos decorrentes da “abertura de acessos”, na fase de projeto?
PMF10	Identifique e analise os possíveis impactos geomorfológicos decorrentes da “execução de sondagens”, na fase de projeto (a exemplo da geração de fluxos-d'água concentrados, quando das sondagens rotativas, devendo considerar o risco de erosões localizadas, e caso se localizem ao longo das encostas com ausência de vegetação de médio ou grande porte).	Atividades de campo; material cartográfico.	Há a identificação e a análise dos impactos geomorfológicos decorrentes da “execução de sondagens”, na fase de projeto?
MAPEAMENTO			
PMF11	Espacialize e descreva as características dos solos, do uso e ocupação da terra, drenagem e da estrutura fundiária, correlacionando à geomorfologia da área, a partir da delimitação da ADA e da AID.	Atividades de campo; imagens de satélite; GPS, análise documental; material cartográfico.	Foram elaborados os mapeamentos referentes aos solos, uso e ocupação da terra, drenagem e estrutura fundiária, correlacionando à geomorfologia da área, a partir da delimitação da ADA e da AID?
PMF12	Elabore o mapeamento hidrográfico da área do empreendimento e simule os eventos de cheia no rio principal, de modo a evitar a supressão vegetal ou o aterramento de cursos d'água ou nascentes.	Atividades de mapeamento; atividades de campo.	Foi realizado o mapeamento hidrográfico da área do empreendimento e a simulação de eventos de cheia no rio principal, para fins de planejamento das áreas sujeitas à supressão da vegetação e/ou aterramento de cursos d'água ou nascentes?
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA			
PMF13	Identifique e avalie as áreas de beleza cênica, a partir do critério da geodiversidade, na Área Diretamente Afetada (ADA) e na Área de Influência Direta (AID), na situação atual (antes do início da obra) e após o enchimento do reservatório, por meio da simulação do	Atividades de campo; imagens de satélite; mapeamento.	Foi apresentada a avaliação das áreas de beleza cênica, a partir do critério da geodiversidade, na Área Diretamente Afetada (ADA) e na Área de Influência Direta (AID), antes do início da obra e após o enchimento do reservatório, por meio da espacialização e quantificação de possíveis perdas?

	represamento, com a espacialização e quantificação de possíveis perdas.		
PMF14	Avalie as áreas de importância geomorfológica para os serviços ecossistêmicos, na situação atual (antes do início da obra) e após o enchimento do reservatório, por meio da simulação do represamento, com a espacialização e quantificação de possíveis perdas.	Atividades de campo; mapeamento.	Foi apresentada a avaliação das áreas de importância geomorfológica para os serviços ecossistêmicos, na situação atual (antes do início da obra) e após o enchimento do reservatório, por meio da espacialização e quantificação de possíveis perdas?
LEGISLAÇÃO APLICADA À GEOMORFOLOGIA			
PMF15	Identifique as restrições legais de cunho geomorfológico para a construção e a operação da barragem, tendo como referência as alternativas locais e as suas respectivas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) delimitadas.	Análise da legislação (federal, estadual e municipal); atividade de campo; mapeamento,	As restrições legais de cunho geomorfológico foram identificadas e verificadas para fins de construção e da operação da barragem, tendo como referência as alternativas locais e as suas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) delimitadas?
MEIO BIOLÓGICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA ANÁLISE TÉCNICA
MAPEAMENTO			
PMB1	Espacialize e quantifique, percentualmente, a vegetação existente antes do início da obra e a perda da vegetação decorrente do enchimento do reservatório, classificada como Área de Preservação Permanente (APP), decorrente do enquadramento geomorfológico.	Análise da legislação; atividade de campo; mapeamento.	Foram apresentados o mapeamento e a quantificação percentual da vegetação existente antes do início da obra e a perda da vegetação decorrente do enchimento do reservatório, classificada como Área de Preservação Permanente (APP), decorrente do enquadramento geomorfológico?
PMB2	Identifique e mapeie a distribuição da cobertura vegetal associando as unidades geomorfológicas presentes na área do empreendimento.	Atividade de campo; mapeamento.	Foi apresentado um mapeamento, correlacionando a distribuição da cobertura vegetal e as unidades geomorfológicas?
LEGISLAÇÃO APLICADA À GEOMORFOLOGIA			
PMB3	Verifique se as florestas nativas são representativas na área e se essa distribuição geográfica está correlacionada as limitações geomorfológicas (legais e/ou de uso antrópico).	Atividade de campo; imagens de satélite; mapeamento.	Foi verificada a existência de fragmentos de florestas nativas na área, a partir da correlação das limitações geomorfológicas legais e/ou de uso antrópico?
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA			

PMB4	Identifique e apresente possíveis locais de refúgio da fauna terrestre, a partir das relações entre as unidades geomorfológicas e da cobertura vegetal (podendo fazer uso do que foi obtido com a aplicação dos quesitos PMB1, PMB2 e PMB3).	Atividade de campo; inventário faunístico; mapeamento.	Foram identificados e apresentados possíveis locais de refúgio da fauna terrestre, a partir das unidades geomorfológicas e da cobertura vegetal?
PMB5	Avalie se as alterações morfológicas, decorrentes do projeto, irão favorecer o estabelecimento de vegetação específica com a fauna associada.	Atividade de campo; imagens de satélite; mapeamento.	Foram avaliadas se as alterações morfológicas, decorrentes do projeto, irão favorecer o estabelecimento de vegetação específica com a fauna associada?
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL			
PMB6	Estabeleça o nível de influência do relevo na composição da ictiofauna presente na região, especialmente na distribuição longitudinal das espécies.	Atividade de campo; mapeamento.	Foram apresentados os níveis de influência do relevo na composição da ictiofauna presente na região, especialmente na distribuição longitudinal das espécies?
MEIO ANTRÓPICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA ANÁLISE TÉCNICA
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA			
PMA1	Aplice metodologias voltadas para a obtenção das percepções, preocupações e conhecimentos geomorfológicos da população, que vivencia o ambiente (etnogeomorfologia) e será afetada pela obra, a respeito dos processos geomorfológicos que ocorrem na área, visando um melhor manejo geomorfológico durante as fases de construção e de operação da barragem.	Atividade de campo; aplicação de questionários.	Foram obtidas as percepções, preocupações e conhecimentos geomorfológicos da população, que vivencia o ambiente (etnogeomorfologia) e será afetada pela obra, a respeito dos processos geomorfológicos que ocorrem na área, visando um melhor manejo geomorfológico durante as fases de construção e de operação da barragem?
PMA2	Identifique e avalie as atividades econômicas, de lazer (e outras), que têm relação com a geodiversidade local identificada.	Atividade de campo; mapeamento; aplicação de questionário e realização de entrevistas.	Foram identificadas e avaliadas as atividades econômicas, de lazer (e outras), que tenham relação com a geodiversidade local identificada?
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS			
PMA3	Identifique a existência e os possíveis impactos geomorfológicos atuais decorrentes de lavras clandestinas na área da bacia hidráulica e no entorno, decorrentes da ocorrência de expectativas sociais com o futuro projeto.	Atividade de campo; mapeamento, GPS.	Foram estabelecidos os impactos geomorfológicos de lavras clandestinas na área da bacia hidráulica e no entorno, decorrentes da ocorrência de expectativas sociais com o futuro projeto?

PMA4	Identifique os possíveis impactos geomorfológicos decorrentes do incremento do desmatamento, diante das expectativas sociais, especialmente na área do futuro reservatório, resultando em possíveis alterações na morfologia.	Atividade de campo; imagens de satélite; mapeamento.	Foram identificados os possíveis impactos geomorfológicos por conta do incremento do desmatamento, diante das expectativas sociais, especialmente na área do futuro reservatório, resultando em possíveis alterações na morfologia?
-------------	---	--	---

Fonte: o autor (2019).

Legenda: PMF – Planejamento Meio Físico; PMB – Planejamento Meio Biológico; PMA – Planejamento Meio Antrópico.

Nos modelos de Protocolo (elaboração) e da Lista de Verificação (análise) da fase de planejamento, foram elencados quinze quesitos para o “Meio Físico”, seis para o “Meio Biológico” e quatro para o “Meio Antrópico”. Vale destacar que, nessa fase, é pertinente aos profissionais da equipe elaboradora e aos técnicos do órgão ambiental buscarem a obtenção de dados e troca de informações com a Agência e o Comitê de Bacia Hidrográfica que abrangem o rio a ser barrado e os demais cursos-d’água impactados (ou mais de um, caso seja necessário).

Conforme o objetivo, a proposta apresentada visa à centralidade do objeto de estudo – a geomorfologia –, porém, não deixando a análise sistêmica-integrada com outras áreas do conhecimento contempladas no EIA. Ao abordar o desenvolvimento e a aplicação das bases conceituais e teórico-metodológicas da geomorfologia na perícia ambiental, Mantovani e Rodrigues (2018, p. 74) explicam que o olhar de conjunto e a abordagem multiescalar, no tempo e no espaço, constituem “[...] as principais características e metas da disciplina, que permitem o entendimento mais completo dos processos geomorfológicos, seu dimensionamento espacial, e a compreensão da duração e da permanência destes processos”. Logo, tais características irão permitir o estabelecimento de previsões e prognósticos de futuras dinâmicas dos processos geomorfológicos e das mudanças ambientais, comuns durante a vida útil de uma barragem. Portanto, propõe-se a aplicação do referencial teórico-metodológico da geomorfologia na AIA, com o objetivo de identificar, avaliar e monitorar os impactos e os danos ao sistema ambiental (o que inclui as comunidades humanas), no intuito de implementar ações preventivas e mitigadoras aplicadas aos riscos geomorfológicos.

Continuando a proposição de um modelo de Protocolo para a elaboração do EIA e um modelo de Lista de Verificação para a sua análise, especialmente por parte do órgão ambiental licenciador, o Quadro 39 foca na fase de “**Instalação**” do empreendimento, caracterizada como uma etapa de consideráveis impactos geomorfológicos.

Para o **meio físico**, os quesitos foram enquadrados nos seguintes temas geomorfológicos: “processos e dinâmica geomorfológica”, “impactos geomorfológicos”, “mapeamento”, “geodiversidade e etnogeomorfologia” e “geomorfologia fluvial”. A maioria foi enquadrada no tema “processos e dinâmica geomorfológica”, num total de dezoito quesitos.

O quesito IMF1 aborda a possível necessidade da construção de pontes e outras obras de engenharia (excluindo a estrutura da barragem), devendo proceder a identificação e a avaliação das possíveis influências dessas construções na geomorfologia local, especialmente na geomorfologia fluvial.

O IMF2 trata do “desvio do rio”, ação inerente a construção de uma barragem, propondo a avaliação das consequências para a geomorfologia fluvial do curso d’água a ser barrado, decorrentes das obras de desvio do rio durante a fase de construção, que para cada caso apresentará um tempo específico para esse desvio, bem como as particularidades da dinâmica fluvial em cada realidade.

O quesito IMF3 aborda as áreas de empréstimo de materiais pétreos/terrosos, sendo necessária a avaliação do grau de suscetibilidade para a ocorrência de processos geomorfológicos e as alterações significativas na morfologia terrestre e/ou fluvial resultantes dessa atividade desenvolvida ao longo da construção da barragem.

Nos quesitos IMF4 e IMF5, a preocupação recai em elaborar um diagnóstico da geomorfologia da área, por meio da caracterização e análise dos processos geomorfológicos, tanto voltados para a construção da barragem principal como da barragem auxiliar.

Nos itens seguintes (IMF6 – IMF10), os mesmos estabelecem a relação da geomorfologia com outros elementos do meio físico (clima, IMF6; geologia, IMF7; solos, IMF8; hidrogeologia, IMF9; e hidrologia superficial, IMF10) e a avaliação da suscetibilidade das áreas à ocorrência de processos geomorfológicos, de modo a contribuir com o planejamento da execução da obra, evitando “surpresas geomorfológicas”. Em especial, o item IMF 8 (“Identifique os tipos de solos e analise a suscetibilidade aos processos erosivos, movimentos de massa e outros processos da dinâmica superficial, pelo viés geomorfológico”) é um exemplo de quesito que necessita dos dados gerados pela coleta e análise laboratorial dos solos, conforme demonstrado nos itens 4.1.4 (Coleta de amostras de solo e análise de solo – barragem de Igarapeba) e 4.2.4 (Coleta de amostras de solo e análise laboratorial – barragem Serro Azul).

Os itens (IMF11, IMF12, IMF13 e IMF14) abordam a implementação de soluções para que evitem ou minimizem os processos geomorfológicos. No item IMF11, destaca-se a necessidade de indicar a criação de gradientes suaves e evitar declives acentuados na área da construção, de forma a evitar ou minimizar a ocorrência e os efeitos dos processos da dinâmica superficial, especialmente os processos erosivos e de movimentos de massa. O quesito IMF12 foca na indicação dos locais para a instalação de sistemas de drenagem adequados, principalmente nas encostas sujeitas aos processos da dinâmica superficial, o que complementa o item anterior, no que tange à impossibilidade de evitar declives acentuados. Já o item IMF13, que tem o intuito em avaliar as áreas com grandes extensões de solo exposto e sujeitas aos processos erosivos eólicos, apesar de possível de ocorrer, estaria mais restrito aos locais em que a velocidade dos ventos, juntamente com outros fatores naturais, favoreçam a ocorrência de uma intensa erosão eólica. O IMF14 trata da implementação de ações que visem evitar ou

minimizar a compactação do solo durante a construção da barragem, de modo a evitar que, após a conclusão da obra e enchimento do reservatório, tais áreas passem a favorecer a deflagração de processos geomorfológicos, especialmente os erosivos e de movimentos de massa, o que irá contribuir com um assoreamento mais intenso no lago.

Já os itens IMF15 a IMF21 contemplam a infraestrutura, ações e atividades essenciais e inerentes à etapa de construção de uma barragem, a exemplo da instalação/funcionamento/desmobilização do canteiro de obras (IMF15) e do acampamento (IMF16), dos movimentos de terra – escavação, cortes, aterros, bota-fora etc. (IMF17), da escavação de áreas de empréstimo nas áreas a montante da barragem (IMF18), de serviços de terraplenagem (IMF19), da limpeza da área do eixo da barragem (IMF20) e do enchimento do reservatório e da possível instabilidade das encostas (IMF21). Vale frisar que todos os aspectos citados foram abordados no item 2, “Revisão da literatura”, e são analisados numa perspectiva geomorfológica, de forma que a morfologia e os processos geomorfológicos sejam menos afetados o máximo possível durante a fase de construção da barragem.

Os quesitos IMF15 e IMF16 têm a preocupação da análise e indicação do(s) local(is) para a instalação, operação e desmobilização do canteiro de obras e do acampamento, respectivamente, levando em consideração a ocorrência de processos geomorfológicos e de ações impactantes para a geomorfologia (criação de cortes e aterros com risco de instabilidade de taludes/encostas; erosão e assoreamento; desmate e decapeamento/compactação dos solos; formação de cavas de materiais escavados).

O quesito IMF17 tem o movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora) como objeto de análise, necessitando que sejam indicados e avaliados os impactos geomorfológicos resultantes desse tipo de ação durante a obra da barragem. No IMF18 busca-se a indicação e o detalhamento da recomposição do relevo com a finalidade de evitar a instabilidade de taludes/encostas submersos, resultantes da escavação de áreas de empréstimo nas áreas a montante da barragem, em especial aquelas localizadas em cotas inferiores ao do nível máximo do reservatório. O quesito seguinte (IMF19) visa indicar e avaliar as atividades de terraplenagem em áreas menos propensas aos processos geomorfológicos e gerando menos mudanças na paisagem geomorfológica local.

O IMF20 propõe a indicação e a avaliação dos efeitos geomorfológicos decorrentes da limpeza da área do eixo da barragem, enquanto que o IMF21 propõe que sejam indicados e avaliados os procedimentos a serem implementados para minimizar ou evitar a instabilidade das encostas por conta do enchimento do reservatório, o que, já de início, pode acarretar na deposição de um grande volume de sedimentos para o lago da barragem.

O quesito IMF22 também aborda um cenário de transição da construção para a operação do empreendimento, quando propõe, a partir de parâmetros geomorfológicos, a avaliação e a definição de novas áreas para a abertura e a operação das vias de acesso e a intensificação de uso daquelas abertas na fase de projeto. O último quesito do meio físico aborda as possíveis consequências da retirada de materiais das áreas de empréstimo para os elementos da geodiversidade identificados na ADA e na AID.

No **meio biológico**, apenas um quesito foi inserido, enquadrado no tema “geomorfologia e ecologia”, para tratar dos efeitos do possível aumento de sedimentos, a jusante da obra, para a fauna e a flora, já que a movimentação de terra e outras atividades durante a construção da barragem constituem em fontes de sedimentos, caso não sejam tomadas as medidas para minimização. Portanto, demonstrando como a dinâmica geomorfológica estabelece relações com a flora e a fauna de uma determinada área.

No **meio antrópico**, somente dois quesitos são apresentados: um relacionado ao tema “dinâmica geomorfológica e atividades econômicas” e outro enquadrado no tema “impactos geomorfológicos”. O primeiro busca analisar as repercussões que a alteração do relevo, durante a construção da barragem, pode gerar para as atividades econômicas (turismo, mineração e agropecuária) e lazer. O outro item versa sobre a possibilidade do canteiro de obras ser reintegrado à paisagem local, com ênfase na geomorfologia local.

Quadro 39 – Modelo de Protocolo das atividades técnicas de elaboração e análise técnica do EIA – FASE: INSTALAÇÃO

MEIO FÍSICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA A ANÁLISE TÉCNICA
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS			
IMF1	Caso seja necessária a construção de pontes e outras obras de engenharia (excluindo a estrutura da barragem), identifique e avalie as possíveis influências dessas construções na geomorfologia local.	Atividade de campo; mapeamento.	Foram identificadas e avaliadas as possíveis influências de outras construções (exceto a barragem) impactantes para a geomorfologia local?
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL			
IMF2	Avalie as consequências para a geomorfologia fluvial do curso-d'água a ser barrado, decorrentes das obras de desvio do rio durante a fase de construção.	Atividade de campo; mapeamento.	Foram identificadas e avaliadas as consequências para a geomorfologia fluvial do curso-d'água a ser barrado, decorrentes das obras de desvio do rio durante a fase de construção?
IMF3	Nas áreas de retirada de materiais pétreos/terrosos, avalie o grau de suscetibilidade para a ocorrência de processos geomorfológicos e as alterações significativas na morfologia terrestre e/ou fluvial.	Atividade de campo; projetos de engenharia; mapeamento; análise laboratorial.	Houve a avaliação do grau de suscetibilidade de possíveis alterações na morfologia terrestre e/ou fluvial decorrentes da retirada de materiais pétreos/terrosos, da(s) área(s) de empréstimo(s)?
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA			
IMF4	Avalie a geomorfologia local e analise os processos geomorfológicos na execução da construção da barragem auxiliar.	Atividade de campo; mapeamento; projetos de engenharia.	Verifica-se a avaliação e a análise dos processos geomorfológicos pertinentes à execução da construção da barragem auxiliar?
IMF5	Avalie a geomorfologia local e analise os processos geomorfológicos na execução da construção da barragem principal.	Atividade de campo; mapeamento; projetos de engenharia.	Verifica-se a avaliação e a análise dos processos geomorfológicos pertinentes à execução da construção da barragem principal?
IMF6	Estabeleça a relação espaço-temporal entre os elementos climáticos atuantes e a suscetibilidade a deflagração dos processos geomorfológicos, indicando e avaliando as áreas mais suscetíveis,	Dados climatológicos; atividade de campo; mapeamento.	Foram indicadas e avaliadas as áreas mais suscetíveis à deflagração de processos geomorfológicos, durante a construção, a partir da relação espaço-temporal entre os elementos climáticos e a geomorfologia?

	de forma a contribuir com o planejamento da construção.		
IMF7	Estabeleça a relação entre os aspectos geológicos e a suscetibilidade a deflagração dos processos geomorfológicos, indicando e avaliando as áreas mais suscetíveis, de forma a contribuir com o planejamento da construção.	Atividade de campo; mapeamento; análise laboratorial.	Foram indicadas e avaliadas as áreas mais suscetíveis à deflagração de processos geomorfológicos, durante a construção, a partir da relação entre os elementos geológicos e a geomorfologia?
IMF8	Identifique os tipos de solos e analise a suscetibilidade aos processos erosivos, movimentos de massa e outros processos da dinâmica superficial, pelo viés geomorfológico.	Atividade de campo; coleta de material/análise laboratorial; mapeamento (utilizar os seguintes parâmetros: declividade, comprimento de rampa, amplitude altimétrica e densidade de drenagem e grau de dissecação do relevo).	Houve a identificação e a análise da suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial por um foco geomorfológico, a partir dos tipos de solos e dos resultados da análise granulométrica?
IMF9	Avalie as possíveis influências da hidrogeologia na ocorrência de processos subsuperficiais e os seus reflexos para a geomorfologia da área.	Relatórios hidrogeológico e de sondagem; atividade de campo; mapeamento.	Foram avaliadas as possíveis influências da hidrogeologia na ocorrência de processos subsuperficiais e os seus reflexos para a geomorfologia da área?
IMF10	Avalie as possíveis influências da dinâmica hidrológica superficial da área na ocorrência de processos e os seus reflexos para a geomorfologia local.	Dados hidrológicos; mapeamento; atividade de campo.	Foram avaliadas as possíveis influências da dinâmica hidrológica superficial da área na ocorrência de processos, especialmente focada nos recursos hídricos superficiais e os seus reflexos para a geomorfologia local?
IMF11	Indique e avalie as áreas que devem contemplar a criação de gradientes suaves e aquelas em que se devem evitar os declives acentuados durante a construção da barragem.	Atividades de campo; dados da análise laboratorial das coletas de solo; mapeamento.	Foram indicadas e avaliadas as áreas que devem contemplar a criação de gradientes suaves e aquelas em que se deve evitar os declives acentuados durante a construção da barragem?
IMF12	Diante do diagnóstico geomorfológico realizado, indique a instalação de sistemas de drenagem adequados para direcionar a água para longe das encostas.	Atividade de campo; mapeamento; projetos de engenharia.	Foi indicada a instalação de sistemas de drenagem nas encostas sujeitas aos processos da dinâmica superficial?
IMF13	Avalie a necessidade da indicação de soluções, a exemplo da implantação de quebra-ventos, para as áreas com grandes extensões de solo exposto e sujeitas aos processos erosivos eólicos.	Atividade de campo; mapeamento; dados climatológicos; análise laboratorial.	Foram avaliadas e identificadas as áreas de solo exposto sujeitas a processos erosivos eólicos e indicadas possíveis soluções?

IMF14	Indique e avalie a implementação de ações que evitem a compactação do solo durante a execução da obra (exemplos: evitar dirigir sobre o solo ou usar pneus largos para espalhar o peso dos veículos).	Atividade de campo; coleta de material e análise laboratorial; mapeamento.	Foram indicadas e avaliadas ações que evitem a compactação do solo durante a execução da obra?
IMF15	Avalie as características e a dinâmica geomorfológica da área para a instalação, operação e a desmobilização do canteiro de obras, indicando locais que permitam a estabilidade das construções e uma menor ocorrência dos impactos ambientais.	Atividade de campo; mapeamento.	A análise e a indicação do local para a instalação, operação e desmobilização do canteiro de obras levaram em consideração a ocorrência de processos geomorfológicos e de ações impactantes para a geomorfologia (criação de cortes e aterros com risco de instabilidade de taludes/encostas; erosão e assoreamento; desmate e decapeamento/compactação dos solos; formação de cavas de materiais escavados)?
IMF16	Avalie as condicionantes geomorfológicas (regiões mais elevadas e em locais mais elevados do vale) para a instalação, operação e desmobilização do acampamento, indicando locais que permitam uma menor ocorrência dos impactos ambientais.	Atividade de campo; mapeamento.	A análise e a indicação do local para a instalação, operação e desmobilização do acampamento levou em consideração a ocorrência de processos geomorfológicos e de ações impactantes para a geomorfologia (criação de cortes e aterros com risco de instabilidade de taludes/encostas; erosão e assoreamento; desmate e decapeamento/compactação dos solos; formação de cavas de materiais escavados)?
IMF17	Indique e avalie os impactos geomorfológicos resultantes do movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora).	Atividade de campo; mapeamento.	Foram indicados e avaliados os impactos geomorfológicos resultantes do movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora)?
IMF18	Em se optando pela escavação de áreas de empréstimo nas áreas a montante da barragem, em cotas inferiores ao do nível máximo do reservatório, indique a necessidade da recomposição do relevo, de forma a evitar a instabilidade de taludes/encostas submersos.	Atividade de campo; mapeamento; SIG.	Foi indicada a recomposição do relevo, de forma a evitar a instabilidade de taludes/encostas submersos, decorrente da escavação de áreas de empréstimo nas áreas a montante da barragem, em cotas inferiores ao do nível máximo do reservatório?
IMF19	Indique e avalie as atividades de terraplenagem e os aspectos da drenagem em áreas menos propensas aos processos geomorfológicos e as mudanças consideráveis na paisagem geomorfológica local.	Atividade de campo; mapeamento.	Foram indicadas e avaliadas as áreas menos propensas aos processos geomorfológicos e a mudanças consideráveis na paisagem local, resultantes das atividades de terraplenagem associadas à dinâmica da drenagem?
IMF20	Indique e avalie os possíveis efeitos geomorfológicos resultantes da limpeza da área do eixo da barragem.	Atividade de campo; mapeamento.	Foram indicados e avaliados os possíveis efeitos geomorfológicos resultantes da limpeza da área do eixo da barragem?

IMF21	Indique e avalie os procedimentos a serem adotados para minimizar ou evitar a instabilidade das encostas resultantes do enchimento do reservatório.	Atividade de campo; mapeamento.	Foram indicados e avaliados os procedimentos a serem adotados para minimizar ou evitar a instabilidade das encostas resultantes do enchimento do reservatório?
MAPEAMENTO			
IMF22	Avalie e defina, a partir de parâmetros geomorfológicos, as novas áreas para a abertura e operação das vias de acesso e a intensificação de uso daquelas abertas na fase de projeto.	Atividade de campo; mapeamento.	Houve a avaliação e a definição, a partir de parâmetros geomorfológicos, das novas áreas para a abertura e operação das vias de acesso e a intensificação de uso daquelas abertas na fase de projeto?
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA			
IMF23	Na retirada de materiais das áreas de empréstimo, avalie se tal ação afeta os elementos da geodiversidade identificados na ADA e na AID	Atividade de campo; mapeamento.	Existe a avaliação dos impactos aos elementos da geodiversidade resultantes da retirada de materiais das áreas de empréstimo, na ADA e na AID?
MEIO BIOLÓGICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA A ANÁLISE TÉCNICA
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA			
IMB1	Avalie os efeitos do possível aumento de sedimentos a jusante para a fauna e flora durante a construção da barragem.	Atividade de campo; dados hidrológicos e sedimentológicos.	Foi avaliado se o possível aumento de sedimentos, a jusante da barragem, pode ocasionar efeitos negativos na flora e fauna?
MEIO ANTRÓPICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA A ANÁLISE TÉCNICA
DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA E ATIVIDADES ECONÔMICAS			
IMA1	Avalie os efeitos da alteração do relevo para as atividades de turismo, lazer, mineração e agropecuária local.	Atividade de campo; mapeamento; dados de órgãos públicos e empresas; entrevistas.	Foram avaliadas as consequências da alteração do relevo para as atividades de turismo, lazer, mineração e agropecuária?
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS			
IMA2	Analise a reintegração do canteiro de obras à paisagem local, em especial aos aspectos geomorfológicos.	Atividade de campo; mapeamento.	Foi analisada a reintegração do canteiro de obras à paisagem local, a partir do viés geomorfológico?

Fonte: o autor (2019).

Legenda: IMF – Instalação Meio Físico; IMB – Instalação Meio Biológico; IMA – Instalação Meio Antrópico.

Nos modelos de Protocolo (elaboração) e da Lista de Verificação (análise) da fase de instalação, foram elencados 23 quesitos para o “Meio Físico”, um para o “Meio Biológico” e dois para o “Meio Antrópico”, sendo caracterizada como uma etapa de muitos reflexos para a geomorfologia da área do empreendimento. Assim como na elaboração das atividades na fase de planejamento, na fase de construção/instalação recomenda-se informar e descrever a(s) metodologia(s) utilizada(s) de cada componente na elaboração do diagnóstico ambiental do meio físico – geomorfologia.

Continuando a proposição de um modelo de Protocolo para a elaboração do EIA e um modelo de Lista de Verificação para a análise do EIA, por parte do órgão ambiental licenciador, o Quadro 40 foca na fase de “**Operação**” do empreendimento. Foram contabilizados 23 quesitos voltados para o meio físico, cinco para o meio biótico e sete para o meio antrópico.

Para o **meio físico**, foram contemplados quesitos nos seguintes temas geomorfológicos: “processos e dinâmica geomorfológica”, “impactos geomorfológicos”, mapeamento” e “geomorfologia fluvial”. A maioria foi enquadrada no tema “processos e dinâmica geomorfológica”, num total de 14 quesitos. Desses, os quesitos OMF1 a OMF4 tiveram como foco central os processos de erosão e de assoreamento. Como já demonstrado anteriormente neste trabalho, dois processos inerentes à realidade de uma barragem, especialmente na fase de operação. Como um dos critérios para a elaboração da proposta apresentada neste trabalho, tais processos devem ser pensados de acordo com a compartimentação em relação a barragem (montante/reservatório/jusante): assoreamento a montante (OMF1), áreas de afluência de sedimentos e o assoreamento na área do reservatório (OMF2), associado a apresentação e futura implementação de um Programa de Monitoramento dos Processos Erosivos em Encostas Marginais do Reservatório (OMF3) e a preocupação com a ocorrência de processos erosivos nas margens a montante e a jusante da barragem (OMF4), compreendendo, preferencialmente, a ADA e a AID.

Os quesitos de OMF5 a OMF8 focam na relação do monitoramento hidrológico e hidrogeológico como subsídio para a avaliação da suscetibilidade e deflagração dos processos geomorfológicos, a exemplo da ocorrência da redução da porosidade do solo, devido a umidificação e secagem sazonal nas bordas do lago, diante da variação do nível d’água do reservatório (OMF5). No caso do OMF6, a ênfase recai na avaliação das áreas passíveis de processos erosivos (*piping*, voçorocas etc.) decorrentes da elevação do lençol freático, e de outras condições hidrogeológicas, como consequência do enchimento do reservatório. A hidrogeologia é especificamente tratada no quesito OMF7, já que o mesmo propõe a avaliação dos impactos geomorfológicos resultantes do aumento no nível das águas subterrâneas no

entorno do reservatório, necessitando de alguns parâmetros para análise (aspectos das margens para avaliação: alturas de taludes, morfologia, orientação da face do barranco, tipo de vegetação etc.). Assim como proposto no quesito OMF5, o acompanhamento das variações de nível d'água do reservatório é voltada a verificar os desequilíbrios nas tensões hidrostáticas (OMF8), de modo a subsidiar o monitoramento dos processos erosivos nas encostas marginais.

O quesito OMF9 destaca a necessidade da elaboração dos Programas de Monitoramento voltados para a estabilização de encostas marginais, enfatizando os processos da dinâmica superficial, elencando os principais exemplos (processos erosivos, escorregamentos, deslocamento de blocos rochosos, solos colapsíveis e expansíveis).

Os quesitos de OMF10 a OMF13 buscam nortear as aplicações de soluções de engenharia e de outras naturezas aquilo que foi diagnosticado, principalmente no que tange à dinâmica dos processos geomorfológicos: possíveis obras de contenção aplicáveis às áreas sujeitas aos processos erosivos (OMF10), sistemas de drenagem para afastar o escoamento da água das encostas e/ou das áreas de fragilidade ambiental (OMF11), supressão de estradas desnecessárias na ADA e a recuperação dessas áreas (OMF12) e a recuperação das áreas de empréstimo, através da remodelação do relevo (OMF13). Por fim, o item OMF14 reporta a relação dos processos da dinâmica superficial com a suscetibilidade da área a ocorrência de eventos sísmicos, após o enchimento do reservatório. Dessa forma, inserindo um fenômeno geológico da dinâmica interna e os seus possíveis reflexos na deflagração de processos geomorfológicos.

No tema da “geomorfologia fluvial”, sete quesitos figuraram como passíveis de aplicação para o meio físico na fase de operação. Do OMF15 ao OMF21, a ênfase é para a relação de como o déficit ou o ganho sedimentar podem impactar na morfologia dos canais fluviais da bacia, a partir do monitoramento de variáveis morfométricas. O quesito OMF15 propõe a avaliação da possibilidade do aumento da carga sólida a jusante, com o aumento dos processos erosivos das margens e a alteração na morfologia do canal, estando o OMF16 interligado ao quesito anterior, já que busca o monitoramento das variáveis morfométricas para fins de avaliação das alterações dos indicadores da bacia hidrográfica.

O quesito OMF17 foca no acompanhamento da variação do nível d'água do rio a jusante através da avaliação da presença de aluviões arenosos, de modo a monitorar o assoreamento e os reflexos para as atividades humanas, a exemplo do turismo, navegação, geração de energia elétrica dentre outras. O OMF18 também se utiliza de feições da geomorfologia fluvial – depósitos no sopé dos barrancos de erosão, denominada “praia”, como indicadores da

ocorrência de processos geomorfológicos e a implementação de possíveis intervenções nessas áreas.

No caso do OMF19, busca-se o monitoramento da erosão fluvial, a jusante, e como as estruturas de engenharia podem ser impactadas, a exemplo de pontes, diques etc., a partir da nova dinâmica fluvial com a operação da barragem. O quesito OMF20 busca relacionar as condições operacionais do reservatório, após a conclusão das obras e enchimento do mesmo, e as características geomorfológicas previstas no início da operação da barragem. Enquanto que o quesito OMF21 visa analisar a situação dos canais fluviais a montante, ao propor que sejam detalhados os procedimentos para o acompanhamento e a avaliação do aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, após o enchimento do reservatório da barragem. Tal aspecto constitui um dos impactos causados na geomorfologia fluvial de uma área, como consequência da presença de uma ou mais barragens.

Dessa forma, os dois últimos quesitos contemplam os temas “mapeamento” e “impactos geomorfológicos”. O quesito do mapeamento foca na ocorrência de solos compactados e sua relação com a dinâmica geomorfológica, propondo-se o monitoramento dessas ocorrências para possíveis intervenções. Enquanto que o OMF23 trata de que sejam avaliados os possíveis impactos geomorfológicos, caso seja necessário manter parte da infraestrutura da fase de construção para a operacionalização da barragem.

Em relação ao **meio biológico**, foram contemplados cinco quesitos, todos enquadrados no tema “geomorfologia e ecologia”. Vale frisar que os aspectos levantados para o meio biológico, em associação com a geomorfologia, devem ser implementados em colaboração com os profissionais da área. No item OMB1, enfatiza-se a necessidade da recuperação e do acompanhamento das áreas degradadas, com ênfase naquelas situadas em áreas de fragilidade biológica, o que demonstra a relação e a contribuição da geomorfologia para o meio biológico. Por outro lado, o quesito OM2 trata dos reflexos negativos do déficit sedimentar, a jusante, para a fauna e a flora, o que demonstra que a preocupação com a perda ou o ganho sedimentar a jusante não pode se restringir, apenas, as consequências geradas ao meio físico, especialmente a geomorfologia fluvial, mas também contemplando o meio biológico e o meio antrópico.

No OMB3, o(s) profissional(is) responsável(is) pela geomorfologia deve(m) estabelecer as novas delimitações das áreas de preservação resultantes do enchimento do reservatório, por meio de critérios geomorfológicos, que sirvam de abrigo para a fauna. No item OMB4, propõe-se a conservação dos fragmentos de vegetação, independente de se constituírem em áreas de preservação, após o enchimento, a partir da correlação do relevo com o estudo do meio biótico. No último item, OMB5, as APPs delimitadas por meio de critérios geomorfológicos, após o

enchimento do reservatório, deve-se indicar aquelas que servirão de abrigo para a conservação de espécies em extinção.

Para o **meio antrópico**, foram elencados sete quesitos, distribuídos em três temas: “geomorfologia fluvial”, “geodiversidade e etnogeomorfologia” e “processos e dinâmica geomorfológica”.

No primeiro quesito, a preocupação recai sobre o acompanhamento do uso e ocupação da terra, especialmente da ADA da barragem, diagnosticando possíveis alterações da rede de drenagem. Ainda com relação ao monitoramento do uso e da ocupação da terra, devem ser indicadas as áreas de fragilidade ambiental, propensas à deflagração de processos erosivos, após o enchimento do reservatório, especialmente nas suas margens e nas áreas a montante (OMA2). Sendo assim, constata-se que os dois quesitos focam no acompanhamento dos usos e da ocupação da terra ao longo da operação da barragem, buscando analisar os impactos na rede de drenagem e a deflagração de processos geomorfológicos, em especial os processos erosivos, dialogando com quesitos do meio físico e do meio biológico.

Os quesitos OMA3 e OMA4, enquadrados na “geodiversidade e etnogeomorfologia”, têm o intuito de identificar modificações e alterações na área do empreendimento, tanto por meio da população local (com uso de metodologias da etnogeomorfologia), enfocando nas formas, nos processos geomorfológicos e na geodiversidade (caso existente), quanto na visão e na percepção dos profissionais elaboradores do estudo, avaliando possíveis alterações do uso da terra e da paisagem e como isso poderá impactar no desenvolvimento das atividades na área (lazer, turismo e outras atividades econômicas etc.).

Os outros três quesitos, relacionados aos “processos e dinâmica geomorfológica”, tratam das relações da geomorfologia com a atividade da agricultura ribeirinha e da estrutura fundiária, saneamento básico e potencial arqueológico. No primeiro caso (OMA5), deve-se buscar avaliar de que maneira os impactos geomorfológicos (novas morfologias e/ou deflagração ou intensificação dos processos geomorfológicos) podem afetar na agricultura ribeirinha e na estrutura fundiária, especialmente da Área Diretamente Afetada (ADA).

No item OMA6, o foco é com relação ao monitoramento da deflagração de processos geomorfológicos devido à deficiência do saneamento básico na região, afetando, principalmente, o reservatório, mas também as áreas imediatamente a montante e a jusante da barragem. Por fim, o item OMA7 visa avaliar a possibilidade da perda de áreas de potencial arqueológico, após o enchimento do reservatório, a partir de alterações na morfologia, já que áreas de topos aplainados e encostas suaves constituem áreas de potencial arqueológico

propicias à ocupação de grupos pré-históricos, e de processos geomorfológicos, como os processos erosivos, que podem contribuir para a dispersão de vestígios arqueológicos.

Quadro 40 – Modelo de Protocolo das atividades técnicas de elaboração e análise técnica do EIA– FASE: OPERAÇÃO

MEIO FÍSICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA ANÁLISE TÉCNICA
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA			
OMF1	Avaliar a possibilidade de intensificação do assoreamento nos cursos-d'água a montante	Coletar e analisar dados hidrológicos e sedimentológicos (estações fluviométricas). Atividade de campo; mapeamento; morfometria da bacia ou do curso d'água.	Foi avaliada a possibilidade da intensificação do assoreamento nos cursos-d'água a montante?
OMF2	Análise as áreas de afluição de sedimentos no reservatório, propondo a avaliação da magnitude, que pode ser indicada pela área afetada e pelo volume de sedimentos depositados, indicando as alternativas de controle.	Atividade de campo; mapeamento; dados sedimentológicos e hidrológicos.	Foram analisadas as áreas de afluição de sedimentos no reservatório e indicadas as alternativas de controle?
OMF3	Estabeleça um programa de monitoramento dos processos erosivos em encostas marginais do reservatório.	Atividade de campo; mapeamento.	Foi apresentado um programa de monitoramento dos processos erosivos nas encostas marginais do reservatório?
OMF4	Avalie a possibilidade da ocorrência dos processos erosivos nas margens a montante e a jusante da barragem, compreendidas na ADA e na AID.	Atividade de campo; mapeamento.	Foi avaliada a possibilidade da ocorrência dos processos erosivos nas margens a montante e a jusante da barragem, compreendidas na ADA e na AID?
OMF5	Indique a necessidade da proposição em acompanhar a variação do nível d'água do reservatório para verificar a ocorrência da redução da porosidade do solo, devido à umidificação e secagem sazonal das bordas do reservatório	Atividade de campo; análise dos dados de vazões médias registrados nos postos fluviométricos presentes no rio principal e afluentes; dados climatológicos.	Foi proposta a necessidade do acompanhamento da variação do nível d'água do reservatório com o objetivo de monitorar a redução da porosidade do solo, nas áreas das bordas do reservatório?
OMF6	Identifique e avalie as áreas passíveis de processos erosivos (piping, voçorocas etc.) decorrentes da elevação do lençol freático, e de outras condições hidrogeológicas, após o enchimento do reservatório.	Levantamento e análise dos dados hidrogeológicos; atividades de campo; mapeamento.	Foram indicadas e avaliadas as áreas sujeitas à deflagração de processos erosivos decorrentes da elevação do lençol freático e de outras condições hidrogeológicas, após o enchimento do reservatório?
OMF7	Avalie os impactos geomorfológicos decorrentes do aumento no nível das águas subterrâneas no entorno do reservatório.	Atividade de campo; dados hidrogeológicos; parâmetros para análise (aspectos das margens para avaliação:	Foram indicados os impactos geomorfológicos decorrentes do aumento do nível das águas subterrâneas no entorno do reservatório?

		alturas de taludes, morfologia, orientação da face do barranco, tipo de vegetação etc.).	
OMF8	Aborde a necessidade em acompanhar as variações de nível d'água do reservatório, a fim de verificar desequilíbrios nas tensões hidrostáticas, havendo a necessidade de monitorar os processos erosivos nas encostas marginais.	Levantamento e análise dos dados de vazões médias registrados nos postos fluviométricos presentes no rio principal e afluentes. Uso de parâmetros morfométricos (forma, orientação da vertente, declividade, posicionamento topográfico do processo – alta, média ou baixa encosta); atividade de campo.	Foi abordada a necessidade do acompanhamento das variações do nível d'água do reservatório, a fim de verificar desequilíbrios nas tensões hidrostáticas, buscando monitorar os processos erosivos nas encostas?
OMF9	Elabore e insira programas voltados para o monitoramento e a estabilização de encostas marginais, contemplando: processos erosivos, escorregamentos, deslocamento de blocos rochosos, solos colapsíveis e expansíveis.	Atividade de campo; mapeamento; projetos de engenharia.	Foram estabelecidos programas de monitoramento voltados para as encostas marginais, contemplando: processos erosivos, escorregamentos, deslocamento de blocos rochosos, solos colapsíveis e expansíveis?
OMF10	Diante da operação da barragem e do diagnóstico ambiental da área, indique possíveis obras de contenção aplicáveis às áreas de maior fragilidade, no tocante aos processos erosivos.	Atividade de campo; análise dos projetos de engenharia; mapeamento.	Foram indicadas possíveis obras de contenção, durante a vida útil da barragem, nas áreas de maior fragilidade ambiental, no tocante aos processos erosivos?
OMF11	Estabeleça o acompanhamento do funcionamento dos sistemas de drenagem para afastar o escoamento da água das encostas e/ou das áreas de fragilidade ambiental.	Atividade de campo; análise dos projetos de engenharia; mapeamento dos processos erosivos anteriormente realizado.	Foi estabelecido o acompanhamento do funcionamento dos sistemas de drenagem para afastar o escoamento da água das encostas e/ou das áreas de fragilidade ambiental?
OMF12	Análise a possibilidade de suprimir algumas estradas de acesso na ADA, que não sejam necessárias na fase de operação, buscando a recuperação dessas áreas.	Atividade de campo; mapeamento; análise dos projetos de engenharia	Consta a indicação da supressão de algumas estradas de acesso na ADA, que tenham sido utilizadas na construção, estabelecendo a recuperação dessas áreas degradadas?
OMF13	Indique e detalhe a recuperação das áreas de empréstimo, por meio da remodelação do relevo, buscando a eliminação de bacias de estagnação de água, atenuação de encostas íngremes, de forma a atenuar o impacto na paisagem.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi estabelecida e detalhada a recuperação das áreas de empréstimo, por meio da remodelação do relevo, buscando a eliminação das bacias de estagnação de água, atenuação de encostas íngremes, de forma a atenuar o impacto na paisagem?

OMF14	Indique os meios para avaliar a suscetibilidade da área a ocorrência de eventos sísmicos, durante a vida útil da barragem, que venham a contribuir para a ocorrência de movimentos de massa, processos erosivos e/ou outros processos da dinâmica superficial.	Análise de dados sísmicos e dados geomorfológicos relacionados a fragilidade das áreas; atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi verificada a suscetibilidade da área a ocorrência de eventos sísmicos, durante a vida útil da barragem, que contribua para o desencadeamento de movimentos de massa, processos erosivos e/ou outros processos da dinâmica superficial?
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL			
OMF15	Avalie a possibilidade de aumento da carga sólida a jusante, com o aumento dos processos erosivos das margens e a alteração na morfologia do canal.	Atividade de campo; análise laboratorial; mapeamento; geotecnologias.	Foi avaliada a possibilidade de aumento da carga sólida a jusante, com o aumento dos processos erosivos das margens e a alteração na morfologia do canal?
OMF16	Indique a necessidade do monitoramento das variáveis morfométricas para fins de avaliação das alterações dos indicadores da bacia hidrográfica.	Dados morfométricos; atividades de campo; geotecnologias.	Foi indicada a necessidade do acompanhamento das variáveis morfométricas para a avaliação das alterações dos indicadores da bacia hidrográfica?
OMF17	Estabeleça a ação de acompanhar a variação do nível d'água do rio a jusante e a presença de aluviões arenosos (especialmente nas ações de liberação de água durante chuvas intensas e na regularização da vazão mínima do rio).	Dados hidrológicos e sedimentológicos; atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi estabelecida a ação de acompanhamento da variação do nível d'água do rio a jusante e a avaliação da presença de aluviões arenosos?
OMF18	Análise a necessidade da identificação da existência de depósitos no sopé dos barrancos de erosão (feição de relevo denominada “praia”) e se as margens se apresentam com o aspecto de falésias litorâneas	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi estabelecida a necessidade da identificação da existência de depósitos no sopé dos barrancos de erosão (feição de relevo denominada “praia”) e se as margens se apresentam com o aspecto de falésias litorâneas?
OMF19	Avalie a necessidade do monitoramento dos efeitos da erosão fluvial a jusante sobre pontes, tomadas d'água, diques marginais e outras estruturas.	Atividade de campo; mapeamento.	Foi avaliada a necessidade do monitoramento dos efeitos da erosão fluvial a jusante sobre pontes, tomadas d'água, diques marginais e outras estruturas?
OMF20	Elabore um prognóstico da relação entre as condições operacionais do reservatório e as características geomorfológicas da área.	Projetos de engenharia; dados da operação do reservatório; levantamentos geomorfológicos; atividade de campo.	Foi elaborado um prognóstico que trate das relações das condições operacionais do reservatório e as características geomorfológicas da área?

OMF21	Estabeleça procedimentos para o acompanhamento e a avaliação do aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, após o enchimento do reservatório da barragem.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi estabelecido o detalhamento dos procedimentos para o acompanhamento e a avaliação do aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, após o enchimento do reservatório da barragem?
MAPEAMENTO			
OMF22	Diante da possibilidade de compactação do solo, estabeleça a realização do mapeamento de solos compactados, associando a morfologia e a dinâmica geomorfológica, para fins de indicação de intervenções.	Atividades de campo; mapeamento; análise laboratorial.	Foi estabelecido o monitoramento da compactação do solo, através do mapeamento de solos compactados, associando a morfologia e a dinâmica geomorfológica, indicando intervenções necessárias?
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS			
OMF23	Avalie os possíveis impactos geomorfológicos diante da manutenção da infraestrutura remanescente da fase de construção, que seja necessária para a operacionalização da barragem.	Atividade de campo; mapeamento.	Foi apresentada uma avaliação sobre os possíveis impactos geomorfológicos diante da manutenção da infraestrutura remanescente da fase de construção, que seja necessária para a operacionalização da barragem?
MEIO BIOLÓGICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA ANÁLISE TÉCNICA
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA			
OMB1	Estabeleça o acompanhamento da recuperação das áreas degradadas, enfatizando aquelas situadas em áreas de fragilidade biológica (próximo a áreas protegidas, com ocorrência de espécies com risco de extinção e outros casos estabelecidos no estudo do meio biológico).	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias; dados do estudo do meio biológico.	Foi estabelecida a necessidade de acompanhar a recuperação das áreas degradadas, especialmente aquelas situadas em áreas de fragilidade biológica (próximo a áreas protegidas, com ocorrência de espécies com risco de extinção e outros casos estabelecidos no estudo do meio biológico)?
OMB2	Analise os efeitos da possível diminuição dos sedimentos a jusante para a fauna e flora durante a operação da barragem	Atividade de campo; dados hidrológicos e sedimentológicos; dados do estudo do meio biológico.	Foi analisada como a possível diminuição dos sedimentos, a jusante da barragem, pode ocasionar efeitos negativos na flora e fauna?

OMB3	Estabeleça a delimitação das áreas de preservação para abrigo da fauna, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico e a nova configuração após o enchimento.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias; dados do estudo do meio biológico.	Foi estabelecida a delimitação das áreas de preservação para abrigo da fauna, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico e a nova configuração após o enchimento?
OMB4	Estabeleça a delimitação dos fragmentos de vegetação a serem conservados, após o enchimento, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biótico	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias; dados do estudo do meio biológico.	Foi estabelecida a delimitação dos fragmentos de vegetação a serem conservados, após o enchimento, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biótico?
OMB5	Delimite as APP(s), estabelecidas por critérios geomorfológicos, após o enchimento do reservatório, e que sirvam de abrigo para a conservação de espécies em extinção.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias; dados do estudo do meio biológico.	Foram delimitadas as APPs, estabelecidas por critérios geomorfológicos, após o enchimento do reservatório, e que sirvam de abrigo para a conservação de espécies em extinção?
MEIO ANTRÓPICO			
QUESITO	PROTOCOLO PARA ELABORAÇÃO	PROCEDIMENTOS	CHECKLIST PARA ANÁLISE TÉCNICA
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL			
OMA1	Avalie a necessidade do acompanhamento do uso e ocupação da terra na ADA e as possíveis alterações da rede de drenagem.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi estabelecido o acompanhamento do uso e da ocupação da terra na ADA e a avaliação das possíveis alterações da rede de drenagem?
OMA2	Detalhe os possíveis usos e a ocupação da terra na área da barragem e a possível deflagração de processos erosivos e movimentos de massa, especialmente nas margens do reservatório e nas áreas a montante do reservatório.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foi estabelecido o acompanhamento do uso e da ocupação da terra na área da barragem, sobre a deflagração de processos erosivos e movimentos de massa, especialmente nas margens do reservatório e nas áreas a montante dele?
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA			
OMA3	Indique metodologias da etnogeomorfologia para verificar a percepção da população com relação à modificação da paisagem, especialmente os elementos geomorfológicos e da geodiversidade (caso existentes)	Atividade de campo; aplicação de questionários.	Foram indicadas metodologias da etnogeomorfologia para a verificação da percepção da população com relação à modificação da paisagem, especialmente os elementos geomorfológicos e da geodiversidade (caso existentes)?

OMA4	Avalie as alterações do uso da terra e da paisagem decorrentes do enchimento do reservatório, em seus diversos aspectos (lazer, turismo e outras atividades econômicas, geodiversidade etc.).	Atividade de campo; registro fotográfico; aplicação de questionários	Consta a avaliação das alterações do uso da terra e da paisagem decorrentes do enchimento do reservatório, em seus diversos aspectos (lazer, turismo, outras atividades econômicas, geodiversidade etc.)?
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA			
OMA5	Identifique e avalie os possíveis impactos decorrentes da geomorfologia (novas morfologias e/ou deflagração ou intensificação dos processos geomorfológicos) na agricultura ribeirinha e na estrutura fundiária da Área Diretamente Afetada (ADA).	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foram identificados e avaliados os possíveis impactos decorrentes da geomorfologia (novas morfologias e/ou deflagração ou intensificação dos processos geomorfológicos) na agricultura ribeirinha e na estrutura fundiária da Área Diretamente Afetada (ADA)?
OMA6	Diante do que foi abordado no item sobre “saneamento básico” local, estabeleça cenários de como a deficiência do saneamento básico pode originar ou contribuir para a deflagração de processos geomorfológicos, afetando o reservatório e as áreas imediatamente a jusante e a montante da barragem.	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias.	Foram estabelecidos cenários de como a deficiência do saneamento básico pode originar ou contribuir para a deflagração de processos geomorfológicos, afetando o reservatório e as áreas imediatamente a jusante e a montante da barragem?
OMA7	Avalie a possibilidade da perda de áreas após o enchimento e o início da operação da barragem, de potencial arqueológico, decorrentes da geomorfologia (a exemplo das áreas de topos aplainados e encostas suaves como áreas a serem prospectadas por se tratarem de áreas de potencial arqueológico propícias a ocupação de grupos pré-históricos) e dos processos erosivos (e outros) e a dispersão de vestígios arqueológicos	Atividade de campo; mapeamento; geotecnologias; dados arqueológicos.	Foi realizada uma avaliação sobre a possibilidade da perda de áreas após o enchimento e o início da operação da barragem, de potencial arqueológico, decorrentes da geomorfologia (a exemplo das áreas de topos aplainados e encostas suaves como áreas a serem prospectadas por se tratarem de áreas de potencial arqueológico propícias à ocupação de grupos pré-históricos) e dos processos erosivos (e outros) e a dispersão de vestígios arqueológicos?

Fonte: o autor (2019).

Legenda: OMF – Operação Meio Físico; OMB – Operação Meio Biológico; OMA – Operação Meio Antrópico.

Sendo assim, como forma de estruturar tais Protocolos e Listas de Verificação apresentados para as três fases (Planejamento, Instalação e Operação), o Quadro 41 apresenta um modelo de Protocolo para a abordagem geomorfológica na elaboração de EIA de barragem, sendo aplicado aos três meios (físico, biológico e antrópico) e às três fases (planejamento, instalação e operação). Na primeira coluna, indica-se a “orientação” a ser adotada pelo profissional, seguida da coluna “procedimentos” a serem adotados para a realização da atividade proposta e a coluna “observações”, que é de livre preenchimento para cada item a ser analisado.

Quadro 41 – Modelo de Protocolo para a abordagem geomorfológica na elaboração de EIA de barragem

FASE: PLANEJAMENTO		
MEIO FÍSICO		
Orientação	Procedimentos	Observações
FASE: INSTALAÇÃO		
MEIO BIOLÓGICO		
Orientação	Procedimentos	Observações
FASE: OPERAÇÃO		
MEIO ANTRÓPICO		
Orientação	Procedimentos	Observações

Fonte: o autor (2019).

Já o Quadro 42 apresenta um modelo de Lista de Verificação para análise de conteúdo geomorfológico dos EIAs de barragens. Como se observa, sua estruturação assimila a lógica dos modelos de Lista de Verificação (Checklist), abrangendo as fases do empreendimento, os meios das atividades técnicas e a ação/atividade analisada. O preenchimento se dá por meio do “sim”, “não” e “não se aplica – NA”, sendo acrescentado um campo de “observação”, caso haja necessidade. E, como fruto da proposta apresentada neste trabalho, propõe-se a inserção de uma coluna intitulada “Conceito de avaliação”, a partir do que foi proposto por Lee e Colley (1992), conforme consta no Quadro 4.

Quadro 42 – Modelo de Lista de Verificação para análise de conteúdo geomorfológico dos EIAs de barragens na etapa de “análise técnica”

FASE: PLANEJAMENTO					
MEIO FÍSICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
MEIO BIOLÓGICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
MEIO ANTRÓPICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
FASE: INSTALAÇÃO					
MEIO FÍSICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
MEIO BIOLÓGICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
MEIO ANTRÓPICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
FASE: OPERAÇÃO					
MEIO FÍSICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
MEIO BIOLÓGICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					
MEIO ANTRÓPICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
TEMA GEOMORFOLÓGICO					
QUESITO					

Fonte: o autor (2019).

Legenda: NA: não se aplica.

Conceitos de avaliação (A, B, C, D, E, F e NA) – Lee e Colley (1992).

A proposta apresentada no trabalho não esgota a possibilidade de se contemplar outros pontos relevantes ou de não se utilizar todos os aqui elencados, já que, apesar de voltada para uma mesma tipologia de obra de engenharia, o profissional deverá atentar para as especificidades de cada obra e os métodos construtivos empregados, como também as condições específicas do ambiente a ser afetado, diferenciados nos seus mais diversos aspectos – físico, biótico e antrópico –, bem como de ordem político-institucional e legal.

Na impossibilidade em se conseguir contemplar todos os quesitos, a metodologia proposta permite que o profissional, observando determinado aspecto não contemplado no Protocolo e/ou na Lista de Verificação concebidos, possa incluí-lo de forma a atender a realidade do empreendimento analisado. Tal inclusão não tem limite de quantidade, obviamente, resguardado o caráter geomorfológico e as especificidades da obra.

Por fim, visando a quantificação e sistematização dos dados resultantes da aplicação dos instrumentos propostos, apresenta-se um modelo de tabela (tabela 6).

Tabela 6 – Modelo de tabela para quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da Lista de Verificação voltada à geomorfologia no EIA, a partir dos quesitos da “análise técnica” nas fases de planejamento, instalação e operação.

PARÂMETROS	TOTAL DE QUESITOS	SIM	NÃO	NA	A	B	C	D	E	F	A+B+C	D+E+F	TOTAL
Absoluto (Abs.)													
Percentual (%)													
Meio Físico (Abs.)													
Meio Físico (%)													
Meio Biológico (Abs.)													
Meio Biológico (%)													
Meio Antrópico (Abs.)													
Meio Antrópico (%)													

Fonte: o autor (2019).

Legenda: S: sim; N: não; NA: não se aplica.

Conceitos de avaliação (A, B, C, D, E e F) – Lee e Colley (1992).

4.4.4 Lista de Verificação para o acompanhamento da implementação das atividades de gestão previstas no EIA

A auditoria de gestão almeja avaliar, inicialmente, a efetividade do cumprimento das medidas mitigadoras e dos programas de acompanhamento e monitoramento estabelecidos no EIA, assim como encontra-se estabelecido nas leis estaduais com referência à auditoria de EIAs, que foram elencadas no quadro 37. Obviamente que outros quesitos poderão ser inseridos, quando não constarem no EIA e forem identificados no decorrer da vida útil do empreendimento. Vale destacar a importância das ações de monitoramento, já que existem para acompanhar a ocorrência dos impactos e a efetividade das medidas mitigadoras, estabelecidas pelo EIA.

Hooke (2019), ao enfatizar os cinquenta anos da Geomorfologia aplicada, destaca o crescimento desse ramo e as aplicações reais à gestão ambiental. O ambiente fluvial é um dos citados como aquele que tem recebido boas contribuições da geomorfologia para estratégias sustentáveis. Essa gestão se faz necessária a partir do momento que o empreendimento inicia a construção, chegando até a sua efetiva operação. É essencial que a gestão busque os conhecimentos gerados no EIA e atenda as orientações/recomendações contidas no estudo, principalmente os impactos, as medidas mitigadoras e os programas de monitoramento (gestão) a serem implementados.

A Lista de Verificação voltada à gestão é direcionada para o efetivo cumprimento das medidas mitigadoras e dos programas de monitoramento dos impactos ambientais. Dentre outras vantagens, permite avaliar a implementação de medidas mitigadoras ou compensatórias de baixa viabilidade. Glasson *et al.* (1999) defendem que um EIA deve incluir um programa de monitoramento que tenha objetivos claros, controles temporais e espaciais, uma duração adequada (por exemplo, cobrindo os principais estágios do processo, implementação do projeto), metodologias práticas, financiamento suficiente, responsabilidades e relatórios abertos e regulares. Idealmente, a atividade de monitoramento deve incluir uma parceria entre as partes envolvidas; por exemplo, a coleção de informações podem envolver o proponente do projeto, a autoridade local e a comunidade local.

Os Quadros 43 e 44 expõem um modelo de Lista de Verificação de auditoria de acompanhamento da aplicação das atividades de gestão previstas no EIA, especialmente nas fases de “instalação” e de “operação”.

O objetivo da aplicação da auditoria ambiental para a atividade de gestão é avaliar se as orientações contidas no EIA estão sendo adotadas e se os métodos de controle ambiental estão

sendo eficazes. Além do mais, também visa à identificação dos impactos ambientais que, porventura, não tenham sido previstos no EIA, identificando os agentes causadores e suas interações.

A implementação dos programas de monitoramento também deve ser avaliada, por meio da comparação com os impactos ambientais previstos no EIA, associando à aplicação das medidas mitigadoras recomendadas.

Na fase de instalação, foram elencados 27 quesitos, sendo 24 voltados para o meio físico, um para o meio biológico e dois para o meio antrópico. Os quesitos, de certa forma, em sua maioria, refletem a gestão dos quesitos listados para a elaboração/análise técnica, na fase de instalação, conforme consta no Quadro 39. Diante da quantidade considerável para o meio físico, optou-se em dividir os quesitos pelos temas geomorfológicos adotados anteriormente, sendo utilizados três: “processos e dinâmica geomorfológica”, “impactos geomorfológicos” e “geomorfologia fluvial”.

A escala do grau de implementação das ações, estabelecida pela Portaria SEGECEX, de 27 de outubro de 2009 do Tribunal de Contas da União (TCU), foi adotada para fins de avaliação e enquadramento do cumprimento ou implementação do quesito verificado (“Cumprida ou implementada”; “Em cumprimento ou em implementação”; “Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada”; “Não cumprida/não implementada”; “Não aplicável”).

Os quesitos do meio físico versam, em sua maior parte, sobre a implementação das recomendações e orientações contidas no EIA, especialmente sobre as medidas mitigadoras e os programas ambientais, relacionando as atividades durante a construção com os aspectos geomorfológicos da área.

Os quesitos enquadrados no tema “processos e dinâmica geomorfológicas” foram numerados de 01 a 08, tratando das APPs de cunho geomorfológico (01), processos erosivos e as ações para mitigação (02), obras de desvio do rio e a morfologia fluvial (03), construção da barragem auxiliar e a deflagração de processos geomorfológicos (04), construção da barragem principal e a deflagração de processos geomorfológicos (05), outras obras de engenharia e a geomorfologia local (06), estabilidade das construções do canteiro de obras e a dinâmica geomorfológica (07) e as condicionantes geomorfológicas aplicados ao acampamento (08).

Já para o tema “impactos geomorfológicos” foram elaborados cinco quesitos (09 – 13), que contemplam outras ações executadas durante a fase de construção: limpeza da área do eixo da barragem (09), movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora) (10), construção/abertura de estradas de acesso (11), monitoramento do uso das vias de acesso abertas

na fase de projeto (12) e as áreas mais suscetíveis a ocorrência de processos geomorfológicos (13).

Por fim, o tema “geomorfologia fluvial” compreende os demais onze quesitos do meio físico (14-24). Tais quesitos versam sobre as alterações na morfologia fluvial no espaço e no tempo, decorrentes da presença das construções no leito do rio e de algumas ações, principalmente nas margens, que podem impactar a dinâmica fluvial. O quesito 14 estabelece uma relação entre a dinâmica climática na área e a suscetibilidade à deflagração dos processos geomorfológicos; enquanto que o quesito 15 propõe o acompanhamento da hidrogeologia e a ocorrência de processos subsuperficiais com reflexos para a geomorfologia da área; o acompanhamento da execução de gradientes e declives (16); o acompanhamento da localização, instalação e o funcionamento dos sistemas de drenagem, visando atender aos condicionantes geomorfológicos (17); implementação de ações para minimizar a compactação do solo, principalmente decorrentes das atividades da obra (18); implantação de quebra-ventos para a erosão eólica na área (caso seja necessário) (19); o acompanhamento da retirada de material das áreas de empréstimo e o atendimento das recomendações e condicionantes geomorfológicos (20); o monitoramento da retirada de materiais nas áreas de empréstimos e a garantia em não afetar os elementos da geodiversidade (localizados na ADA e AID) (21); acompanhamento da escavação de áreas de empréstimo a montante da barragem, em cotas inferiores ao do nível máximo do reservatório, com a implementação de ações que evitem a instabilidade de taludes/encostas submersos (22); acompanhar a implementação de procedimentos que minimizem ou evitem a instabilidade das encostas decorrente do enchimento do reservatório (23); e acompanhar as atividades de terraplenagem e drenagem a partir dos condicionantes geomorfológicos (24).

Para o meio biológico, o único quesito trata da necessidade do monitoramento do possível aumento da carga sedimentar, especialmente a jusante da barragem, como resultado das diversas ações durante o período de obras da barragem, que, pode, em maior ou menor grau, afetar a quantidade de sedimentos no leito do rio e gerar consequências para a fauna e a flora.

O primeiro quesito (26) do meio antrópico trata do acompanhamento da implementação das ações com o objetivo de minimizar possíveis consequências negativas geradas pela alteração do relevo para as atividades de lazer, turismo e demais atividades econômicas desenvolvidas na área. Por fim, o último quesito visa avaliar, geomorfologicamente, a reintegração do canteiro de obras à paisagem local.

Quadro 43 – Modelo de Lista de Verificação de auditoria de acompanhamento da implementação das atividades de gestão adotadas pelo empreendedor, aplicadas à geomorfologia, previstas no EIA – FASE: INSTALAÇÃO

INSTALAÇÃO	GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES
MEIO FÍSICO	
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA	
1. Foi identificada a presença de nascentes ou cursos d'água, de modo a direcionar as obras para fora das Áreas de Preservação Permanente (APPs) de cunho geomorfológico desses corpos?	
2. Tem sido monitorada a ocorrência de processos erosivos e sido implementadas ações para mitigação deles?	
3. Tem sido acompanhada a execução das obras de desvio do rio, de modo a identificar as consequências negativas para a morfologia fluvial e outros aspectos geomorfológicos?	
4. Têm sido monitoradas as mudanças na morfologia fora dos critérios estabelecidos pelo EIA e a deflagração de processos geomorfológicos, durante a execução da obra da barragem auxiliar?	
5. Têm sido acompanhadas as mudanças na morfologia dos canais fora dos critérios estabelecidos pelo EIA e a deflagração de processos geomorfológicos, durante a execução da obra da barragem principal?	
6. Têm sido monitoradas as influências da construção de outras obras de engenharia (excluindo a estrutura da barragem) na geomorfologia local?	
7. Existe monitoramento voltado à instalação, operação e a desmobilização do canteiro de obras, a partir da dinâmica geomorfológica do local e da indicação dos locais que garantam maior estabilidade para as construções?	
8. Existe monitoramento das condicionantes geomorfológicas voltadas à instalação, operação e a desmobilização do acampamento?	
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS	
9. Têm sido acompanhados os possíveis impactos geomorfológicos resultantes da limpeza da área do eixo da barragem?	
10. Têm sido acompanhados os impactos geomorfológicos resultantes do movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora)?	
11. Tem sido acompanhado se a construção/abertura das estradas de acesso tem atendido as recomendações geomorfológicas estabelecidas pelo EIA?	
12. Tem ocorrido o monitoramento da intensificação de uso das vias de acessos abertas na fase de projeto?	
13. Têm sido acompanhadas as áreas indicadas no diagnóstico geomorfológico, em relação aos parâmetros geológicos, hidrogeológicos e pedológicos, mais suscetíveis a ocorrência de processos?	
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL	
14. Existe monitoramento das áreas mais suscetíveis à deflagração dos processos geomorfológicos, decorrentes do estabelecimento da relação espaço-temporal entre os elementos climáticos atuantes na área?	

15. Têm sido monitoradas as influências hidrogeológicas na ocorrência de processos subsuperficiais e os seus reflexos para a geomorfologia da área?	
16. Tem sido acompanhada a execução de gradientes e declives, atentando para a criação de gradientes suaves e evitar declives acentuados?	
17. Tem sido acompanhada a localização da instalação e o funcionamento dos sistemas de drenagem, estabelecidos no EIA, de modo a atender aos critérios geomorfológicos de escoamento superficial das encostas/taludes?	
18. Tem sido monitorada a implementação de ações voltadas para a minimização da compactação do solo em locais suscetíveis aos processos geomorfológicos?	
19. Em sendo a área do empreendimento sujeita à erosão eólica e diante de grandes extensões de solo exposto, tem sido acompanhada a implantação de quebra-ventos, adotando as recomendações geomorfológicas?	
20. Tem sido acompanhado se a retirada de material das áreas de empréstimo atende às recomendações e aos condicionantes geomorfológicos estabelecidos no EIA, a fim de evitar a ocorrência de processos geomorfológicos e alterações significativas na morfologia terrestre e/ou fluvial?	
21. Tem sido monitorada se a retirada de materiais das áreas de empréstimo, na ADA e na AID, tem afetado os elementos da geodiversidade?	
22. No caso de ocorrer a escavação de áreas de empréstimo nas áreas a montante da barragem, em cotas inferiores ao do nível máximo do reservatório, têm sido implementadas as ações voltadas para evitar a instabilidade de taludes/encostas submersos?	
23. Têm sido monitorados os procedimentos adotados para minimizar ou evitar a instabilidade das encostas resultantes do enchimento do reservatório?	
24. As atividades de terraplenagem e drenagem têm acontecido nas áreas indicadas e avaliadas como menos propensas aos processos geomorfológicos e às mudanças consideráveis na paisagem geomorfológica local?	
MEIO BIOLÓGICO	
25. Têm sido monitorados o possível aumento de sedimentos, a jusante da barragem, e os efeitos negativos para a flora e a fauna?	
MEIO ANTRÓPICO	
26. Têm sido implementadas ações voltadas a minimizar as consequências negativas decorrentes das alterações do relevo para o lazer, o turismo e outras atividades econômicas desenvolvidas pela população local?	
27. Próximo ao término das obras, têm sido implementadas ações objetivando avaliar, pelo viés geomorfológico, a reintegração do canteiro de obras à paisagem local?	

Fonte: o autor (2019).

Legenda: Grau de implementação das ações (BRASIL/TCU, 2009 – Portaria SEGECEX 27/10/2009): “Cumprida ou implementada”; “Em cumprimento ou em implementação”; “Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada”; “Não cumprida/não implementada”; “Não aplicável”.

Na fase de operação foram elencados cinquenta e três quesitos, sendo trinta e sete para o meio físico, seis para o meio biológico e dez para o meio antrópico. Os quesitos, de certa forma, em sua maioria, refletiram a aplicação da gestão ao que foi elencado para a elaboração/análise técnica, na fase de operação, conforme consta no quadro 40. Além do alcance temporal de muitos anos, tomando o tempo de vida útil de uma barragem e, diferentemente da etapa de instalação, que tem um intervalo de tempo mais bem definido e menor, a fase de operação requer que os quesitos sejam elaborados tomando um intervalo de tempo maior e o que isso representa para a geomorfologia, especialmente no tocante a possibilidade de alteração das formas, deflagração/intensificação/estabilização de processos, alterações nos materiais etc.

Para a etapa de operação também foi elaborado um modelo de lista de verificação, adotando a escala do grau de implementação das ações, estabelecidas pela Portaria SEGECEX, de 27 de outubro de 2009 do Tribunal de Contas da União (TCU). Diante da quantidade considerável de quesitos para o meio físico, optou-se em dividi-los pelos temas geomorfológicos adotados anteriormente, sendo utilizados quatro: “processos e dinâmica geomorfológica”, “impactos geomorfológicos”, “geomorfologia fluvial” e “geomorfologia costeira”.

Os quesitos de 01 a 04 são direcionados à erosão marginal, seja no risco de destruição das edificações (01), na implementação de um programa voltado aos processos erosivos de um modo geral (02), o risco da perda de terras (03) e o monitoramento da erosão marginal, tanto a montante como a jusante (04). São exemplos de quesitos pensados numa escala de tempo de, no mínimo, décadas.

Os quesitos 05 e 06 estão relacionados as estradas de acesso abertas nas fases de projeto e de construção, buscando o monitoramento dos processos geomorfológicos (05) e a recuperação das mesmas, evitando que essas áreas degradadas deflagrem processos geomorfológicos (06). Ainda no campo da recuperação das áreas degradadas, o quesito 07 propõe o acompanhamento da implantação e da execução das obras de controle e/ou recuperação dessas áreas em qualquer parte do empreendimento.

No quesito 08 é proposto o acompanhamento da ocorrência de processos erosivos, escorregamentos e solapamentos nas margens do reservatório, constituindo processos comuns na realidade de muitas barragens. No quesito seguinte, o objetivo é acompanhar a implementação das obras de contenção de processos erosivos e movimentos de massa.

Os quesitos 10 e 11 são voltados a geração de ondas no reservatório, sendo que, no primeiro caso, busca-se uma relação entre a magnitude das ondas e a posição relativa

do nível d'água do reservatório. Enquanto que o outro quesito aborda, especificamente, a geração de ondas por conta do tráfego de embarcações.

O quesito 12 destaca a influência das condições hidrogeológicas, logo após o enchimento do reservatório, na deflagração dos processos erosivos. Enquanto que o quesito seguinte aborda o mesmo monitoramento, porém durante a vida útil da barragem.

Os quesitos 14, 15 e 16 tratam do assoreamento, sendo o primeiro voltado ao monitoramento do processo no reservatório e o segundo relacionado às áreas a montante. Já o quesito 16 tem como proposta a verificação da implementação de ações de controle para as áreas de afluição de sedimentos no reservatório.

No quesito 17 a geomorfologia é colocada como um dos condicionantes para as condições operacionais do reservatório. O acompanhamento das variações do nível d'água do rio (montante e jusante) e do reservatório são considerados para o monitoramento da ocorrência dos processos erosivos nas encostas marginais (quesito 18). Enquanto que o quesito 19 busca verificar o funcionamento dos sistemas de drenagem voltados para os processos geomorfológicos, principalmente nas encostas e/ou áreas de fragilidade ambiental no reservatório.

O monitoramento da compactação do solo na área do reservatório é o foco do quesito 20, estando relacionado à geomorfologia e, necessitando, em alguns casos, de intervenções. No quesito seguinte, o mesmo se propõe a verificar se os escorregamentos têm sido monitorados (e outros movimentos de massa) por meio da análise de diversos parâmetros elencados no quadro.

Já o quesito 22 visa constatar a implementação do Programa de Monitoramento de Movimentos de Massa, sendo que, como já dito anteriormente, são processos comuns na realidade de muitas barragens. O quesito 23 aplica a dinâmica de dois elementos climáticos (chuva e vento) para o monitoramento da deflagração de processos geomorfológicos em terra (erosão nas vertentes) e na água (geração de ondas).

Os dois quesitos seguintes (24 e 25) abordam o monitoramento dos processos erosivos, sendo o primeiro tratando da implementação de um Programa de Monitoramento dos Processos Erosivos nas Encostas Marginais do Reservatório, enquanto que o outro quesito versa sobre o desenvolvimento dos processos de *piping* diante da elevação induzida do lençol freático nas margens do reservatório.

No quesito 26 a preocupação recai no tocante à recuperação das áreas de empréstimo, a partir de uma série de ações, visando atenuar o impacto na paisagem. E o quesito 27 alia o monitoramento de um fenômeno geológico (sismicidade), durante e após

o enchimento do reservatório, com a finalidade de avaliar a possibilidade de desencadeamento de processos geomorfológicos.

Nos quesitos do tema “geomorfologia fluvial”, o quesito inicial propõe o monitoramento das variáveis morfométricas para que possa avaliar as alterações dos indicadores da bacia hidrográfica. No item seguinte a preocupação aborda o acompanhamento dos efeitos da erosão fluvial a jusante sobre pontes, tomadas d’água, diques marginais e outras estruturas, considerando que os impactos de uma barragem não se restringem a área do seu reservatório, alcançando áreas a jusante e a montante. Ainda na área a jusante, o quesito 30 propõe que se monitore a variação do nível d’água do rio a jusante e a presença de aluviões arenosos, considerando os reflexos da ocorrência dessas feições da geomorfologia fluvial, para os meios físico, biótico e antrópico.

Por outro lado, a área de análise do quesito 31 é a montante da barragem, objetivando monitorar a intensidade dos processos erosivos nos cursos d’água afluentes do rio barrado, quantificando o volume e qualificando o material transportado para fins de acompanhamento do assoreamento, especialmente na região do lago do reservatório. O quesito seguinte também é bem característico da geomorfologia fluvial, pois propõe que se verifique a intensificação da incisão dos canais sobre os sedimentos do plano aluvial, podendo resultar no aumento dos processos erosivos lineares nos terraços fluviais.

Por fim, os dois últimos que compreendem o tema “geomorfologia fluvial”, o de número 33 recomenda a avaliação das consequências para a dinâmica e a morfologia fluvial devido a um grande aumento na descarga fluvial, motivado por eventos climáticos. Enquanto que o quesito 34 é voltado para o aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, decorrente do enchimento do reservatório, sendo algo que influencia diversos elementos dos meios físico, biológico e antrópico.

Já o quesito 35 foca no acompanhamento dos possíveis impactos geomorfológicos diante da necessidade de manter parte da infraestrutura utilizada na fase de construção, mas que precisou permanecer para ser utilizada na etapa de operação. O quesito 36 preconiza o acompanhamento da redução da magnitude da drenagem e a diminuição dos riscos de inundação. E o quesito 37, enquadrado no tema “geomorfologia costeira”, aborda o acompanhamento da dinâmica da estrutura das praias e da linha de costa, com a operação da barragem, devendo ser considerados, inicialmente, questões como: a distância da barragem para o litoral e o fator tempo de operação da barragem para que tais alterações possam ser identificadas.

Nos quesitos do meio biológico, algumas preocupações presentes no meio físico são retomadas com a aplicação para a fauna e a flora, como é o caso da recuperação das áreas degradadas e a sua localização em áreas de fragilidade biológica (quesito 38). Já no quesito seguinte, é proposta a indicação de áreas prioritárias, do ponto de vista geomorfológico, para a execução das ações de reflorestamento, que permitam, dentre outros objetivos, que os processos dinâmica superficial sejam menos recorrentes e menos intensos, diante de uma maior proteção do solo.

O quesito 40 é voltado para o monitoramento das áreas de preservação, relacionadas aos parâmetros geomorfológicos, e que abriguem exemplares da fauna. A mesma lógica acontece no item seguinte, contudo, com o objetivo de monitorar os fragmentos de vegetação. Enquanto que o quesito 42 propõe monitorar as APPs, delimitadas a partir de critérios geomorfológicos e que abriguem espécies em extinção. Todos os quesitos anteriores foram enquadrados no tema “geomorfologia e ecologia” e o único quesito que foi classificado em um tema diferente (“geomorfologia fluvial”), aborda a relação da dinâmica sedimentar a jusante e as consequências para a flora e fauna.

Para o meio antrópico, os dez quesitos enquadrados nos temas “geomorfologia e atividades econômicas”, “geodiversidade e etnogeomorfologia” e “processos e dinâmica geomorfológica”, visam monitorar a perda de terras produtivas na ADA pela ocorrência de processos geomorfológicos (quesito 44), impactos geomorfológicos na agricultura e pecuária da ADA (quesito 45), as alterações do uso da terra e da paisagem após o enchimento e início da operação do empreendimento, contemplando diversos usos (lazer, turismo, outras atividades econômicas, geodiversidade etc.).

Já os dois quesitos do tema “geodiversidade e etnogeomorfologia” buscam a inserção das populações das áreas próximas do empreendimento para um melhor entendimento da dinâmica geomorfológica da área, tanto a dinâmica natural, como a dinâmica induzida pelas ações humanas.

Por fim, os últimos cinco quesitos (49 – 53) têm o objetivo de monitorar os usos e/ou ocupações humanas e as possíveis consequências à dinâmica geomorfológica. É o caso das possíveis alterações na rede de drenagem na ADA (49), perdas ou danos aos sítios históricos (50), riscos geomorfológicos e as edificações construídas (51), deficiências no saneamento básico e a possível deflagração de processos geomorfológicos (52) e o uso e ocupação da terra nas margens do reservatório e a montante, com a consequente deflagração de processos erosivos (53).

Quadro 44 – Modelo de Lista de Verificação de auditoria de acompanhamento da implementação das atividades de gestão, adotadas pelo empreendedor, previstas no EIA – FASE: OPERAÇÃO

OPERAÇÃO		
MEIO FÍSICO		
QUESITO	PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA	GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES
01	Tem sido acompanhado o risco de destruição das edificações decorrente da erosão marginal?	
02	Tem sido implementado o programa ambiental voltado à identificação, cadastramento, caracterização e monitoramento dos processos erosivos, evitando a evolução remontante dos focos, bem como os efeitos secundários (a biota aquática, qualidade das águas, o reservatório e a conservação dos solos em sua faixa de entorno imediato)?	
03	Tem ocorrido o acompanhamento da perda de terras decorrente das erosões marginais?	
04	Tem sido monitorada a ocorrência dos processos erosivos nas margens a montante e a jusante?	
05	Tem ocorrido o monitoramento dos processos geomorfológicos nas estradas de acesso e a recuperação das estradas suprimidas após a construção?	
06	Tem sido implementada a recuperação das áreas degradadas referentes à supressão de algumas estradas de acesso na ADA, utilizadas na etapa de planejamento e/ou construção?	
07	Tem sido acompanhada a implantação e a execução de obras de controle e/ou de recuperação de áreas degradadas?	
08	Tem sido acompanhada a ocorrência de processos erosivos, escorregamentos e solapamentos nas margens do reservatório?	
09	Caso indicadas as possíveis obras de contenção de processos erosivos e movimentos de massa, nas áreas de maior fragilidade ambiental, estas têm sido implementadas?	
10	Tem sido avaliada a magnitude das ondas no reservatório e a posição relativa do nível d'água do reservatório?	
11	Têm sido acompanhado o tráfego de embarcações e os efeitos no desencadeamento de ondas?	

12	Têm sido monitoradas as áreas indicadas como sujeitas à deflagração de processos erosivos decorrentes da elevação do lençol freático e de outras condições hidrogeológicas, após o enchimento do reservatório?	
13	Têm sido monitorados os impactos geomorfológicos identificados como decorrentes do aumento do nível das águas subterrâneas no entorno do reservatório?	
14	Tem sido monitorado o assoreamento no reservatório da barragem?	
15	Têm sido implementadas ações para monitorar a intensificação dos processos de assoreamento a montante do reservatório?	
16	Têm sido implementadas opções de controle para as áreas de afluência de sedimentos no reservatório?	
17	Tem sido aperfeiçoado o prognóstico que trata das relações das condições operacionais do reservatório e as características geomorfológicas da área?	
18	Têm sido acompanhadas as variações de nível d'água do rio (montante e jusante) e do reservatório, buscando monitorar os processos erosivos nas encostas marginais?	
19	Tem sido acompanhado o funcionamento dos sistemas de drenagem voltados para o escoamento superficial nas áreas das encostas e/ou áreas de fragilidade ambiental do reservatório?	
20	Tem sido monitorada a compactação do solo na área do reservatório, correlacionando à morfologia e a dinâmica geomorfológica, bem como a indicação de intervenções necessárias?	
21	Têm sido monitorados os escorregamentos (e outros movimentos de massa identificados) por meio da análise da geometria do terreno, tipos de solo, condição hidrodinâmica dos terrenos e ao uso de parâmetros morfométricos (forma, declividade, orientação da vertente, posição do processo – baixa, média ou alta vertente)?	
22	Tem sido implementado o Programa de Monitoramento de Movimentos de Massa?	
23	Tem sido monitorado os elementos climáticos, especialmente as chuvas, que podem ocasionar erosão nas vertentes emersas das margens de reservatórios, e os ventos, que podem desempenhar um intenso poder erosivo das ondas geradas?	
24	Tem sido implementado um Programa de Monitoramento dos Processos Erosivos nas Encostas Marginais do Reservatório?	
25	Tem sido o monitorado o desenvolvimento dos processos de <i>piping</i> diante da elevação induzida do lençol freático nas margens do reservatório?	

26	Houve a implementação da recuperação das áreas de empréstimo, através da remodelação do relevo, buscando a eliminação de bacias de estagnação de água, atenuação de encostas íngremes, de forma a atenuar o impacto na paisagem?	
27	Foram implementados procedimentos aplicados à ocorrência de eventos sísmicos, após o enchimento do reservatório, que possam contribuir para o desencadeamento de movimentos de massa, processos erosivos e/ou outros processos da dinâmica superficial?	
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL		
28	Têm sido monitoradas as variáveis morfométricas para avaliar as alterações dos indicadores da bacia hidrográfica?	
29	Têm sido monitorados os efeitos da erosão fluvial a jusante sobre pontes, tomadas d'água, diques marginais e outras estruturas?	
30	Têm sido monitoradas a variação do nível d'água do rio a jusante e a presença de aluviões arenosos (especialmente nas ações de liberação de água durante chuvas intensas e na regularização da vazão mínima do rio)?	
31	Tem sido monitorada a intensidade dos processos erosivos nos cursos d'água afluentes do rio barrado, quantificando o volume e qualificando o material transportado para fins de acompanhamento do assoreamento?	
32	Tem sido verificada a ocorrência de intensificação da incisão dos canais sobre os sedimentos do plano aluvial, o que pode acarretar no aumento dos processos erosivos lineares nos terraços?	
33	Têm sido avaliadas as consequências para a dinâmica e a morfologia fluvial, após um grande aumento na descarga, especialmente por eventos climáticos?	
34	Têm sido implementadas ações para o acompanhamento e a avaliação do aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, após o enchimento do reservatório da barragem?	
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS		
35	Têm sido implementados procedimentos para o acompanhamento dos possíveis impactos geomorfológicos diante da manutenção da infraestrutura remanescente da fase de construção, que seja necessária para a operacionalização da barragem?	
36	Tem sido acompanhada a redução da magnitude da drenagem e diminuição dos riscos de inundação?	
GEOMORFOLOGIA COSTEIRA		

37	Tem sido acompanhada a dinâmica da estrutura das praias e da linha de costa?	
MEIO BIOLÓGICO		
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA		
38	Têm sido implementadas ações na recuperação das áreas degradadas, especialmente naquelas situadas em áreas de fragilidade biológica (próximas a áreas protegidas, com ocorrência de espécies com risco de extinção e outros casos estabelecidos no estudo do meio biológico)?	
39	Têm sido diagnosticadas e indicadas áreas prioritárias, do ponto de vista geomorfológico, para as ações de reflorestamento?	
40	Têm sido monitoradas as áreas de preservação definidas para abrigo da fauna, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico e a nova configuração pós enchimento?	
41	Têm sido monitorados os fragmentos de vegetação delimitados para a serem preservados, após o enchimento, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico?	
42	Têm sido monitoradas as APPs delimitadas, a partir de critérios geomorfológicos e que servem de abrigo para a conservação de espécies em extinção?	
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL		
43	Tem sido acompanhada a dinâmica sedimentar a jusante, atentando para os reflexos na flora e na fauna?	
MEIO ANTRÓPICO		
GEOMORFOLOGIA E ATIVIDADES ECONÔMICAS		
44	Tem sido monitorada a perda de terras produtivas na ADA em decorrência dos processos geomorfológicos?	
45	Têm sido monitorados os possíveis impactos decorrentes da geomorfologia (novas morfologias e/ou deflagração ou intensificação dos processos geomorfológicos) na agricultura e pecuária da Área Diretamente Afetada (ADA)?	
46	Têm sido monitoradas as alterações do uso da terra e da paisagem decorrentes do enchimento do reservatório e da sua operação, em seus diversos aspectos (lazer, turismo, outras atividades econômicas, geodiversidade etc.)?	
GEODIVERSIDDE E ETNOGEOMORFOLOGIA		

47	Têm sido acompanhadas as influências legislativas e político-econômicas no uso e ocupação da terra, com ênfase na morfologia fluvial, características e funcionamento, por meio de uma perspectiva sociogeomorfológica?	
48	Tem sido avaliada a percepção da comunidade com relação à morfologia do rio e à nova paisagem com a barragem e os elementos da geodiversidade (caso existentes)?	
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA		
49	Têm sido monitorados o uso e a ocupação da terra da ADA da barragem e as possíveis alterações da rede de drenagem?	
50	Têm sido acompanhados os riscos de perdas ou danos aos sítios históricos decorrentes da erosão marginal?	
51	Têm sido monitorada a ocorrência de processos geomorfológicos e os riscos para as edificações construídas?	
52	Têm sido implementadas ações para o acompanhamento de possível deflagração de processos geomorfológicos, decorrentes das deficiências do saneamento básico, nas áreas do reservatório, a montante e a jusante?	
53	Têm sido implementadas ações para o acompanhamento do uso e da ocupação da terra na área da barragem, sobre a deflagração de processos erosivos, especialmente nas margens do reservatório e nas áreas a montante do mesmo?	

Fonte: o autor (2019).

Legenda: Grau de implementação das ações (BRASIL/TCU, 2009 – Portaria SEGECEX 27/10/2009): “Cumprida ou implementada”; “Em cumprimento ou em implementação”; “Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada”; “Não cumprida/não implementada”; “Não aplicável”.

Tabela 7 – Modelo de tabela para avaliar o grau de implementação das ações da auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais e do grau de implementação das medidas mitigadoras e dos programas ambientais para as fases de instalação e de operação.

Total	Cumprida ou implementada	Em cumprimento ou em implementação	Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada	Não cumprida/não implementada	Não aplicável	Total
Absoluto						
Percentual						
Meio Físico (Abs.)						
Meio Físico (%)						
Meio Biológico (Abs.)						
Meio Biológico (%)						
Meio Antrópico (Abs.)						
Meio Antrópico (%)						

Fonte: o autor (2019).

Assim como feito anteriormente, visando a quantificação e sistematização dos dados resultantes da aplicação dos instrumentos propostos, apresenta-se um modelo de tabela, com o uso da dos diferentes graus de implementação da ações (tabela 7).

O uso da auditoria ambiental enquanto instrumento facilitador do acompanhamento dos impactos geomorfológicos, da implementação das medidas mitigadoras e dos programas de monitoramento, presentes num determinado Estudo de Impacto Ambiental de barragem, é fundamental para a otimização de uma gestão ambiental, especialmente quando se trata de uma obra pública, como são os dois casos analisados neste trabalho.

Dessa forma, concorda-se com o entendimento de Oliveira e Rodrigues (2001, p. 26) sobre a necessidade da gestão ambiental das obras públicas, já que se forem indevidamente conduzidas

[...] estejam elas em fase de projeto, implantação ou operação, podem causar danos ao meio ambiente. Se os órgãos responsáveis pelo empreendimento não contemplarem ações ambientais ou se essas forem meramente formais, os danos poderão ser consideráveis.

Sendo assim, os autores defendem que a auditoria ambiental pode contribuir, significativamente, para mudar o cenário atual do processo de licenciamento ambiental de obras públicas, que ainda atribuem grande peso aos aspectos econômicos, em detrimento da maior inserção dos critérios ambientais. E se constitui num instrumento adequado para demonstrar as falhas do processo, por meio da proposição de correções a tempo de impedir danos, por se constituir em um instrumento eminentemente preventivo.

Diante do exposto, compreende-se que a viabilidade prática da proposta passa pelo uso a ser feito por profissionais ligados à geomorfologia, que tenham conhecimento teórico, metodológico e de aplicação dos seus diversos recursos para uma análise geomorfológica. Como é possível constatar, as listas contemplaram tanto as atividades comuns a maioria das tipologias (com a variação da magnitude decorrente do porte do empreendimento), como também a definição de atividades específicas para as barragens, nos diversos momentos de um empreendimento (planejamento, instalação e operação). Por outro lado, a otimização para a sua aplicação precisa levar em conta a sua digitalização, por meio de uma planilha automatizada (podendo ser por meio do software Excel da Microsoft), que agregue às listas apresentadas e às respectivas tabelas de quantificação dos resultados, o que proporcionará maior praticidade e eficiência na análise dos dados e na tomada de decisão por parte do(s) profissional(is), que estiverem à frente da área da geomorfologia.

4.4.5 Aplicação da proposta de Auditoria geomorfológica para o EIA da barragem

Serro Azul

Diante dos instrumentos apresentados no trabalho, aplica-se a proposta de auditoria geomorfológica de conformidade com os quesitos da “análise técnica” para o EIA da barragem Serro Azul, considerando que ela, por se encontrar em operação, permite a aplicação nas três atividades técnicas: elaboração, análise e gestão (implementação).

Na auditoria da **fase de planejamento**, do total de quinze quesitos para o meio físico, quatro foram avaliados como conformidades e onze como não conformidades (Quadro 45). Em relação aos conceitos de avaliação, quatro foram enquadrados nos conceitos A (2), B (1) e C (1), enquanto que onze foram avaliados como D (1), E (2) e F (8), totalizando 73,3%. Enquanto que todos os quesitos do meio biológico (total de seis) e do meio antrópico (total de 4) foram considerados como não conformidades e com conceito de avaliação “F”.

No meio biológico, os quesitos versaram sobre a situação da área, no tocante ao panorama das áreas protegidas (APPs, Reservas Legais e Unidades de Conservação - UCs), distribuição de florestas e da cobertura vegetal em relação ao enquadramento geomorfológico. Já os quesitos referentes à fauna, associando às unidades geomorfológicas e à cobertura vegetal, bem como as novas morfologias, como as áreas receptoras de vegetação e fauna associadas, não foram contemplados no EIA, resultando em não conformidades de conceito “F”. Por fim, especificamente tratando da fauna aquática, os níveis de influência do relevo e a distribuição longitudinal das espécies da ictiofauna não foram contemplados, caracterizando outra não conformidade de conceito “F”.

Para o meio antrópico, a verificação demonstrou que os quatro quesitos foram avaliados como não conformidades com conceito “F”, o que demonstra a falta de abordagem do aspecto da etnogeomorfologia, da geodiversidade e dos impactos geomorfológicos decorrentes das atividades antrópicas (mineração e desmatamento), resultantes, dentre outras causas, das expectativas sociais com o futuro projeto, inerentes à etapa de planejamento de um empreendimento.

Quadro 45 – Auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “Análise Técnica” na fase de planejamento

FASE: PLANEJAMENTO					
MEIO FÍSICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA					
A dinâmica geomorfológica foi considerada como um dos parâmetros para a definição das áreas de bota-fora da obra, a serem utilizadas durante a obra, tendo sido indicadas e delimitadas as áreas recomendadas e não recomendadas? (PMF1)	X			C	
A geomorfologia foi considerada como um dos fatores ambientais para a definição das alternativas locais para a barragem? (PMF2)	X			A	
Foi avaliado o grau de suscetibilidade à erosão da(s) bacia(s) de drenagem e indicado o potencial da geomorfologia para transferir os sedimentos aos corpos d'água? (PMF3)	X			E	
Foram identificados os processos erosivos nas áreas a montante e a jusante do reservatório? (PMF4)	X			A	
Foi realizada a delimitação simulada dos trechos das margens do futuro reservatório, tendo sido analisada a dinâmica das áreas, destacando a suscetibilidade para ocorrência dos processos erosivos e os cenários da sua evolução? (PMF5)		X		F	
Foram identificadas as áreas degradadas por processos erosivos, tendo sido estabelecidos os percentuais para os processos ativos, estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de feições erosivas/km ² ? (PMF6)		X		F	
Foram identificadas as áreas degradadas por movimentos de massa, tendo sido estabelecidos os percentuais para os processos ativos e estabilizados/em processo de estabilização, bem como a apresentação da densidade de movimentos de massa/km ² ? (PMF7)		X		F	
Foi identificada e avaliada a existência de depósitos de assoreamento nos cursos-d'água principais, associando à configuração e à dinâmica geomorfológica, a partir de um viés histórico? (PMF8)		X		D	
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS					
Foi realizada a identificação e a análise dos possíveis impactos geomorfológicos decorrentes da “abertura de acessos”, na fase de projeto? (PMF9)		X		E	
Há a identificação e a análise dos impactos geomorfológicos decorrentes da “execução de sondagens”, na fase de projeto? (PMF10)		X		F	
MAPEAMENTO					
Foram elaborados os mapeamentos referentes aos solos, uso e ocupação da terra, drenagem e estrutura fundiária, correlacionando à geomorfologia da área, a partir da delimitação da ADA e da AID? (PMF11)	X			B	Exceto “processos erosivos”

Foi realizado o mapeamento hidrográfico da área do empreendimento e a simulação de eventos de cheia no rio principal, para fins de planejamento das áreas sujeitas à supressão da vegetação e/ou aterramento de cursos d'água ou nascentes? (PMF12)		X		F	
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA					
Foi apresentada a avaliação das áreas de beleza cênica, a partir do critério da geodiversidade, na Área Diretamente Afetada (ADA) e na Área de Influência Direta (AID), antes do início da obra e após o enchimento do reservatório, por meio da espacialização e quantificação de possíveis perdas? (PMF13)		X		F	
Foi apresentada a avaliação das áreas de importância geomorfológica para os serviços ecossistêmicos, na situação atual (antes do início da obra) e após o enchimento do reservatório, por meio da espacialização e quantificação de possíveis perdas? (PMF14)		X		F	
LEGISLAÇÃO APLICADA À GEOMORFOLOGIA					
As restrições legais de cunho geomorfológico foram identificadas e verificadas para fins de construção e da operação da barragem, tendo como referência as alternativas locacionais e as suas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) apresentadas? (PMF15)		X		F	
MEIO BIOLÓGICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
MAPEAMENTO					
Foram apresentados o mapeamento e a quantificação percentual da vegetação existente antes do início da obra e a perda da vegetação decorrente do enchimento do reservatório, classificada como Área de Preservação Permanente (APP), decorrente do enquadramento geomorfológico? (PMB1)		X		F	
Foi apresentado um mapeamento, correlacionando a distribuição da cobertura vegetal e as unidades geomorfológicas? (PMB2)		X		F	
LEGISLAÇÃO APLICADA À GEOMORFOLOGIA					
Foi verificada a existência de fragmentos de florestas nativas na área, a partir da correlação das limitações geomorfológicas legais e/ou de uso antrópico? (PMB3)		X		E	
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA					
Foram identificados e apresentados possíveis locais de refúgio da fauna terrestre, a partir das unidades geomorfológicas e da cobertura vegetal? (PMB4)		X		F	
Foram avaliadas se as alterações morfológicas, decorrentes do projeto, irão favorecer o estabelecimento de vegetação específica com a fauna associada? (PMB5)		X		F	
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL					
Foram apresentados os níveis de influência do relevo na composição da ictiofauna presente na região, especialmente na distribuição longitudinal das espécies? (PMB6)		X		F	

MEIO ANTRÓPICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA					
Foram obtidas as percepções, preocupações e conhecimentos geomorfológicos da população, que vivencia o ambiente (etnogeomorfologia) e será afetada pela obra, a respeito dos processos geomorfológicos que ocorrem na área, visando um melhor manejo geomorfológico durante as fases de construção e de operação da barragem? (PMA1)		X		F	
Foram identificadas e avaliadas as atividades econômicas, de lazer (e outras), que tenham relação com a geodiversidade local identificada? (PMA2)		X		F	
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS					
Foram estabelecidos os impactos geomorfológicos de lavras clandestinas na área da bacia hidráulica e no entorno, decorrentes da ocorrência de expectativas sociais com o futuro projeto? (PMA3)		X		F	
Foram identificados os possíveis impactos geomorfológicos por conta do incremento do desmatamento, diante das expectativas sociais, especialmente na área do futuro reservatório, resultando em possíveis alterações na morfologia? (PMA4)		X		F	

Fonte: o autor (2019).

Como forma de melhor demonstrar a quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul, a partir dos quesitos da “análise técnica”, na fase de planejamento, a Tabela 8 permite demonstrar o comportamento dos itens básicos da auditoria (Sim; Não; NA) e dos conceitos de avaliação (A a F).

Diante dos 25 quesitos aplicados para essa fase, não resta dúvida da supremacia do meio físico, tendo totalizado 60% desse total, seguido de 24% do meio biológico e 16% do meio antrópico. Em relação às conformidades e não conformidades, o “não” prevaleceu em 80% dos quesitos. Já em relação a cada um dos meios, o físico totalizou 66,7% de não conformidades, o biológico e o antrópico apresentaram 100% dos quesitos aplicados.

Nos conceitos de avaliação (A, B ou C), só quatro quesitos foram assim enquadrados, todos do meio físico. O total dos três conceitos (A+B+C) foi de 16% e 84% para os outros três (D+E+F). Já os valores em cada meio, o físico apresentou 73,3% dos quesitos avaliados como D, E ou F, enquanto que o biológico e o antrópico totalizaram 100% de quesitos avaliados com tais conceitos. O que demonstra um caráter insatisfatório para a maioria dos itens avaliados do EIA pertinentes à etapa de planejamento e a necessidade de melhorias no estudo ambiental apresentado.

Tabela 8 – Quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de planejamento

PARÂMETROS	TOTAL DE QUESITOS	SIM	NÃO	NA	A	B	C	D	E	F	A+B+C	D+E+F	TOTAL *
Absoluto (Abs.)	25	5	20	0	2	1	1	1	3	17	4	21	25
Percentual (%)	100%	20%	80%	0%	8%	4%	4%	4%	12%	68%	16%	84%	100%
Meio Físico (Abs.)	15	5	10	0	2	1	1	1	2	8	4	11	15
Meio Físico (%)	60%	33,3%	66,7%	0%	13,3%	6,7%	6,7%	6,7%	13,3%	53,3%	26,7%	73,3%	100%
Meio Biológico (Abs.)	6	0	6	0	0	0	0	0	1	5	0	6	6
Meio Biológico (%)	24%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	21,1%	78,9%	0%	100%	100%
Meio Antrópico (Abs.)	4	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	4	4
Meio Antrópico (%)	16%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%	100%

Fonte: o autor (2019).

Legenda: S: sim; N: não; NA: não se aplica.
Conceitos de avaliação (A, B, C, D, E e F) – Lee e Colley (1992).
 *Exclui os quesitos classificados como NA.

Na auditoria da fase de instalação, diante do total de 23 quesitos do meio físico, 13 foram enquadrados como conformidades, nove não conformidades e um não se aplica (Quadro 46). Das conformidades, cinco foram classificadas como conceito de avaliação “A”, seis como “B” e duas como conceito “C”. Sendo assim, 59,1% foram enquadradas nos conceitos A, B ou C. Tais quesitos geomorfológicos estão relacionados, principalmente, aos aspectos processuais inerentes à realidade de uma barragem.

Foram constatadas nove não conformidades, sendo duas como conceito “D”, cinco como “E” e duas como conceito “F”, totalizando 40,9% dos quesitos avaliados por meio dos conceitos de avaliação. Já os quesitos classificados como D e E estão associados às intervenções das diversas obras de engenharia durante a construção da barragem e a sua relação com a geomorfologia, o que se poderia intitular de uma “geomorfologia de engenharia”. Por fim, os de conceito F versaram sobre a geodiversidade e a recomposição do relevo nas áreas de escavação a montante do reservatório.

Por fim, o quesito do meio biológico foi avaliado como não conformidade e conceito “F”, enquanto que os dois quesitos do meio antrópico foram avaliados como conformidade, no entanto com conceitos diferentes (B e E).

Quadro 46 – Auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de instalação

FASE: INSTALAÇÃO					
MEIO FÍSICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS					
Foram identificadas e avaliadas as possíveis influências de outras construções (exceto a barragem) impactantes para a geomorfologia local? (IMF1)		X		E	
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL					
Foram identificadas e avaliadas as consequências para a geomorfologia fluvial do curso-d'água a ser barrado, decorrentes das obras de desvio do rio durante a fase de construção? (IMF2)		X		E	
Houve a avaliação do grau de suscetibilidade de possíveis alterações na morfologia terrestre e/ou fluvial decorrentes da retirada de materiais pétreos/terrosos, da(s) área(s) de empréstimo(s)? (IMF3)		X		D	
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA					
Verifica-se a avaliação e a análise dos processos geomorfológicos pertinentes à execução da construção da barragem auxiliar? (IMF4)	X			B	
Verifica-se a avaliação e a análise dos processos geomorfológicos pertinentes à execução da construção da barragem principal? (IMF5)	X			B	
Foram indicadas e avaliadas as áreas mais suscetíveis à deflagração de processos geomorfológicos, durante a construção, a partir da relação espaço-temporal entre os elementos climáticos e a geomorfologia? (IMF6)	X			B	
Foram indicadas e avaliadas as áreas mais suscetíveis à deflagração de processos geomorfológicos, durante a construção, a partir da relação entre os elementos geológicos e a geomorfologia? (IMF7)	X			B	
Houve a identificação e a análise da suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial por um foco geomorfológico, a partir dos tipos de solos e dos resultados da análise granulométrica? (IMF8)	X			A	
Foram avaliadas as possíveis influências da hidrogeologia na ocorrência de processos subsuperficiais e os seus reflexos para a geomorfologia da área? (IMF9)	X			C	
Foram avaliadas as possíveis influências da dinâmica hidrológica superficial da área na ocorrência de processos, especialmente focada nos recursos hídricos superficiais e os seus reflexos para a geomorfologia da área? (IMF10)	X			A	
Foram indicadas e avaliadas as áreas que devem contemplar a criação de gradientes suaves e aquelas em que se deve evitar os declives acentuados durante a construção da barragem? (IMF11)	X			A	
Foi indicada a instalação de sistemas de drenagem nas encostas sujeitas aos processos da dinâmica superficial? (IMF12)	X			A	
Foram avaliadas e identificadas as áreas de solo exposto sujeitas a processos erosivos eólicos e indicadas medidas para minimizar tal processo? (IMF13)			X		
Foram indicadas e avaliadas ações que evitem a compactação do solo durante a execução da obra? (IMF14)	X			C	

A análise e a indicação do local para a instalação, operação e desmobilização do canteiro de obras levaram em consideração a ocorrência de processos geomorfológicos e de ações impactantes para a geomorfologia (criação de cortes e aterros com risco de instabilidade de taludes/encostas; erosão e assoreamento; desmate e decapeamento/compactação dos solos; formação de cavas de materiais escavados)? (IMF15)		X		E	
A análise e a indicação do local para a instalação, operação e desmobilização do acampamento levou em consideração a ocorrência de processos geomorfológicos e de ações impactantes para a geomorfologia (criação de cortes e aterros com risco de instabilidade de taludes/encostas; erosão e assoreamento; desmate e decapeamento/compactação dos solos; formação de cavas de materiais escavados)? (IMF16)		X		E	
Foram indicados e avaliados os impactos geomorfológicos resultantes do movimento de terras (escavação, corte, aterros e bota-fora)? (IMF17)	X			B	
Foi indicada a recomposição do relevo, de forma a evitar a instabilidade de taludes/encostas submersos, decorrente da escavação de áreas de empréstimo nas áreas a montante da barragem, em cotas inferiores ao do nível máximo do reservatório? (IMF18)		X		F	
Foram indicadas e avaliadas as áreas menos propensas aos processos geomorfológicos e a mudanças consideráveis na paisagem local, resultantes das atividades de terraplenagem e os aspectos da drenagem? (IMF19)		X		E	
Foram indicados e avaliados os possíveis efeitos geomorfológicos resultantes da limpeza da área do eixo da barragem? (IMF20)	X			B	
Foram indicados e avaliados os procedimentos a serem adotados para minimizar ou evitar a instabilidade das encostas resultantes do enchimento do reservatório? (IMF21)	X			A	
MAPEAMENTO					
Houve a avaliação e a definição, a partir de parâmetros geomorfológicos, das novas áreas para a abertura e operação das vias de acesso e a intensificação de uso daquelas abertas na fase de projeto? (IMF22)		X		D	
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA					
Existe a avaliação dos impactos aos elementos da geodiversidade resultantes da retirada de materiais das áreas de empréstimo, na ADA e na AID? (IMF23)		X		F	
MEIO BIOLÓGICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA					
Foi avaliado se o possível aumento de sedimentos, a jusante da barragem, pode ocasionar efeitos negativos na flora e fauna? (IMB1)		X		F	
MEIO ANTRÓPICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA E ATIVIDADES ECONÔMICAS					
Foram avaliadas as consequências da alteração do relevo para as atividades de turismo, lazer, mineração e agropecuária? (IMA1)	X			E	Só turismo e mineração

					(enchimento do reservatório)
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS					
Foi analisada a reintegração do canteiro de obras à paisagem local, a partir do viés geomorfológico? (IMA2)	X			B	

Fonte: o autor (2019).

Legenda: IMF – Instalação Meio Físico; IMB – Instalação Meio Biológico; IMA – Instalação Meio Antrópico.

Na Tabela 9, encontra-se detalhada a quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul, a partir dos quesitos da “Análise Técnica”, na fase de instalação, com o uso dos itens básicos da auditoria (Sim; Não; NA) e dos conceitos de avaliação (A a F).

Dos 26 quesitos aplicados para essa fase, 23 estão associados ao meio físico, tendo totalizado 88,5% desse total, seguido de 7,7% do meio antrópico e 3,8% do meio biológico. Em relação às conformidades e não conformidades, diferente da etapa de planejamento, o “sim” prevaleceu em 57,8% dos quesitos. Nos conceitos de avaliação (A, B ou C), 14 quesitos foram avaliados com um desses conceitos, demonstrando um caráter satisfatório para a maioria dos itens avaliados do EIA para essa fase.

Os conceitos insatisfatórios apresentaram um percentual de 100% no meio biológico, 50% no antrópico e 39,1% para o meio físico, o que demonstra um melhor comportamento em relação à fase de planejamento, mesmo assim, tais resultados expõem a necessidade de melhorias do EIA analisado.

Tabela 9 – Quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de instalação

PARÂMETROS	TOTAL DE QUESITOS	SIM	NÃO	NA	A	B	C	D	E	F	A+B+C	D+E+F	TOTAL*
Absoluto (Abs.)	26	15	10	1	5	7	2	2	6	3	14	11	25
Percentual (%)	100%	57,8%	38,4%	3,8%	19,2%	26,9%	7,7%	7,7%	23,1%	11,6%	53,8%	42,4%	100%
Meio Físico (Abs.)	23	13	9	1	5	6	2	2	5	2	13	9	22
Meio Físico (%)	88,5%	56,6%	39,1%	4,3%	22,7%	27,3%	9,1%	9,1%	22,7%	9,1%	59,1%	40,9%	100%
Meio Biológico (Abs.)	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Meio Biológico (%)	3,8%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%	100%
Meio Antrópico (Abs.)	2	2	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	2
Meio Antrópico (%)	7,7%	100%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	50%	0%	50%	50%	100%

Fonte: o autor (2019).

Legenda: S: sim; N: não; NA: não se aplica.

Conceitos de avaliação (A, B, C, D, E e F) – Lee e Colley (1992).

*Exclui os quesitos classificados como NA.

Na **fase de operação**, de um total de 23 quesitos do meio físico, nove foram avaliados como conformidades e 14 como não conformidades (Quadro 47). Dos conceitos, sete quesitos foram avaliados como A (3), B (3) e C(1), enquanto que 16 foram avaliados como D (6), E (2) e F (8), o que representa 69,5% do total auditado.

Já os cinco quesitos do meio biológico e os sete do meio antrópico foram avaliados como não conformidades com o conceito “F”, o que repete o mesmo enquadramento para esses dois meios na fase de planejamento.

No total dos três meios, verifica-se que praticamente todos os quesitos do meio biológico e do meio antrópico foram avaliados como não conformidade e conceito de avaliação “F”. Já no meio físico, que apresentou a maior quantidade de quesitos em todas as etapas (planejamento, instalação e operação), os resultados demonstraram que a fase de operação apresentou a maior quantidade de não conformidades, enquanto que a fase de instalação obteve o maior quantitativo de conformidades. Já em relação aos quesitos avaliados de modo insatisfatório (conceitos D, E e F), o maior percentual foi verificado na fase de planejamento (84%), seguido da operação (80,2%) e da instalação (42,4%). Dessa forma, diante do alto percentual na fase de operação, tal fato poderá refletir no cumprimento da implementação das recomendações do EIA e na sua consequente efetividade.

Quadro 47 – Auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de operação

FASE: OPERAÇÃO					
MEIO FÍSICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA					
Foi avaliada a possibilidade da intensificação do assoreamento nos cursos-d'água a montante? (OMF1)	X			D	
Foram analisadas as áreas de afluição de sedimentos no reservatório e indicadas as alternativas de controle? (OMF2)		X		F	
Foi apresentado um programa de monitoramento dos processos erosivos nas encostas marginais do reservatório? (OMF3)	X			A	
Foi avaliada a possibilidade da ocorrência dos processos erosivos nas margens a montante e a jusante, compreendidas na ADA e na AID? (OMF4)	X			A	
Foi estabelecida a necessidade do acompanhamento da variação do nível d'água do reservatório com o objetivo de monitorar a redução da porosidade do solo, nas áreas das bordas do reservatório? (OMF5)		X		F	
Foram indicadas e avaliadas as áreas sujeitas à deflagração de processos erosivos decorrentes das elevação do lençol freático e de outras condições hidrogeológicas, após o enchimento do reservatório? (OMF6)	X			B	
Foram indicados os impactos geomorfológicos decorrentes do aumento do nível das águas subterrâneas no entorno do reservatório? (OMF7)	X			C	
Foi abordada a necessidade do acompanhamento das variações do nível d'água do reservatório, a fim de verificar desequilíbrios nas tensões hidrostáticas, buscando monitorando os processos erosivos nas encostas? (OMF8)	X			B	
Foram estabelecidos programas de monitoramento voltados para as encostas marginais, contemplando: processos erosivos, escorregamentos, deslocamento de blocos rochosos, solos colapsíveis e expansíveis? (OMF9)	X			E	Apenas “processos erosivos”
Foram indicadas possíveis obras de contenção, durante a vida útil da barragem, nas áreas de maior fragilidade ambiental, no tocante aos processos erosivos? (OMF10)		X		F	
Foi estabelecido o acompanhamento do funcionamento dos sistemas de drenagem para afastar o escoamento da água das encostas e/ou das áreas de fragilidade ambiental? (OMF11)		X		D	
Consta a indicação da supressão de algumas estradas de acesso na ADA, que tenham sido utilizadas na construção, estabelecendo a recuperação dessas áreas degradadas? (OMF12)		X		F	
Foi estabelecida e detalhada a recuperação das áreas de empréstimo, por meio da remodelação do relevo, buscando a eliminação de bacias de estagnação de água, atenuação de encostas íngremes, de forma a atenuar o impacto na paisagem? (OMF13)		X		D	

Foi verificada a suscetibilidade da área a ocorrência de eventos sísmicos, durante a vida útil da barragem, que contribua para o desencadeamento de movimentos de massa, processos erosivos e/ou outros processos da dinâmica superficial? (OMF14)		X		E	
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL					
Houve a abordagem da redução da carga sólida a jusante, com o aumento dos processos erosivos das margens e a alteração na morfologia do canal? (OMF15)	X			B	
Foi indicada a necessidade do acompanhamento das variáveis morfométricas para a avaliação das alterações dos indicadores da bacia hidrográfica? (OMF16)	X			A	
Foi estabelecida a ação de acompanhamento da variação do nível d'água do rio a jusante e a avaliação da presença de aluviões arenosos? (OMF17)		X		D	
Foi estabelecida a necessidade da identificação da existência de depósitos no sopé dos barrancos de erosão (feição de relevo denominada “praia”) e se as margens se apresentam com o aspecto de falésias litorâneas? (OMF18)		X		F	
Foi avaliada a necessidade do monitoramento dos efeitos da erosão fluvial a jusante sobre pontes, tomadas-d'água, diques marginais e outras estruturas? (OMF19)		X		F	
Foi elaborado um prognóstico que trate das relações das condições operacionais do reservatório e as características geomorfológicas da área? (OMF20)		X		D	
Foi estabelecido o detalhamento dos procedimentos para o acompanhamento e a avaliação do aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, após o enchimento do reservatório da barragem? (OMF21)		X		F	
MAPEAMENTO					
Foi estabelecido o monitoramento da compactação do solo, através do mapeamento de solos compactados, associando a morfologia e a dinâmica geomorfológica, indicando intervenções necessárias? (OMF22)		X		F	
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS					
Foi apresentada uma avaliação sobre os possíveis impactos geomorfológicos diante da manutenção da infraestrutura remanescente da fase de construção, que seja necessária para a operacionalização da barragem? (OMF23)		X		D	
MEIO BIOLÓGICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA					
Foi estabelecida a necessidade de acompanhar a recuperação das áreas degradadas, especialmente aquelas situadas em áreas de fragilidade biológica (próximo a áreas protegidas, com ocorrência de espécies com risco de extinção e outros casos estabelecidos no estudo do meio biológico)? (OMB1)		X		F	
Foi analisada como a possível diminuição dos sedimentos, a jusante da barragem, pode ocasionar efeitos negativos na flora e fauna? (OMB2)		X		F	
Foi estabelecida a delimitação das áreas de preservação para abrigo da fauna, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico e a nova configuração após o enchimento? (OMB3)		X		F	

Foi estabelecida a delimitação dos fragmentos de vegetação a serem conservados, após o enchimento, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biótico? (OMB4)		X		F	
Foram delimitadas as APPs, estabelecidas por critérios geomorfológicos, após o enchimento do reservatório, e que sirvam de abrigo para a conservação de espécies em extinção? (OMB5)		X		F	
MEIO ANTRÓPICO	SIM	NÃO	NA	Conceito de Avaliação	Obs.
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL					
Foi estabelecido o acompanhamento do uso e da ocupação da terra na ADA e a avaliação das possíveis alterações da rede de drenagem? (OMA1)		X		F	
Foi estabelecido o acompanhamento do uso e da ocupação da terra na área da barragem, sobre a deflagração de processos erosivos e movimentos de massa, especialmente nas margens do reservatório e nas áreas a montante dele? (OMA2)		X		F	
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA					
Foram indicadas metodologias da etnogeomorfologia para a verificação da percepção da população com relação à modificação da paisagem, especialmente os elementos geomorfológicos e da geodiversidade (caso existentes)? (OMA3)		X		F	
Consta a avaliação das alterações do uso da terra e da paisagem decorrentes do enchimento do reservatório, em seus diversos aspectos (lazer, turismo, outras atividades econômicas, geodiversidade etc.)? (OMA4)		X		E	Só Turismo
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA					
Foram identificados e avaliados os possíveis impactos decorrentes da geomorfologia (novas morfologias e/ou deflagração ou intensificação dos processos geomorfológicos) na agricultura ribeirinha e na estrutura fundiária da Área Diretamente Afetada (ADA)? (OMA5)		X		F	
Foram estabelecidos cenários de como a deficiência do saneamento básico pode originar ou contribuir para a deflagração de processos geomorfológicos, afetando o reservatório e as áreas imediatamente a jusante e a montante da barragem? (OMA6)		X		F	
Foi realizada uma avaliação sobre a possibilidade da perda de áreas após o enchimento e o início da operação da barragem, de potencial arqueológico, decorrentes da geomorfologia (a exemplo das áreas de topos aplainados e encostas suaves como áreas a serem prospectadas por se tratarem de áreas de potencial arqueológico propícias à ocupação de grupos pré-históricos) e dos processos erosivos (e outros) e a dispersão de vestígios arqueológicos? (OMA7)		X		F	

Fonte: o autor (2019).

Legenda: OMF – Operação Meio Físico; OMB – Operação Meio Biológico; OMA – Operação Meio Antrópico.

Por fim, a Tabela 10 expõe a quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul, a partir dos quesitos da “análise técnica”, na fase de operação. De um total de 35 quesitos aplicados para a fase de operação, 23 estão associados ao meio físico, totalizando 65,7%, seguido de 20% do meio antrópico e 14,3% do meio biológico. Em relação às conformidades e não conformidades, diferente da etapa de instalação, o “não” voltou a prevalecer, com 74,3% dos quesitos, assim como aconteceu na fase de planejamento. Nos conceitos de avaliação, a maioria dos quesito (28) foram avaliados com conceitos D, E ou F, demonstrando um caráter insatisfatório da maioria dos itens avaliados do EIA.

Os conceitos insatisfatórios apresentaram um percentual de 100% no meio biológico, 100% no antrópico e 69,7% para o meio físico, o que deixa a avaliação da fase de operação bem próxima dos valores obtidos na fase de planejamento.

Tabela 10 – Quantificação dos resultados obtidos com a aplicação da auditoria geomorfológica do EIA da barragem Serro Azul a partir dos quesitos da “análise técnica” na fase de operação

PARÂMETROS	TOTAL DE QUESITOS	SIM	NÃO	NA	A	B	C	D	E	F	A+B+C	D+E+F	TOTAL*
Absoluto (Abs.)	35	9	26	0	3	3	1	6	8	14	7	28	35
Percentual (%)	100%	25,7%	74,3%	0%	8,5%	8,5%	2,8%	17,2%	23%	40%	19,8%	80,2%	100%
Meio Físico (Abs.)	23	9	14	0	3	3	1	6	2	8	7	16	23
Meio Físico (%)	65,7%	39,1%	60,9%	0%	13%	13%	4,3%	26,1%	8,8%	34,8%	30,3%	69,7%	100%
Meio Biológico (Abs.)	5	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0	5	5
Meio Biológico (%)	14,3%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%	100%
Meio Antrópico (Abs.)	7	0	7	0	0	0	0	0	6	1	0	7	7
Meio Antrópico (%)	20%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	85,7%	14,3%	0%	100%	100%

Fonte: o autor (2019).

Legenda: S: sim; N: não; NA: não se aplica.

Conceitos de avaliação (A, B, C, D, E e F) – Lee e Colley (1992).

*Exclui os quesitos classificados como NA.

4.4.6 Auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais, das medidas mitigadoras e dos programas ambientais implementados, previstos no EIA da barragem Serro Azul

A auditoria de monitoramento foca na instalação e na operação do empreendimento, buscando comparar os impactos ambientais previstos no EIA e os que são constatados na realidade, bem como verificar se as medidas mitigadoras propostas no EIA têm sido efetivas na implantação, identificando os graus de implementação das ações. Visa também avaliar a implementação dos programas ambientais, de controle, compensação e monitoramento ambiental, além das condicionantes técnicas das licenças ambientais. Diante da conclusão das obras e do enchimento do reservatório, posterior ao início do desenvolvimento desta pesquisa, optou-se em não aplicar a auditoria geomorfológica de monitoramento da fase de instalação, restringindo a aplicação da auditoria a etapa de operação da barragem Serro Azul.

A auditoria geomorfológica de implementação das recomendações do EIA demonstrou que o grau de implementação das ações da maior parte dos quesitos, contemplando os três meios, indicou o enquadramento de “não atendida/não implementada”, exceto quatro quesitos do meio físico, que foram avaliados como “não aplicável”. Portanto, verifica-se que, apesar do EIA contemplar diversas recomendações e condicionantes para a fase de operação, tais recomendações não têm sido implementadas na realidade da barragem, ficando restritas ao cumprimento do Protocolo de elaboração e a verificação no momento da análise técnica. Conforme se observa no Quadro 48, as avaliações obtidas demonstram que os aspectos geomorfológicos são tratados de modo isolado, mas, em muitos quesitos, estabelecendo relações com outras áreas que são realidade na área do empreendimento, a exemplo da arqueologia, sistema viário, edificações construídas, flora, fauna, comunidades, terras produtivas etc., dessa forma expondo uma baixa efetividade do EIA para que seja implementado na realidade do empreendimento e venha proporcionar a eliminação ou minimização dos impactos ambientais.

Por fim, buscando quantificar as avaliações obtidas, foi elaborado um quadro, baseado na proposta de Brasil/TCU (2009), de modo a expor o grau de implementação das ações da auditoria geomorfológica aplicada, em valores absolutos e em percentuais (Tabela 11).

Quadro 48 – Auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais e do grau de implementação das atividades de gestão adotadas na fase de operação da barragem Serro Azul.

OPERAÇÃO		
MEIO FÍSICO		
QUESITO	PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA	GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES
01	Tem sido acompanhado o risco de destruição das edificações decorrente da erosão marginal?	Não cumprida/não implementada
02	Tem sido implementado o programa ambiental voltado à identificação, cadastramento, caracterização e monitoramento dos processos erosivos, evitando a evolução remontante dos focos, bem como os efeitos secundários (a biota aquática, qualidade das águas, o reservatório e a conservação dos solos em sua faixa de entorno imediato)?	Não cumprida/não implementada
03	Tem ocorrido o acompanhamento da perda de terras decorrente das erosões marginais?	Não cumprida/não implementada
04	Tem sido monitorada a ocorrência dos processos erosivos nas margens a montante e a jusante?	Não cumprida/não implementada
05	Tem ocorrido o monitoramento dos processos geomorfológicos nas estradas de acesso e a recuperação das estradas suprimidas após a construção?	Não cumprida/não implementada
06	Tem sido implementada a recuperação das áreas degradadas referentes à supressão de algumas estradas de acesso na ADA, utilizadas na etapa de planejamento e/ou construção?	Não cumprida/não implementada
07	Tem sido acompanhada a implantação e a execução de obras de controle e/ou de recuperação de áreas degradadas?	Não cumprida/não implementada
08	Tem sido acompanhada a ocorrência de processos erosivos, escorregamentos e solapamentos nas margens do reservatório?	Não cumprida/não implementada
09	Caso indicadas as possíveis obras de contenção de processos erosivos e movimentos de massa, nas áreas de maior fragilidade ambiental, estas têm sido implementadas?	Não aplicável
10	Tem sido avaliada a magnitude das ondas no reservatório e a posição relativa do nível d'água do reservatório?	Não cumprida/não implementada
11	Tem sido acompanhado o tráfego de embarcações e os efeitos no desencadeamento de ondas?	Não cumprida/não implementada

12	Tem sido monitoradas as áreas indicadas como sujeitas à deflagração de processos erosivos decorrentes da elevação do lençol freático e de outras condições hidrogeológicas, após o enchimento do reservatório?	Não cumprida/não implementada
13	Tem sido monitorados os impactos geomorfológicos identificados como decorrentes do aumento do nível das águas subterrâneas no entorno do reservatório?	Não cumprida/não implementada
14	Tem sido monitorado o assoreamento no reservatório da barragem?	Não cumprida/não implementada
15	Tem sido implementadas ações para monitorar a intensificação dos processos de assoreamento a montante do reservatório?	Não cumprida/não implementada
16	Tem sido implementadas opções de controle para as áreas de afluência de sedimentos no reservatório?	Não cumprida/não implementada
17	Tem sido aperfeiçoado o prognóstico que trata das relações das condições operacionais do reservatório e as características geomorfológicas da área?	Não cumprida/não implementada
18	Tem sido acompanhadas as variações de nível d'água do rio (montante e jusante) e do reservatório, buscando monitorar os processos erosivos nas encostas marginais?	Não cumprida/não implementada
19	Tem sido acompanhado o funcionamento dos sistemas de drenagem voltados para o escoamento superficial nas áreas das encostas e/ou áreas de fragilidade ambiental do reservatório?	Não cumprida/não implementada
20	Tem sido monitorada a compactação do solo na área do reservatório, correlacionando à morfologia e a dinâmica geomorfológica, bem como a indicação de intervenções necessárias?	Não cumprida/não implementada
21	Tem sido monitorado os escorregamentos (e outros movimentos de massa identificados) por meio da análise da geometria do terreno, tipos de solo, condição hidrodinâmica dos terrenos e ao uso de parâmetros morfométricos (forma, declividade, orientação da vertente, posição do processo – baixa, média ou alta vertente)?	Não cumprida/não implementada
22	Tem sido implementado o Programa de Monitoramento de Movimentos de Massa?	Não aplicável
23	Tem sido monitorado os elementos climáticos, especialmente as chuvas, que podem ocasionar erosão nas vertentes emersas das margens de reservatórios, e os ventos, que podem desempenhar um intenso poder erosivo das ondas geradas?	Não cumprida/não implementada
24	Tem sido implementado um Programa de Monitoramento dos Processos Erosivos nas Encostas Marginais do Reservatório?	Não cumprida/não implementada
25	Tem sido o monitorado o desenvolvimento dos processos de <i>piping</i> diante da elevação induzida do lençol freático nas margens do reservatório?	Não cumprida/não implementada

26	Houve a implementação da recuperação das áreas de empréstimo, através da remodelação do relevo, buscando a eliminação de bacias de estagnação de água, atenuação de encostas íngremes, de forma a atenuar o impacto na paisagem?	Não cumprida/não implementada
27	Foram implementados procedimentos aplicados à ocorrência de eventos sísmicos, após o enchimento do reservatório, que possam contribuir para o desencadeamento de movimentos de massa, processos erosivos e/ou outros processos da dinâmica superficial?	Não aplicável
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL		
28	Tem sido monitoradas as variáveis morfométricas para avaliar as alterações dos indicadores da bacia hidrográfica?	Não cumprida/não implementada
29	Tem sido monitorados os efeitos da erosão fluvial a jusante sobre pontes, tomadas d'água, diques marginais e outras estruturas?	Não cumprida/não implementada
30	Tem sido monitorada a variação do nível d'água do rio a jusante e a presença de aluviões arenosos (especialmente nas ações de liberação de água durante chuvas intensas e na regularização da vazão mínima do rio)?	Não cumprida/não implementada
31	Tem sido monitorada a intensidade dos processos erosivos nos cursos d'água afluentes do rio barrado, quantificando o volume e qualificando o material transportado para fins de acompanhamento do assoreamento?	Não cumprida/não implementada
32	Tem sido verificada a ocorrência de intensificação da incisão dos canais sobre os sedimentos do plano aluvial, o que pode acarretar no aumento dos processos erosivos lineares nos terraços?	Não cumprida/não implementada
33	Tem sido avaliadas as consequências para a dinâmica e a morfologia fluvial, após um grande aumento na descarga, especialmente por eventos climáticos?	Não cumprida/não implementada
34	Tem sido implementadas ações para o acompanhamento e a avaliação do aumento do comprimento e da quantidade de canais fluviais de ordens inferiores, após o enchimento do reservatório da barragem?	Não cumprida/não implementada
IMPACTOS GEOMORFOLÓGICOS		
35	Tem sido implementados procedimentos para o acompanhamento dos possíveis impactos geomorfológicos diante da manutenção da infraestrutura remanescente da fase de construção, que seja necessária para a operacionalização da barragem?	Não cumprida/não implementada
36	Tem sido acompanhada a redução da magnitude da drenagem e diminuição dos riscos de inundação?	Não cumprida/não implementada
GEOMORFOLOGIA COSTEIRA		

37	Tem sido acompanhada a dinâmica da estrutura das praias e da linha de costa?	Não aplicável
MEIO BIOLÓGICO		
GEOMORFOLOGIA E ECOLOGIA		
38	Tem sido implementadas ações na recuperação das áreas degradadas, especialmente naquelas situadas em áreas de fragilidade biológica (próximas a áreas protegidas, com ocorrência de espécies com risco de extinção e outros casos estabelecidos no estudo do meio biológico)?	Não cumprida/não implementada
39	Tem sido diagnosticado e indicadas áreas prioritárias, do ponto de vista geomorfológico, para as ações de reflorestamento?	Não cumprida/não implementada
40	Tem sido monitoradas as áreas de preservação definidas para abrigo da fauna, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico e a nova configuração pós enchimento?	Não cumprida/não implementada
41	Tem sido monitorados os fragmentos de vegetação delimitados para a serem preservados, após o enchimento, tendo o relevo como parâmetro, a partir da correlação com o estudo do meio biológico?	Não cumprida/não implementada
42	Tem sido monitoradas as APPs delimitadas, a partir de critérios geomorfológicos e que servem de abrigo para a conservação de espécies em extinção?	Não cumprida/não implementada
GEOMORFOLOGIA FLUVIAL		
43	Tem sido acompanhada a dinâmica sedimentar a jusante, atentando para os reflexos na flora e na fauna?	Não cumprida/não implementada
MEIO ANTRÓPICO		
GEOMORFOLOGIA E ATIVIDADES ECONÔMICAS		
44	Tem sido monitorada a perda de terras produtivas na ADA em decorrência dos processos geomorfológicos?	Não cumprida/não implementada
45	Tem sido monitorados os possíveis impactos decorrentes da geomorfologia (novas morfologias e/ou deflagração ou intensificação dos processos geomorfológicos) na agricultura e pecuária da Área Diretamente Afetada (ADA)?	Não cumprida/não implementada
46	Tem sido monitorada as alterações do uso da terra e da paisagem decorrentes do enchimento do reservatório e da sua operação, em seus diversos aspectos (lazer, turismo, outras atividades econômicas, geodiversidade etc.)?	Não cumprida/não implementada
GEODIVERSIDADE E ETNOGEOMORFOLOGIA		

47	Tem sido acompanhadas as influências legislativas e político-econômicas no uso e ocupação da terra, com ênfase na morfologia fluvial, características e funcionamento, por meio de uma perspectiva sociogeomorfológica?	Não cumprida/não implementada
48	Tem sido avaliada a percepção da comunidade com relação a morfologia do rio e a nova paisagem com a barragem e os elementos da geodiversidade (caso existentes)?	Não cumprida/não implementada
PROCESSOS E DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA		
49	Tem sido monitorados o uso e a ocupação da terra da ADA da barragem e as possíveis alterações da rede de drenagem?	Não cumprida/não implementada
50	Tem sido acompanhados os riscos de perdas ou danos aos sítios históricos decorrentes da erosão marginal?	Não cumprida/não implementada
51	Tem sido monitorada a ocorrência de processos geomorfológicos e os riscos para as edificações construídas?	Não cumprida/não implementada
52	Tem sido implementadas ações para o acompanhamento de possível deflagração de processos geomorfológicos, decorrentes das deficiências do saneamento básico, nas áreas do reservatório, a montante e a jusante?	Não cumprida/não implementada
53	Tem sido implementadas ações para o acompanhamento do uso e da ocupação da terra na área da barragem, sobre a deflagração de processos erosivos, especialmente nas margens do reservatório e nas áreas a montante do mesmo?	Não cumprida/não implementada

Fonte: o autor (2019).

Legenda: Grau de implementação das ações (BRASIL/TCU, 2009 – Portaria SEGECEX 27/10/2009): “Cumprida ou implementada”; “Em cumprimento ou em implementação”; “Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada”; “Não cumprida/não implementada”; “Não aplicável”.

Tabela 11 – Grau de implementação das ações da auditoria geomorfológica de monitoramento dos impactos ambientais e do grau de implementação das medidas mitigadoras e dos programas ambientais aplicada a fase de operação da barragem Serro Azul.

PARÂMETROS	Cumprida ou implementada	Em cumprimento ou em implementação	Parcialmente cumprida/Parcialmente implementada	Não cumprida/não implementada	Não aplicável	Total
Absoluto	0	0	0	49	4	53
Percentual	0%	0%	0%	92,4%	7,6%	100%
Meio Físico (Abs.)	0	0	0	33	4	37
Meio Físico (%)	0%	0%	0%	89,2%	10,8%	69,8%
Meio Biológico (Abs.)	0	0	0	6	0	6
Meio Biológico (%)	0%	0%	0%	100%	0%	11,3%
Meio Antrópico (Abs.)	0	0	0	10	0	10
Meio Antrópico (%)	0%	0%	0%	100%	0%	18,9%

Fonte: o autor (2019).

Dessa forma, 92,4% das ações avaliadas não estão sendo cumpridas ou não foram implementadas, enquanto que 7,6% das ações não se aplicam à realidade estudada. No tocante aos meios das ações a serem implementadas, verifica-se que 69,8% estão relacionadas ao meio físico, 18,9% ao meio antrópico e 11,3% ao meio biológico. Logo, a proposta metodológica aplicada para avaliar a gestão da barragem Serro Azul em relação à implementação das recomendações do seu EIA aponta a pouca ou ausência da gestão ambiental do empreendimento durante a fase de operação, com ênfase na geomorfologia e na análise integrada com os outros componentes do meio físico, como também dos outros meios (biológico e antrópico).

A aplicação da proposta de auditoria geomorfológica de EIA de barragens demonstrou a ampla possibilidade de aplicação, servindo como parâmetro para a análise técnica do órgão ambiental licenciador, contemplando as três etapas (planejamento, instalação e operação), permitindo confrontar aquilo que foi escrito no EIA e o que de fato é observado *in loco* e na literatura técnico-científica, chegando até a aplicação da auditoria voltada para avaliar a implementação das recomendações e condicionantes, presentes no estudo, especialmente para as fases de instalação e operação.

Outra vantagem da proposta apresentada é a valorização dada à geomorfologia, enquanto ramo do conhecimento de grande valia para a compreensão dos processos da dinâmica natural, como também para utilização por parte da sociedade humana, tanto em relação aos riscos do uso e ocupação de determinada área quanto aos benefícios proporcionados pelas formas e processos geomorfológicos, nas diversas atividades humanas. Somada a isso, tal proposta visa contribuir com uma análise mais integrada em relação aos outros elementos do meio físico, como também do meio biológico e do antrópico.

Além do mais, o fato de não se restringir ao uso tradicional nas auditorias das avaliações de “conformidade” e “não conformidade”, com a inserção dos conceitos de avaliação de Lee e Colley (1992), para o caso da “análise técnica do EIA”, permitem detalhar os aspectos relacionados às omissões, pontos adequados e inadequados/significativos, o que contribui para que tais constatações sejam utilizadas para solicitar a complementação e/ou correção do EIA protocolado.

Já a auditoria geomorfológica de monitoramento/gestão ao adotar o “Grau de Implementação de ações” do TCU (2009), em suas cinco classes, permite verificar o quanto as ações têm atendido ao que consta ou deveria constar no EIA, bem como o seu aperfeiçoamento, diante das possíveis falhas identificadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista da sua estruturação, a geomorfologia atual apresenta uma gama de conhecimentos, técnicas e procedimentos que podem ser utilizados em favor de um melhor uso e ocupação de um determinado terreno, considerando que o homem é o agente geomorfológico mais importante. Por outro lado, a integração da geomorfologia com outros conhecimentos, especialmente com a geologia, clima, pedologia e recursos hídricos, impõe a necessidade de uma abordagem mais holística, que permita entender os diversos impactos ambientais a serem gerados diante do Estudo de Impacto Ambiental.

No tocante às duas barragens estudadas, mesmo diante do objetivo principal delas, que é a contenção das cheias na região, não se pode negligenciar a execução de uma avaliação de impactos ambientais nas áreas consideradas. O que se pode constatar nos estudos ambientais analisados é que, diante de um contexto geomorfológico com certa similaridade nas duas áreas, boa parte dos impactos listados guardaram relação com ambas as áreas. Diante dos impactos ambientais listados, destaca-se a importância da implementação e aperfeiçoamento das medidas mitigadoras e dos programas de monitoramento voltados para o meio físico, como meios de garantir uma maior vida útil do empreendimento e que sejam minimizados outros impactos ambientais em detrimento do objetivo de contenção de cheias. A discussão apresentada não deixa dúvidas do papel do conhecimento geomorfológico como fundamental no controle racional e no uso que a sociedade humana faz do ambiente.

Portanto, a geomorfologia necessita estar cada vez mais próxima dos instrumentos de planejamento e gestão ambiental, a exemplo do Estudo de Impacto Ambiental e da auditoria ambiental. Tais instrumentos não devem ser assimilados como obstáculos ao cumprimento do cronograma estabelecido ou a custos adicionais, mas como um novo paradigma do desenvolvimento socioeconômico e do gasto mais racional dos recursos financeiros, sem gerar significativos impactos ambientais que afetem a saúde, segurança, atividades econômicas e o lazer da população, especialmente das comunidades mais diretamente impactadas, buscando o máximo de retornos socioambientais.

Dessa forma, a proposta apresentada tem o propósito de se constituir como mais uma opção para os profissionais que queiram um instrumento norteador no momento da elaboração do Termo de Referência e do estudo ambiental, além da atividade de análise técnica e de gestão, durante as fases de instalação e de operação, do empreendimento. Por outro lado, aqueles que prezam por uma simplificação ou por uma abordagem superficial de uma determinada área do conhecimento nos estudos ambientais, como é a geomorfologia, as listas apresentadas poderão

se constituir em um maior obstáculo para o tempo demandado para elaborar e analisar os EIAs, bem como na realização da auditoria para implementação das recomendações presentes no EIA, além de maiores riscos de não aprovação ou solicitação de complementações pelo órgão ambiental licenciador, por acarretar num maior grau de criteriosidade e, conseqüentemente, um maior rigor naquilo que está sendo apresentado.

Vale enfatizar que, na realidade brasileira, nem sempre temos, para o caso da geomorfologia, profissionais legalmente habilitados para atuar na área que estejam à frente da elaboração desse item no EIA, bem como nem sempre se dispõe de profissionais da área para analisar e avaliar o EIA no órgão ambiental licenciador. Logo, quando profissionais não aptos a trabalhar em um determinado tipo de estudo são escolhidos, corre-se um sério risco de, diante da falta de conhecimento aprofundado sobre o assunto, o estudo ser mal elaborado, mascarando impactos importantes, que resultará em uma avaliação inadequada da importância dos impactos do empreendimento. O mesmo entendimento aplica-se ao corpo técnico dos órgãos ambientais que analisam tais estudos (GUTIERRES *et al.*, 2018; GUTIERRES *et al.*, 2019), contribuindo, portanto, para que órgãos ambientais, conselhos de meio ambiente, Ministério Público e a sociedade, de uma forma geral, não venham a continuar se deparando, de modo tão recorrente, com estudos deficientes em informações, com dados equivocados, falta de clareza e objetividade, ausência de rigor metodológico e aprofundamento do conteúdo abordado, mesmo dispondo de uma legislação ambiental avançada e de uma literatura especializada (BRASIL/MPF, 2004). Todos esses problemas no momento da elaboração dos EIAs/RIMAs comprometem a transparência, o alcance e a eficiência desses estudos para que realmente surtam o efeito desejado pela sociedade.

Sendo assim, caso se criem condições para uma análise criteriosa da geomorfologia nos EIAs, a proposta apresentada não constituirá em empecilho ou “perda de tempo”, mas uma nova opção de uso por parte de profissionais especializados na área e que poderão complementar ou suprimir determinados quesitos, de acordo com a realidade de cada empreendimento. Isso, de certa forma, reduz possíveis arbitrariedades na adoção desse instrumento. Por outro lado, a construção metodológica das listas, pautada na revisão da literatura, nas atividades de campo realizadas nas duas barragens, na análise dos seus EIAs, bem como de outros oito EIAs, permitiu com que tal elaboração tenha se pautado em princípios científicos sólidos, principalmente da área da geomorfologia e da avaliação de impacto ambiental, favorecendo a um controle de vieses, seja evitando-os, seja minimizando-os.

Sendo assim, é fundamental que se desenvolvam pesquisas e metodologias visando melhorar a qualidade dos EIAs, de forma a contribuir na maior efetividade da AIA.

Compreende-se que a revisão da qualidade dos EIAs deve acontecer em diversos momentos: desde os profissionais que elaboram os Termos de Referência, passando pelos profissionais elaboradores do estudo, profissionais responsáveis pela análise técnica do EIA, profissionais que irão implementar o que foi indicado no EIA e os técnicos do órgão ambiental que irão acompanhar e verificar o cumprimento dessa implementação. A proposta apresentada é passível de correções ou adaptações, considerando as particularidades do projeto ou do ambiente.

O sucesso da aplicação do EIA, no cumprimento da sua função em diagnosticar, avaliar os impactos e propor medidas mitigadoras e programas de monitoramento na área da geomorfologia, remete à necessidade da presença de profissionais legalmente habilitados a atuarem na área da geomorfologia, enfatizando uma melhor formação desses profissionais, devendo ser incluídos componentes que privilegiam a geomorfologia aplicada, especialmente a inserção da geomorfologia nos EIAs. Por outro lado, uma melhor estruturação dos órgãos ambientais responsáveis pela análise desses estudos ambientais, com profissionais legalmente habilitados e qualificados para atuarem com os conhecimentos geomorfológicos, constitui-se em algo essencial, não só no momento da elaboração do Termo de Referência, como também na análise dos estudos para a tomada de decisão do licenciamento ambiental, assim como da efetividade da aplicação das diretrizes estabelecidas pelo EIA na gestão ambiental do empreendimento, o que permitirá com que a gestão ambiental insira a geomorfologia como uma das preocupações e que a mesma seja efetivamente útil, a partir do momento que os profissionais tenham domínio dos conhecimentos, das técnicas e dos procedimentos inerentes à geomorfologia.

Diante desse cenário, justifica-se a necessidade em se aprimorar a inserção da geomorfologia nos EIAs e, para isso, faz-se uso de instrumentos da auditoria ambiental – Protocolo e Lista de Verificação –, permitindo com que os conhecimentos sejam melhor estruturados e voltados à avaliação ambiental para o licenciamento ambiental de barragens. Lee e Colley (1992) enfatizaram o fato do número limitado de estudos publicados relacionados aos métodos de revisão do EIA e com sua aplicação sistemática. Por outro lado, poucos desses estudos estão relacionados à revisão do EIA antes da aprovação do projeto, tendo um maior número de publicações que se preocupam com a revisão após a avaliação do projeto, como parte dos estudos pós-auditoria. Vale destacar que é um dos objetivos deste trabalho, mas não se resume ao pós-aprovação, alcançando desde a etapa de elaboração do Termo de Referência (TR), elaboração do estudo, análise técnica e gestão ambiental do empreendimento (com a implementação do que foi indicado pelo EIA). Nesse universo de etapas, salienta-se a

possibilidade em discutir os impactos gerados a partir da remoção/descomissionamento de barragens, algo que já vem ocorrendo em alguns países.

A escolha pela matriz é decorrente da proximidade com a abordagem da auditoria ambiental, a exemplo do uso do Checklist, bem como de um melhor entendimento e do custo baixo para a sua estruturação, além do ganho de tempo, que é necessário nesse tipo de atividade, tanto por parte dos consultores ambientais que elaboram o estudo e implementam as suas recomendações quanto dos técnicos dos órgãos ambientais que irão tomar a decisão do licenciamento ambiental do empreendimento.

Diversas críticas são feitas ao licenciamento ambiental atual no Brasil, incluindo a demora na emissão dos Termos de Referência voltados para subsidiar a elaboração dos EIAs/RIMAs. Logo, a elaboração de um roteiro voltado para a geomorfologia torna-se um motivo relevante para a proposição de pesquisas acadêmicas que contribuam para o aprimoramento do licenciamento ambiental na realidade brasileira. Vale destacar que a proposta apresentada neste trabalho não deve ser encarada como algo limitativo, pois cada impacto existirá ou não, terá importância ou não, de acordo com cada ambiente e projeto analisados. O uso das duas escalas de avaliação (LEE; COLLEY, 1992; BRASIL/TCU, 2009) dialogam com a perspectiva da discricionariedade inerente à tomada de decisão da avaliação do EIA, sendo algo menos rígido e mais norteador para subsidiar a decisão final do órgão ambiental e servir como instrumento de gestão ambiental para uma determinada barragem.

Logo, a proposta apresentada resulta num guia de AIA, especificamente para a tipologia barragem. As listas propostas, específicas para o EIA e a AIA de barragens, podem ser aperfeiçoadas, de acordo com determinadas particularidades de algumas realidades, no entanto, compreende-se que se conseguiu contemplar os aspectos essenciais no campo da geomorfologia em qualquer área. E, portanto, acredita-se que a proposta metodológica apresentada seja capaz de subsidiar a elaboração de Termos de Referência e de EIAs, como também subsidiar e promover a melhoria da análise técnica do EIA e do acompanhamento da implementação das atividades de gestão do empreendimento. Logo, contribuindo para a mudança de uma realidade em que predomina a existência de estudos ambientais extensos e pouco objetivos, como também de uma baixa objetividade e da alta discricionariedade dos Termos de Referência.

Sendo assim, para uma maior análise crítica da proposta metodológica apresenta por esta pesquisa, outras realidades devem ser objeto de análise do que foi proposto, buscando a inserção, supressão ou melhoria de quesitos, bem como dos prováveis efeitos práticos, positivos ou negativos, através de estudos comparativos, que a aplicação da metodologia irá resultar.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo: Instituto de Geografia-USP, n. 18, p. 1-22, 1969.
- AB'SABER, A. Bases conceptuais e papel do conhecimento na previsão de impactos. *In*: MÜLLER-PLANTENBERG, C.; AB'SABER, A. (Orgs.). **Previsão de impactos: Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, Rússia e Alemanha**. 2. ed. 2. reimp. São Paulo: Edusp, 2006.
- ACHKAR, M.; DOMINGUEZ, A. **Problemas epistemológicos de la geomorfología**. Facultad de Ciencias, Montevideo, 1994.
- AGUIAR, K. B. de. **Análise da abordagem geomorfológica em Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) de projetos hidrelétricos apresentados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) no período de 1993 a 2014**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- AKIOSSI, A. **Análise da abordagem dos processos de dinâmica superficial em EIAs/RIMAs de projetos urbanísticos no estado de São Paulo, no período de 1987 a 2007**. 2010. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- ALMEIDA, J. R. de. **Normalização, certificação e auditoria ambiental**. Rio de Janeiro: Thex, 2008.
- ALMEIDA, J. R. de; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos sistemas ambientais: métodos e indicadores. *In*: CUNHA, Sandra B. da; GUERRA, Antônio J. T. (Orgs.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 115-171.
- ALMEIDA, J. M. de. **Desconectividade da paisagem e compartimentação fluvial da bacia do Riacho Grande, Sertão Central pernambucano**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- ARGENTO, M. S. F. Mapeamento geomorfológico. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- ASHMORE, P. Towards a sociogeomorphology of rivers. **Geomorphology**, 251, p. 149-156, 2015
- AZEVEDO, A. A.; RUBIO, M. F. Erosão e assoreamento de reservatórios. *In*: OLIVEIRA, A. M. dos S.; MONTICELI, J. J. **Geologia de engenharia e ambiental**. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018. p. 249-272. v. 2
- BAILEY, J.; HOBBS, V. A proposed framework and database for EIA auditing. **Journal of Environmental Management**, v. 31, n. 2, p. 163-172, set. 1990.

BARATA, M. **Auditoria ambiental** – uma nova ferramenta de gestão empresarial. Dissertação de Mestrado, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1995.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2007.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. São Paulo, Brasil, 27, 1971.

BIM, E. F. **Licenciamento Ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2015.

BINDA, A. L.; LIMA, A. G. Morfologia e Processos Fluviais: o papel dos detritos lenhosos. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28, n. 2, p.59-74, jun./dez. 2008.

BIRD, A. **Auditing environmental impact statements using information held in public registers of environmental information**. Working Paper 165. Oxford: Oxford Brookes University, School of Planning, 1996.

BIRD, A.; THERIVEL, R. Post-auditing of environmental impact statements using data held in public registers of environmental information. **Project Appraisal**, v.11, n. 2, p. 105-16, 1996.

BISSET, R. Post development audits to investigate the accuracy of environmental impact predictions. **Environmental impact assessment for development projects**, 4/84, p. 463–84, 1984.

BISSET, R.; TOMLINSON, P. Monitoring and auditing of impacts. In: WATHERN, P. (Ed.). **Environmental impact assessment: theory and practice** London and New York: Routledge, 1988. p. 115–128.

BITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995.

BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. p. 499-508.

BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D.; GALLARDO, A. L. C. F. Avaliação de Impactos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; MONTICELI, J. J. **Geologia de Engenharia e Ambiental** –São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018. p. 207-225. v. 3.

BRANDT, S. A. Classification of Geomorphological effects downstream of Dams. **Catena**, n. 40, p. 375-401, 2000.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, D.F. 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 23 ago. 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 306**, de 5 de julho de 2002. Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=306>. Acesso em: 12 abr. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). **Deficiências em estudos de impacto ambiental**: síntese de uma experiência. Brasília: Escola Superior do Ministério Público, 2004.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.334**, de 20 de setembro de 2010 (estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens).

BRASIL. **Lei Complementar Nº 140**, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 dez. 2011.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Portaria Segecex 27**, de 19 de outubro de 2009. Disciplina a verificação do cumprimento das determinações e recomendações expedidas pelo Tribunal e dos resultados delas advindos e aprova, em caráter preliminar, o documento Padrões de Monitoramento.

BRIERLEY, G. B.; HOOKE, J. Emerging geomorphic approaches to guide river management practices. **Geomorphology**, v.251, p. 1-5, 2015.

BROOKES, A.; GREGORY, K. Channelization, River Engineering and Geomorphology. In: *Geomorphology in Environmental Planning*. J.M. Hooke (org.). Plymouth, John Wiley and Sons Ltd., 1988, pp.145-167.

BUCKLEY, R. Auditing the precision and accuracy of environmental impact predictions in Australia. **Environmental Impact Assessment Review**, 11, p. 1-23, 1991.

CABRAL, J. B. P. C. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. **Caminhos de Geografia**, v. 6, n. 14, p. 62-69, fev. 2005.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J. A.; VALADARES J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, **Boletim técnico**, 106, Edição revista e atualizada, 2009,

CAMPOS, L. M. de S.; LERÍPIO, A. de Á. **Auditoria ambiental**: uma ferramenta de gestão. São Paulo: Atlas, 2009.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A.N. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2015. v. 2.

CARROLL, B.; TURPIN, T. **Environmental impact assessment handbook**: a practical guide for planners, developers and communities. 2. ed. London: Thomas Telford, 2009.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 2 maio 2017.

CAVALLIN, A.; MARCHETTI, M.; PANIZZA, M.; SOLDATI, M. The role of geomorphology in environmental impact assessment. **Geomorphology**, v.9, p. 143-153, 1994.

CECH, T. V. **Recursos hídricos**: história, desenvolvimento, política e gestão. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CERQUEIRA, J. P. de. **Auditorias de sistemas de gestão**: Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

CHESSMAN, B. C.; FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G. J. Linking geomorphic character, behavior and condition to fluvial biodiversity: implications for river management. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v.16, p. 267-288, 2006.

CHIOSSI, N. J. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: HUCITEC/USP, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher. 236p, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 415-440.

CLARK, M. J. Geomorphology in Coastal Zone Management. Ed. Mansell London,. 63, p.273 – 282, 1978.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 16-32, jun. 2008.

CONDE, L. C. D. A análise dos impactos socioeconômicos na estruturação do EIA/RIMA: a importância da Abordagem Humanista para a Sustentabilidade. **Revista de Administração da UFSM**, v. 5, ed. especial, p. 799-804, 2012.

COSTA, W. D. **Geologia de barragens**. São Paulo: Oficina de Textos. 2012.

CPRM: Serviço Geológico do Brasil. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água subterrânea de Pernambuco – **Diagnóstico do município de São Benedito do Sul**, out. 2005, 2005a.

CPRM: Serviço Geológico do Brasil. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água subterrânea de Pernambuco – **Diagnóstico do município de Palmares**, out. 2005, 2005b.

CREMONEZ, F. E. *et al.* Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3821-3830, nov. 2014.

CRUZ, R. C. *et al.* Tendências na Análise de Impactos da Implementação de Barragens: Lições do Estudo de Caso das Barragens de Uso Múltiplo da Bacia do Rio Santa Maria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 1, jan./mar. 2010.

CULHANE, P.J. Post-EIS environmental auditing: a first step to making rational environmental assessment a reality. **Environmental Professional**, v.5, p. 66-75, 1993.

CUNHA, S. B. da. **Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João** (Rio de Janeiro – Brasil). 1995. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

CUNHA, S. B. Canais fluviais e a questão ambiental. *In*: CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. **A questão ambiental: diferentes abordagens**. 3. ed. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007. pp.219-238.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia: exercícios técnicas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

D'AVIGNON, A. *et al.* **Manual de auditoria ambiental**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.

DA SILVA, N. L. A. Auditoria e licenciamento ambiental como instrumentos dos sistemas de meio ambiente. *In*: BENJAMIN, A. H. (Org.). **10 anos da Eco 92: o direito e o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: IMESP, 2002. p. 225-229.

DAVIES, M.; SADLER, B. **Post-project analysis and the improvement of guidelines for environmental monitoring and audit**. S.1., EPS – Environmental Protection Series, EPS 6/FA/1), 1990, p. 36.

DIAS, E. G. C. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DOWNS, P. W.; BOOTH, D. B. Geomorphology in Environmental Management. *In*: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. (Eds.). **Handbook of Geomorphology**. SAGE Publications Ltda, 2011, p. 78-104.

ELORZA, M. G. El papel del hombre en la creación y destrucción del relieve. **Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 101, n. 1, p. 211-226, 2007.

EUROPEAN COMMISSION, 2001. Guidance on EIA, EIS Review. Disponível: <http://ec.europa.eu/environment/eia/review.htm>. Acesso: 12 jun. 2019.

FARIAS, T. Licenciamento ambiental e controle das atividades efetivas ou potencialmente poluidoras. In: CUNHA, Belinda Pereira da; AUGUSTIN, Sérgio (Org.). **Sustentabilidade ambiental**: estudos jurídicos e sociais. Caxias do Sul: Educs, 2018.

FERNÁNDEZ-VÍTORA, V. C. **Guia metodológica para la evolución del impacto ambiental**. 4. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2010.

FOLK, R. L.; WARD, W. Bazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, p. 3-26, 1957.

FONSECA, I. A. Z. Uma revisão dos EIA/RIMA sobre manguezais. In: VEIGA, J. E., (Org.) **Ciência ambiental**: primeiros mestrados. São Paulo, Annablume/FAPESP, 1998. p. 189-207.

FONSECA, A.; BRITO, L.L.A. de; GIBSON, R.B. Methodological pluralism in environmental impact prediction and significance evaluation: A case for standardization? **Environmental Impact Assessment Review**, v. 80, 2020.

FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T. de O.; GALVEZ, M.L.; BITAR, O.Y. **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, 1992.

FROST, R. EIA monitoring and audit. In: WESTON, J. **Planning and EIA in practice**, 1997, p. 141-64.

GALE, S. J.; HOARE, P. G. **Quaternary sediments**: petrographic methods for the study of lithified rocks. Londres: Bethaven Press, 1991.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A.C. de B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**, v. 21, n. 2. p.36-58, jul./dez, 2004.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas como unidades de gestão e Planejamento, a partir do estudo de áreas a Sudoeste da cidade do Recife – PE. **Revista de Geografia**, v. 24, p. 242-267, 2007.

GLASSON, J.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. **Introduction to environmental impact assessment**. 2. 4.d. London. UCL Press, 1999.

GOUDIE, A. Human influence in geomorphology. **Geomorphology**, v.7, p. 37-59, 1993.

GRAF, W.L. Geomorphology and American dams: the scientific, social, and economic context. **Geomorphology**, 71, (1-2), p. 3-26, out, 2005.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 1ª ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 434p.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 2^a ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013. 495p.

GRAYSON, L. **Environmental auditing**: a guide to best practice in the UK and Europe. London/Letchworth: British Library/Technical Communications, 1992.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; SOARES DA SILVA, A.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos** – conceitos, temas e aplicações. Ed. Bertrand Brasil, 2010,

GUTIERRES, H.E.P.; SANTOS, C. J. da S.; RODRIGUES, J. de O. N.; PEREIRA, V. D. A abordagem geomorfológica nos Estudos de Impacto Ambiental: a realidade do estado da Paraíba entre os anos de 2005 e 2014. *In*: SILVA, A. B. da; GUTIERRES, H. E. P.; GALVÃO, J. de C. **Paraíba**: pluralidade e representações geográficas 2. Campina Grande: EDUFPG, 2017. p. 53-72.

GUTIERRES, H. E. P.; SANTOS, C. J. S.; RODRIGUES, J. O. N.; PEREIRA, V. D. As equipes profissionais elaboradoras dos Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIAs/RIMAs): uma contribuição para o aprimoramento do licenciamento ambiental no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 5, 2018, p. 1786-1802, 2018.

GUTIERRES, H. E. P.; SANTOS, C. J. S.; PEREIRA, V. D.; RODRIGUES, J. O. N. A atuação profissional do Geógrafo na elaboração dos Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIAs/RIMAs). **Caderno de Geografia**. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica (PUC-MG), v. 29, n. 59, p. 997-1028, 2019.

HICKIE, D.; WADE, M. 1998. Development of guidelines for improving the effectiveness of environmental assessment. **Environmental Impact Assessment Review** 18, p. 267-287.

HOOKE, J. M. **Geomorphology in Environmental Planning**. Plymouth, John Wiley and Sons Ltd., 1988.

HOOKE, J. M. Decades of change: contributions of geomorphology to fluvial and coastal engineering and management. **Geomorphology**, 31, p. 373-389, 1999.

HOOKE, J. M. Changing landscapes: Five decades of applied geomorphology. **Geomorphology** (in progress), 2019.

HTUN, N. The EIA process in Asia and the Pacific region. *In*: WARREN, Peter (Ed.). **Environmental Impact Assessment**: Theory and practice. London: Routledge, 1988. p. 225-238.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2018.

ITEP/OS. Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA**: sistema de controle de cheias da bacia do rio Una – Barragem Serro Azul. Recife, 2011a.

ITEP/OS. Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA**: sistema de controle de cheias da bacia do rio Una – Barragem Igarapeba. Recife, 2011b.

JACOBS, M. **Environmental auditing in local government**: a guide and discussion paper. Local Government Management Board, 1991.

JESUS, A. S. de *et al.* A influência de aspectos geomorfológicos, de cobertura do solo e climáticos no surgimento e evolução de processos erosivos no entorno de reservatório. In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C.; MASCARENHA, M. dos A. (Org.). **Erosão em borda de reservatório**. Goiânia: Gráfica UFG, 2017.

KONDOLF, M.; PIEGAY, H. Geomorphology and Society. In: GREGORY, K. J., GOUDIE, A. G. (Eds.), **The SAGE Handbook of Geomorphology**. SAGE Publications Ltd, London, 2011.

LA ROVERE, E.; BARATA, M. A aplicação de auditoria ambiental nas empresas no Brasil. **Boletim Técnico da IAIA**, n. 2, 1996.

LA ROVERE, E. L. (Coord.). **Manual de Auditoria Ambiental**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEE, N.; COLLEY, R. **Reviewing the quality of environmental statements**. Occasional ed. Manchester: EIA Center. Department of Planning and Landscape. University of Manchester, 1992.

LEFF, E. **Saber Ambiental**: Sustentabilidade, racionalidade, complexidade e poder. Petrópolis, RS: Vozes. 2008.

LEOPOLD, L. B. *et al.* **A procedure for evaluating environmental impact**. Geological Survey Circular 645, Washington, 1971.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p

LIMA, L. H. M. **O Tribunal de Contas da União e o controle externo da gestão ambiental**. Rio de Janeiro: 2009. Tese (Doutorado em Planejamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. ed. Porto Alegre. Bookman. 2013.

MACEDO, R. K. **Ambiente e sustentabilidade**: metodologias para gestão. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

MACHADO, P. A. L. Auditoria Ambiental. **Revista do TCU** 10. p. 96-105, abr./jun. 2004.

MANSUR, K. L. Patrimônio Geológico, Geoturismo e Geoconservação: uma abordagem da Geodiversidade pela vertente geológica. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Geoturismo, Geodiversidade, Geoconservação**: Abordagens Geográficas e Geológicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p. 1-42

MARQUES FILHO, P.L.; GERALDO, A. Barragens e reservatórios. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 397-418

MARQUES, J. M. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 23-45.

MANTOVANI, J.; RODRIGUES, C. Geomorfologia Aplicada à Análise Forense: Uma Avaliação Necessária. **Revista do Departamento de Geografia**, (spe), p. 68-78, 2018.

MEITZEN, K. M.; DOYLE, M. W.; THOMS, M. C.; BURNS, C. E. Geomorphology within the interdisciplinary science of environmental flows. **Geomorphology**, 200, p. 143-154, 2013.

MENDONÇA, F. **Geografia física**: ciência humana? São Paulo: Contexto, 1989. (Coleção “Repensando a Geografia”).

MILARÉ, É. **Direito do ambiente**: doutrina – prática – jurisprudência – glossário. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2013.

MONOSOWSKI, E. Avaliação de impacto ambiental na perspectiva do desenvolvimento sustentável. In: SÁNCHEZ, L.E. (Org.). **Avaliação de impacto ambiental**: situação atual e perspectivas. São Paulo: Epusp, 1993. p. 3-10.

MONTAÑO, M.; CARVALHO, A. F.; GOMES, C. S.; POLAZ, C. N. M.; JORDÃO, C. O.; SOUZA, M. P. Revisão da qualidade de estudos de impacto ambiental de pequenas centrais hidrelétricas. **Holos Environment**, 14, p. 1-14, 2014.

MONTGOMERY, D.R. Geomorphology and restoration ecology. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, 134, 16-19, jul, 2006.

MOREIRA, I. V. D. **Vocabulário básico de meio ambiente**. Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 1997.

MOREIRA, I. V. D.(Org.). Avaliação de impactos ambientais no Brasil: antecedentes, situação atual e perspectivas futuras. In: **IAP e GTZ**. Manual de avaliação de impactos ambientais. Curitiba, 1999. p. 9-331.

MORGAN, R.K. Conceptualising best practice in impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, 66, p.78-85, 2017.

MORRISON-SAUNDERS, A.; POPE, J.; BOND, A. *et al.* Towards sustainability assessment follow-up. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 45, p. 38-45, 2014.

MORRIS, P.; THERIVEL, R. **Methods of environmental impact assessment**. 2. ed. London, GBR: UCL Press, 2001.

MOURA-FÉ, M. M. de. Paisagem e a aplicabilidade geomorfológica do conceito. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, 2019.

MÜLLER-PLANTENBERG, C.; AB'SABER, A. (Orgs.). **Previsão de impactos: o Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, Rússia e Alemanha**. 2. ed. 2. reimp. São Paulo: Edusp, 2006.

MUNRO, D.A. *et al.* **Learning from Experience: A State of the Art Review and Evaluation of Environmental Impact Assessment Audits Canadian Environmental Assessment Research Council**, Hull, Quebec, 1986.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy**. National Academy Press. USA. 1992. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog/1807.html>. Acesso em: 14 mar. 2018.

NIR, D. **Man, a Geomorphological Agent**. An Introduction to Anthropic Geomorphology. Jerusalem: Kester Publishing House; Dordrecht, Boston, Lancaster: D. Reidel, 1983.

NUNES, J. O. R.; NETO, J. L. S.; TOMMASELLI, J. T. G., *et al.* A influência dos métodos científicos na geografia física. **Revista Terra Livre**, volume 2, número 27. Campinas, 2015.

O'CONNOR, J. E.; DUDA, J. J.; GRANT, G. E. 1000 dams down and counting. **Science**, 348 (6234), p. 496-497, 2015.

OLIVEIRA, C. M. de. **Diretrizes de Auditoria Ambiental**. São Carlos, EdUFSCar, 2014. 208p.

OLIVEIRA, A. da S.; RODRIGUES, D.L. de R. Auditoria Ambiental em obras públicas. **Revista do TCU**, v.32, n 89, jul./set. 2001. p. 23-49.

OLIVEIRA, A. L.; NEVES, F. F.; SOUZA, M. P. de. Considerações sobre o procedimento do licenciamento ambiental no contexto da avaliação de impacto ambiental. **Derecho y Cambio Social**. 2015. Disponível em: www.derechoycambiosocial.com. Acesso em: 13 abr. 2017.

PAIVA, I. C. P. S. B. R.; OLIVEIRA, A. K. M.; BONONI, V. L. R. Análise da abordagem socioeconômica no contexto do licenciamento ambiental de empreendimentos sucroenergéticos no estado de Mato Grosso do Sul. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 1, p. 97-110, 2015.

PANIZZA, M. **Environmental geomorphology**. Amsterdam: Elsevier, 1996.

PASCHOAL, L. G.; SIMON, A; L H.; CUNHA, C. M. L. da. Geomorfologia antropogênica e sua inserção em pesquisas brasileiras. **Geographia Meridionalis**, Pelotas, v. 1, n. 1, 2015, p. 95-126.

PERJUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. *In*: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, D. D. (Eds.). **Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies**. Reidel: Dordrecht, 1988. p. 289-300.

PHILIPPI JR., A.; AGUIAR, A. de O. Auditoria ambiental. *In*: PHILIPPI JR, Arlindo; ROMERO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet (Eds.). **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004. pp.933-992.

PIMENTEL, V. C. R. **Alternativas de solução para os impactos físicos de barragem**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PINHO, P.; MAIA, R.; MONTERROSO, A. The quality of Portuguese environmental impact studies: the case of small hydropower projects. **Environmental Impact Assessment Review**, 27, p, 189-205, 2007.

PRADO FILHO, J. F.; SOUZA, M. P. O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais: uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, p. 343-349, 2004.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. **Rev. Bras. de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, ano 1 n. 1, p. 59-67, 2000.

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica**: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação. 3. ed. São Paulo: Loyola, 2002.

REMO, J. W.; ICKES, B. S.; RYHERD, J. K.; GUIDA, R. J.; THERRELL, M. D. Assessing the impacts of dams and levees on the hydrologic record of the Middle and Lower Mississippi River, USA. **Geomorphology**, 313, p. 88-100, 2018.

RENSCHLER, C. S.; DOYLE, M. W.; THOMS, M. C. Geomorphology and ecosystems: Challenges and Keys for Success. **Geomorphology**, 89, p. 1-8, 2007.

RIBEIRO, S. C. **Etnogeomorfologia sertaneja**: proposta metodológica para a classificação das paisagens da sub-bacia do rio Salgado/CE. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

RIBEIRO, H. Estudo de impacto ambiental como instrumento de planejamento. *In*: PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de gestão ambiental**. 2. ed. atual. e ampl. Barueri: Manole, 2014. p. 853-882.

RODRIGUES, S. C. Análise da fragilidade do relevo – abordagem empírico-experimental. **Sociedade & Natureza**, v. 12, n. 23, p. 167-189, jan./jun. 2000.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, n. 1, p. 69-77, 2001.

ROHDE, G. M. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ROSS, J. S. Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. *In*: OLIVEIRA, A. U. (Org.). **Coleção repensando a Geografia**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIA's-RIMA's. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3 ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2000.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

RUBIO, M. F. **Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios, pesquisa e desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana** (Rio Paranapanema, SP/PR). 2014. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

RUTHERFURD, I.D; JERIE, K; MARSH, N. **A Rehabilitation Manual for Australian Streams**. Australia, 2000. v. 1

SADLER, B. **Environmental monitoring and audit**: guidelines for post-project analysis of development impacts and assessment methodology. Aberdeen: University of Aberdeen, 1989, p. 47.

SADLER, B. **Environmental assessment in a changing world**: evaluating practice to improve performance. S.L., International Association for Impact Assessment/Canadian Environmental Assessment Agency, 1996.

SALES, R. **Auditoria ambiental e seus aspectos jurídicos**. São Paulo: LTR, 2001.

SALES, M. M.; CARVALHO, J. C. de; MASCARENHA, M. M. A.; LUZ, M. P.; SOUSA, N. M. de; ANGELIM, R. (Orgs.). **Erosão em Borda de Reservatório**. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. v. 1

SALGUEIRO, T.B. Paisagem e Geografia. **Revista Finisterra**, ano XXXVI, v. 72, p. 37-53, 2001.

SÁNCHEZ, L. E. O processo de avaliação de impacto ambiental, seus papéis e funções. *In*: SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **A efetividade da avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo**: uma análise a partir de estudos de caso. São Paulo, SMA, 1995.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANDHAM, L.A.; CARROL, T.H.; RETIEF, F.P. The contribution of Environmental Impact Assessment (EIA) to decision making for biological pest control in South Africa: the case of Lantana camara. **Biological Control**, v. 55, n. 2, p. 141-149, 2010.

SANDHAM, L.A. *et al.* Does enhanced regulation improve EIA report quality? Lessons from South Africa. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 38, p. 155-162, 2013.

SANDOVAL, M.; CERRI, L. Proposta de padronização em avaliação de impactos ambientais. **Engenharia Ambiental** – Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p 100-113, maio/ago 2009.

SANTOS, A.R. **Geologia de engenharia** – conceitos, métodos e prática. São Paulo: ABGE, 2016.

SAUER, C. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA, R.L.; ROZENDAHL, Z. (Orgs.). **Paisagem, tempo e cultura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998.

SCHERER, M. E. G. Análise da qualidade técnica de estudos de impacto ambiental em ambientes de Mata Atlântica de Santa Catarina: Abordagem faunística. **Biotemas**, v. 24, n. 4, p. 171-181, 2011.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, p. 151-158, 1954.

SILVA, H. V. de O. **Auditoria de estudo de impacto ambiental**. Dissertação de Mestrado (COPPE/PPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

SILVA, M. L. Paisagem e geossistema: contexto histórico e abordagem teórico-metodológica. **Revista Geoambiente on-line**, v. 3, n. 5, p. 1-23, 2008.

SILVA, L. C. Manejo de rio degradados: uma revisão conceitual. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 23-32, 2010.

SILVA, A. C. da. **Reconstrução quaternária da dinâmica geomorfológica a partir das análises dos depósitos do baixo curso do rio Capibaribe/PE**, 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVEIRA, R. L. **Avaliação dos métodos de levantamento do meio biológico terrestre em estudos de impacto ambiental para a construção de usinas hidrelétricas na região do Cerrado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2006.

SOUZA, J.C.L. de *et al.* Análise dos processos erosivos em áreas suscetíveis a instabilidade de encostas na barragem de Serro Azul, Palmares – Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, 2017.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geomorfologia e geografia física: uma (re) leitura**. 2. ed. Rio Grande do Sul: Editora Unijur, 2018.

SUGUIO, K. BIGARELLA, J.J. **Ambiente fluvial**. Curitiba: Editora da Universidade do Paraná, 1979.

- TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental**. CETESB: Terragraph Artes e Informática, 1993.
- THOMS, M. C.; MEITZEN, K. M.; JULIAN, J. P.; BUTLER, D.R. Bio-geomorphology and resilience thinking: Common ground and challenges. **Geomorphology**, v.305, p. 1-7, 2018.
- TOMLINSON, P.; ATKINSON, S.F. **Auditorias ambientais: terminologia proposta**. De **Meio Ambiente Monitoramento e Avaliação** 8, p. 187-198, 1987a.
- TOMLINSON, P.; ATKINSON, S.F. **Auditorias ambientais: uma revisão de literatura**. De **Meio Ambiente Monitoramento e Avaliação** 8, 239, 1987b.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977.
- TRICART, J. El análisis de sistemas y el estudio integrado del medio natural. In: MENDONZA, J. G. *et al.* **El pensamiento geográfico**. Madrid-Espanha: Alianza Editorial, 1982; p. 470-476.
- TUCCI, C. E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2013.
- VERONEZ, F. A. **Efetividade da avaliação de impacto ambiental de projetos no estado do Espírito Santo**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
- VILES, H., **Biogeomorphology**. Basil Blackwell, Oxford, 1988.
- VILES, H. Biogeomorphology: Past, present and future. **Geomorphology**. In press, 2019.
- WATHERN, P. **Environmental Impact Assessment: Theory and Practice**. London: Routledge, 1988.
- WCD – WORLD COMMISSIONS ON DAMS. **Dams and development: a new framework for decision-making**. London: Earthscan Publications, 2000.
- WILCOCK, D.; BRIERLEY, D.; HOWITT, R. V. Ethnogeomorphology. In: **Progress in Physical Geography**, Sydney/Austrália: Macquarie University, 2013. p. 1-28.
- WOOLSTON, H. (Ed). **Environmental auditing: an introduction and practical guide**. London: British Library, 1993.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.