UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

MAURICIO FAVA RUBIO

Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios.
Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs
Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)

São Paulo
Outubro / 2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios.
Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs
Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)

Mauricio Fava Rubio

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Geografia Física.

Orientadora: Profa. Dra. Cleide Rodrigues

São Paulo
Outubro / 2014

*À Luciana, ao Martim e à Helena,
por acreditarem na possibilidade de uma vida melhor em outro lugar,
pela coragem no retorno
e por criarem, cada um a sua maneira,
os meios de vida aqui e as condições para minha permanência lá.*

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à Profa. Dra. Cleide Rodrigues, por todos esses anos de ensinamentos, de troca de experiências, de confiança de que, mesmo nos momentos mais difíceis, quando parecia que não as coisas não dariam certo, eu iria concluir nossos compromissos com a qualidade que sempre primamos em nossas atividades.

Gostaria de agradecer à Duke Energy International, Geração Paranapanema, nas pessoas do Cesar Teodoro e do Miguel Conrado Filho, que incentivaram esta pesquisa desde o início e permitiram a divulgação dos dados e informações presentes em diferentes relatórios e documentos produzidos pela empresa.

Agradeço muito aos colegas do Projeto de P&D, Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes, Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli, Eng. Cart. Marcus V. Antunes de Moraes, Eng. Agron. Guilherme Jardim Carvalho, Geóg. Leonice Bigone e aos bolsistas Lucas Santos Dias e Pedro A. Antonio da Sila. Além de um agradecimento especial aos amigos Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli, pela amizade e cumplicidade ao longo destes últimos quatro anos, e Prof. Dr. Antonio Manoel dos Santos Oliveira, por todo o aprendizado transmitido e pela troca de experiências em alguns pontos e momentos delicados desta pesquisa.

Agradeço, também, aos diversos colegas da Duke Energy que ajudaram neste período de execução da pesquisa. Primeiramente cabe agradecer ao amigo Eng. Agron. Leandro Feltran Barbieri, por toda a amizade e apoio ao longo dos últimos anos. Também agradeço aos amigos da área de Meio Ambiente, especialmente, ao Geóg. Antonio Manoel Cardoso Ribeiro, ao Eng. Florestal Rogério Canovas Ferreira e à Biól. Simone Leite dos Santos. Também agradeço aos colegas que viabilizaram atividades de campo do Projeto de P&D e, conseqüentemente, desta pesquisa, como o Técn. San. Mauro da Silva Jardim e os motoristas / barqueiros Otacílio, Flávio, Wanderley e José Luis. Também agradeço ao pessoal da área de P&D da Duke Energy, que ajudou a viabilizar o Projeto e esta pesquisa, em especial à Eng. Elet. Soraia T. Quicu e ao Eng. Elet. Vitor Hugo Lazzareschi.

Agradeço aos colegas Eng. Cart. Diego Matias, ao Técnico Gustavo Sousa, aos estudantes de Geografia (quase Geógrafos) Teodosio Gomes Junior e Amanda Pelizer, ao Geof. Afonso Vasconcelos, à Geóg. Tatiana Pilacheveski, à Geóg. Mariana Claro, ao Geól. Carlos Castro Alves e à Geól. Mariana Silvestre, por terem contribuído, cada qual de uma

maneira, com a coleta / organização de dados e informações utilizados ao longo desta pesquisa.

Agradeço, ainda, aos meus colegas de Graduação na Geografia de USP por tudo que vivemos juntos naquele período e também depois de nos formarmos. Se até hoje ser Geógrafo é o que eu sei fazer na minha vida muito se deve ao que vivemos juntos, sem que em nenhum momento eu pensasse em outra forma de vida que não a dentro da Geografia. Foram (e são) muitos amigos, mas vou citar alguns que tiveram mais importância pelo tempo de convivência e pela intensidade dos momentos vividos, na certeza de que isso não diminui o respeito e o agradecimento pelos demais: Antonio Marcos dos Santos (Marcão), Umberto Conti, Alex Franulovic da Costa, Gustavo Veronesi e Nedir Fernandes.

Agradeço aos meus pais (Artimir e Nair) pela dedicação em dar a mim e ao meu irmão as melhores condições de estudo possíveis em cada momento de nossas vidas e por ensinar a importância do trabalho para a transformação das nossas vidas. Também agradeço ao meu irmão (Eduardo) pelo exemplo que foi para mim em diversos momentos da minha formação e pelo companheirismo ao longo de nossas vidas, além da importantíssima revisão final realizada por ele.

Por fim, agradeço aos meus filhos Helena e Martim que, com os recursos que dispõem, entendem a minha ausência nos últimos tempos e apesar dela continuam querendo demonstrar seu amor por mim. E por fim, agradeço muito à Luciana, minha companheira de vida, por ter acreditado no sonho de uma vida em outro lugar e ter segurado as pontas em minhas ausências pelas constantes viagens e agora na minha distância mais duradoura.

Resumo

RUBIO, Mauricio Fava. ***Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)***. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH / USP, 2014.

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir de um Projeto de P&D do setor elétrico brasileiro. Há duas abordagens, uma relacionada ao desenvolvimento teórico-metodológico sobre o conhecimento acerca das erosões marginais e outra relativa à transformação deste desenvolvimento teórico-metodológico em discussões sobre a melhoria da gestão desta problemática pelo setor elétrico e pela sociedade brasileira.

Quanto ao desenvolvimento teórico-metodológico acerca das erosões marginais, realizou-se uma série de procedimentos cujos resultados principais foram (i) a discussão de um novo modelo conceitual sobre a velocidade de desenvolvimento das erosões ao longo da vida dos reservatórios, (ii) a revisão bibliográfica acerca das condicionantes envolvidas na gênese e no desenvolvimento dos processos erosivos e (iii) a geração de um conjunto de dados e informações sobre as erosões monitorados que possibilitaram novas discussões sobre as condicionantes citadas no item anterior. As análises sobre a gênese das erosões foi conduzida a partir da comparação entre as margens dos reservatórios com instabilidade morfodinâmica e aquelas que apresentam estabilidade morfodinâmica; enquanto a análise sobre o desenvolvimento das erosões foi realizada a partir da comparação de dados e informações acerca de processos erosivos já instaurados, monitorados ao longo de determinado período de tempo.

Por fim, a relação entre este desenvolvimento teórico-metodológico e a gestão desta problemática pelo setor elétrico brasileiro foi abordada por meio da (i) proposição de um método de classificação da tipologia das erosões marginais; (ii) proposição de um sistema de classificação dos níveis de criticidade das erosões; e (iii) das análises e discussões sobre questões relacionadas às erosões marginais, visando propor medidas e ações para mitigação deste impacto desde a implantação até a operação dos empreendimentos hidrelétricos.

Palavras chave: processos erosivos marginais, reservatórios, pesquisa & desenvolvimento, condicionantes ambientais, sistemas de classificação.

Abstract

RUBIO, Mauricio Fava. ***Genesis and dynamics of reservoirs bank erosions. Research & Development in the case study in Hydroelectric Power Stations Chavantes and Rosana (Paranapanema river, SP / PR).*** Doctoral Thesis. São Paulo: FFLCH / USP, 2014.

This research was developed along with a P&D project of the Brazilian electric sector. It approaches two perspectives. This research approach two perspectives, one related to the theoretical and methodological development of the knowledge of bank erosions and another one on development in discussion about improving the management of this problem by the electric sector and Brazilian society.

In relation to the theoretical and methodological development of marginal erosions, I conducted a series of procedures whose main results were (i) a discussion of a new conceptual model on the speed of development of erosions over the life of the reservoirs, (ii) literature review about the constraints involved in the genesis and development of erosion processes and (iii) the generation of a set of data and information about the monitored erosions which enabled further discussion on the constraints mentioned in the previous item. The analysis of the genesis of the erosions was conducted based on the comparison between the margins of reservoirs with morphodynamic instability and those which have morphodynamic stability; while for the analysis of the development of erosions was done by comparing data and information about erosion processes already in place, tracked by a certain period of time.

Finally, the relationship between this theoretical and methodological development and the management of this problem by the Brazilian electric sector is given by (i) proposing a method of classification of the type of marginal erosions; (ii) proposing a classification system for levels of criticality of erosions; and (iii) analyzing and discussing issues related to marginal erosions, aiming to propose measures and actions to mitigate this impact since implementation to operation of hydroelectric projects.

Palavras chave: bank erosion, reservoirs, research & development, environmental states, classification systems.

Sumário

Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios. **Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs** **Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)**

1. Introdução	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Justificativa	3
1.3. Hipótese de pesquisa	6
1.4. Objetivos	7
2. Objeto e Área de Estudo	9
2.1. Objeto de estudo	9
2.2. Área de Estudo	14
3. Metodologia	20
3.1. Referencial Teórico-Metodológico	20
3.2. Princípios e Procedimentos Metodológicos	23
3.2.1. Definição do objeto da pesquisa e delimitação dos objetivos e das hipóteses de trabalho	25
3.2.2. Seleção da área de estudo	27
3.2.3. Desenvolvimento dos objetivos da pesquisa – Projetos de P&D do setor elétrico	29
3.2.4. Desenvolvimento dos objetivos da pesquisa – Condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões marginais	30
3.2.5. Desenvolvimento dos objetivos da pesquisa – Sistemas de classificação da tipologia e dos níveis de criticidade	39
4. Pesquisa & Desenvolvimento no Setor Elétrico Brasileiro	43
4.1. Contextualização do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica (Aneel)	43
4.1.1. Considerações sobre Projetos de P&D em geral	43
4.1.2. Histórico dos Projetos de P&D do setor elétrico brasileiro	46
4.1.3. Características específicas do setor elétrico	48
4.1.4. Situação atual dos Projetos de P&D do setor elétrico	49

4.2. Os temas do meio físico e os projetos de P&D	55
4.3. Projeto de P&D (Aneel) no. PD-0387-0311/2010: Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos...	59
4.3.1. Histórico de formulação do Projeto	59
4.3.2. Metodologia	61
4.3.3. Considerações sobre a inserção da presente pesquisa no Projeto de P&D	66
5. Empreendimentos hidrelétricos, processos geomorfológicos marginais em reservatórios e seus fatores influência	69
5.1. Empreendimentos hidrelétricos e impactos no meio físico	69
5.2. Processos erosivos em margens de reservatório	72
5.3. Fatores condicionantes das erosões marginais	79
5.3.1. Operação do reservatório	82
5.3.2. Condições geomorfológicas das margens	85
5.3.3. Condições pedológicas das margens	88
5.3.4. Condições geológicas das margens	91
5.3.5. Clima e ação de ventos e ondas	96
5.3.6. Condições de uso e ocupação das margens	100
6. Análise das condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões marginais - Estudo de caso das UHE Chavantes e Rosana	105
6.1. Caracterização das áreas em análise	105
6.1.1. Caracterização dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana e de processos erosivos existentes nestes reservatórios	105
6.1.1.a. Caracterização da UHE Chavantes	107
6.1.1.b. Caracterização da UHE Rosana	114
6.1.2. Pontos de monitoramento	118
6.1.2.a. Caracterização dos pontos de monitoramento	118
6.1.2.b. Análise quantitativa da evolução das erosões marginais monitoradas	147
6.2. Análise dos fatores condicionantes da gênese e do desenvolvimento dos processos	155
6.2.1. Operação do reservatório	155
6.2.2. Condições geomorfológicas das margens	158
6.2.3. Condições geológicas das margens	162
6.2.4. Condições pedológicas das margens	168

6.2.5. Condições climáticas e ondas em reservatórios	176
6.2.6. Influência do uso e da ocupação das margens	183
7. Propostas de sistemas de classificação da tipologia e dos níveis de criticidade	190
7.1. Proposta de tipificação dos processos erosivos marginais	192
7.1.1. Sistemas existentes para classificação dos processos erosivos	192
7.1.2. Feições e processos erosivos estudados em reservatórios	197
7.1.3. Proposta de sistemas para classificação dos processos erosivos em margens de reservatórios	202
7.2. Proposta de um sistema de classificação dos processos por nível de criticidade	210
7.2.1. Considerações Gerais	210
7.2.2. Fatores de composição do sistema e distribuição de pesos	212
7.2.3. Perspectivas sobre a aplicação do sistema de classificação dos níveis de criticidade	224
8.0. Considerações finais	227
8.1. O referencial teórico-metodológico para estudo de processos erosivos em margens de reservatórios	227
8.2. Os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa	231
8.3. As relações entre a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos e o as condições ambientais da região de implantação dos empreendimentos	
8.4. As propostas dos sistemas de classificação da tipologia das erosões e dos níveis de criticidade	
8.5. A gestão dos processos erosivos em margens de reservatórios	
9.0. Bibliografia	

Lista de Quadros e Tabelas

Quadro 2.1-1	Usinas hidrelétricas no rio Paranapanema e ano de conclusão das obras de instalação	12
Quadro 3.2.4-1	Indicadores e parâmetros de análise da gênese e do desenvolvimento dos processos erosivos para condicionante ambiental	32
Quadro 3.2.4-2	Produtos cartográficos utilizados na análise da evolução de cada processo monitorado, com a indicação do período de elaboração	37
Quadro 4.1.4-1	Maiores investidores em Projetos de P&D do setor elétrico brasileiro	53
Quadro 4.1.4-2	Instituições de Ciência e Tecnologia que atuaram em projetos com maior volume de gasto total	54
Quadro 5.1-1	Impactos de usinas hidrelétricas relacionados aos processos erosivos	71
Quadro 5.3-1	Agentes de influência nos movimentos de massa, identificados em estudos sobre erosões em margens de reservatórios.	81
Quadro 5.3.6-1	Relação entre as taxas de evolução dos processos erosivos no reservatório da UHE Itaipu e o tipo de cobertura vegetal do entorno	103
Tabela 6.1.2.b-1	Levantamentos utilizados e taxas de evolução das erosões medidas nos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Chavantes adotados nesta pesquisa.	151
Tabela 6.1.2.b-2	Levantamentos utilizados e taxas de evolução das erosões medidas nos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Rosana adotados nesta pesquisa	153
Quadro 6.2.1-1	Parâmetros referentes à operação de reservatórios e relações com os percentuais de margem com presença de feições erosivas	156
Tabela 6.2.3-1	Percentual de distribuição das unidades litológicas presentes nas margens dos reservatórios e nas erosões marginais das UHEs Chavantes e Rosana	163
Tabela 6.2.3-2	Dados de caracterização das condições geológicas dos pontos de monitoramento nas UHEs Chavantes e Rosana	164
Tabela 6.2.4-1	Percentual de distribuição das unidades pedológicas presentes nas margens dos reservatórios e nas erosões marginais das UHEs Chavantes e Rosana	169

Quadro 6.2.4-1	Parâmetros para análise dos solos nos pontos de monitoramento	171
Quadro 6.2.5-1	Direções (graus) e intensidades (m/s) dos ventos reinantes no reservatório da UHE Chavantes	176
Quadro 6.2.5-2	Direções (graus) e intensidades (m/s) dos ventos reinantes no reservatório da UHE Rosana	177
Tabela 6.2.6-1	Percentual de distribuição dos tipos de uso e ocupação do solo presentes nas margens dos reservatórios e nas erosões marginais das UHEs Chavantes e Rosana	184
Quadro 6.2.6-1	Condições de uso e ocupação do solo nos pontos de monitoramento	186
Quadro 7.1.1-1	Sistemas de classificação de processos erosivos adotados por diferentes autores	193
Quadro 7.1.1-2	Classificação da velocidade dos processos, segundo D. J. Varnes	196
Quadro 7.1.1-3	Classificação da profundidade dos processos, segundo GeoRio	196
Quadro 7.1.3-1	Classificação dos principais processos geradores/condicionantes de erosões em margens de reservatórios quanto à sua ocorrência nos sistemas hidrodinâmicos e aos tipos de contatos existentes	203
Quadro 7.1.3-2	Proposta de classificação das erosões marginais por tipologia	205
Quadro 7.1.3-3	Observações acerca das classes que compõem a tipologia proposta para erosões em reservatórios	207
Quadro 7.2.2-1	Quadro de apresentação dos fatores de interferência considerados na análise de criticidade dos processos	213
Quadro 7.2.2-2	Quadro de apresentação dos subgrupos de fatores de interferência considerados na análise de criticidade dos processos	214
Quadro 7.2.2-3	Matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade	216
Quadro 7.2.2-4	Quadro de apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos	219

Lista de Gráficos e Figuras

Figura 2.1-1	Localização das usinas hidrelétricas sob concessão da Duke Energy, no rio Paranapanema.	12
Figura 2.2-1	Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Paranapanema	16
Figura 2.2-2	Limites do Comitê de Bacia Hidrográfica do Paranapanema e suas sub-divisões	17
Figura 3.2-1	Fluxograma dos procedimentos metodológicos	24
Figura 3.2.4-1	Nuvem de pontos gerada pelo equipamento Dynascan M150	36
Figura 3.2.4-2	Modelo do terreno gerado a partir de nuvem de pontos gerada pelo equipamento Dynascan M150	36
Figura 3.2.4-3	Foto de equipamento Dynascan M150 em uso durante atividade do projeto	36
Figura 4.3-1	Linhas de ação do Projeto de P&D no. PD-0387-0311/2010	61
Figura 5.2-2	Modelo teórico-conceitual sobre a gênese e evolução dos processos geomorfológicos em margens de reservatórios	73
Figura 5.2-3	Modelo teórico-conceitual de evolução dos processos erosivos em margens de reservatórios de AZEVEDO & DUARTE (2013)	76
Figura 5.2-3	Foto de processo geomorfológico nas margens do reservatório da UHE Jurumirim	77
Figura 5.2-4	Modelo teórico-conceitual de evolução dos processos erosivos em margens de reservatórios adotado nesta pesquisa	78
Gráfico 5.3.1-1	Média mensal da % utilizada do volume útil dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana no período de julho/12 a dezembro/13	83
Gráfico 5.3.1-2	Média mensal da % utilizada do volume útil do reservatório da UHE Chavantes no período de janeiro/2005 a dezembro/2013	84
Figura 5.3.4-1	Modelo esquemático de evolução do processo de elevação induzida do lençol freático nas margens de reservatórios	94
Figura 5.3.5-1	Esquema sobre parâmetros constituintes das ondas	100
Figura 6.1.1.a-1	Mapa de compartimentação do reservatório da UHE Chavantes	108
Gráfico 6.1.1.a-1	Número de processos por compartimento do reservatório	109

Gráfico 6.1.1.a-2	Densidade de processos erosivos por compartimento (metro de margem com processo / quilômetro de margem do Compartimento)	112
Figura 6.1.1.b-1	Mapa de compartimentação do reservatório da UHE Chavantes	115
Gráfico 6.1.1.b-1	Número de processos por compartimento do reservatório	116
Gráfico 6.1.1.b-2	Densidade de processos erosivos por compartimento (metro de margem com processo / quilômetro de margem do Compartimento)	117
Figura 6.1.2.a-1	Vista geral do processo a partir da sua porção leste	122
Figura 6.1.2.a-2	Detalhe de seixos na porção leste do processo	122
Figura 6.1.2.a-3	Detalhe da estratigrafia da rocha na base do processo	122
Figura 6.1.2.a-4	Vista do processo a partir da sua extremidade esquerda	124
Figura 6.1.2.a-5	Vista do processo a partir da sua extremidade direita	124
Figura 6.1.2.a-6	Detalhe de área com registro de queda de bloco recente	124
Figura 6.1.2.a-7	Vista geral da área de monitoramento em sua porção leste e vista geral da área em sua porção oeste, com registro de banco de cascalho	126
Figura 6.1.2.a-8	Vista geral da área de monitoramento em sua porção leste e vista geral da área em sua porção oeste, com registro de banco de cascalheiras	126
Figura 6.1.2.a-9	Detalhe de área com ocorrência de locas de erosão, possivelmente causado pela associação entre ação das ondas escoamento subsuperficial e diferenças das resistências das rochas	126
Figura 6.1.2.a-10	Vista geral da área de monitoramento	128
Figura 6.1.2.a-11	Detalhe das dimensões dos processos e da presença de cascalheira no sopé do processo, vista da esquerda	128
Figura 6.1.2.a-12	Detalhe das dimensões dos processos e da presença de cascalheira no sopé do processo, vista da direita	128
Figura 6.1.2.a-13	Detalhe que mostra material rochoso (em formato de cascalhos) nos horizontes mais superficiais do perfil pedológico	128
Figura 6.1.2.a-14	Vista geral da área de monitoramento	130
Figura 6.1.2.a-15	Detalhe de área com processo de formação de loca de erosão	130

Figura 6.1.2.a-16	Detalhe da vegetação (árvore de grande porte) afetada pelo processo	130
Figura 6.1.2.a-17	Vista geral da área com argilito maciço apresentando os sulcos formados em processo semelhante aos bad lands	130
Figura 6.1.2.a-18	Vista geral da área de monitoramento e do seu entorno imediato	132
Figura 6.1.2.a-19	Vista do detalhe do escorregamento ativo	132
Figura 6.1.2.a-20	Detalhe do degrau de abatimento do processo de escorregamento	132
Figura 6.1.2.a-21	Detalhe de área secundária com movimento de massa	132
Figura 6.1.2.a-22	Vista geral da região de ocorrência do processo	134
Figura 6.1.2.a-23	Vista do processo, que se caracteriza pela pequena altura e grande extensão	134
Figura 6.1.2.a-24	Detalhe de fissura no solo, onde se nota visualmente a característica arenosa do solo	134
Figura 6.1.2.a-25	Vista geral da porção leste do processo	136
Figura 6.1.2.a-26	Vista geral da porção leste do processo	136
Figura 6.1.2.a-27	Detalhe da porção oeste do processo	136
Figura 6.1.2.a-28	Detalhe da vegetação (árvore de grande porte) afetada pelo processo, em sua porção oeste	136
Figura 6.1.2.a-29	Vista geral do processo, com visada no sentido leste – oeste	138
Figura 6.1.2.a-30	Detalhe do talude do processo, com presença de sedimentos escuros na praia da margem do reservatório	138
Figura 6.1.2.a-31	Arenito da Formação Caiuá, de coloração roxeada na base do talude	138
Figura 6.1.2.a-32	Vista geral da área de monitoramento	140
Figura 6.1.2.a-33	Detalhe de porção da área de monitoramento	140
Figura 6.1.2.a-34	Detalhe de área com queda de blocos Detalhe de área em que o processo ultrapassou limite da propriedade da Duke Energy, conforme mostra marco de desapropriação	140
Figura 6.1.2.a-35	Detalhe de área em que o processo ultrapassou limite da propriedade da Duke Energy, conforme mostra marco de desapropriação	140
Figura 6.1.2.a-36	Vista de uma porção do processo, com ocupação típica das margens deste trecho do reservatório	142

Figura 6.1.2.a-37	Detalhe de quedas de blocos de solos, por perda da base	142
Figura 6.1.2.a-38	Vista geral da área de monitoramento	142
Figura 6.1.2.a-39	Vista geral da área de monitoramento	144
Figura 2.2.3-40	Vista geral aproximada da área de monitoramento	144
Figura 2.2.3-41	Detalhe de porção lateral da área de monitoramento	144
Figura 2.2.3-42	Vista geral da área de monitoramento	146
Figura 2.2.3-43	Vista de parcela da área de monitoramento com registro de ocorrência de escorregamento translacional com espalhamento lateral repentino	146
Figura 6.1.2.a-44	Vista de parcela da área com representação do contato solo – rocha	146
Figura 6.1.2.a-45	Detalhe de orientação do afloramento de arenito do Grupo Bauru – Formação Caiuá	146
Gráfico 6.2.2-1	Distribuição das erosões marginais conforme o tipo de relevo (1 – UHE Chavantes)	161
Gráfico 6.2.2-2	Distribuição das erosões marginais conforme o tipo de relevo (UHE Rosana)	161
Figura 6.2.5-1	Pistas de ventos modeladas para o reservatório da UHE Chavantes, no sentido S-N	179
Figura 6.2.5-2	Pistas de ventos modeladas para o reservatório da UHE Rosana, nas direções E-O e O-E	180
Figura 6.2.5-3	Alturas máximas de ondas no reservatório da UHE Chavantes, a partir de ventos de SSE, com velocidades máximas de 19,5 m/s	181
Figura 6.2.5-4	Alturas máximas de ondas no reservatório da UHE Rosana, a partir de duas condições de ventos distintas	182
Gráfico 7.1.2-1	Distribuição dos tipos de processos registrados na região do reservatório da UHE Três Gargantas	199

Lista de Mapas

Mapa Geológico do Reservatório da UHE Chavantes	166
Mapa Geológico do Reservatório da UHE Rosana	167
Mapa Pedológico do Reservatório da UHE Chavantes	174
Mapa Pedológico do Reservatório da UHE Rosana	174
Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Entorno do Reservatório da UHE Chavantes	188
Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Entorno do Reservatório da UHE Rosana	189

Lista de Siglas e Abreviaturas

ADA	-	Área Diretamente Afetada
ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	-	Área de Preservação Permanente
AT	-	Área Teste
CBH	-	Comitê de Bacia Hidrográfica
Cemig	-	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	-	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CESP	-	Companhia Energética do Estado de São Paulo
CESP	-	Companhia Energética de São Paulo
CNI	-	Confederação Nacional da Indústria
Coppetec	-	Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos
CT&I	-	ciência, tecnologia e inovação
Eletrobrás	-	Centrais Elétricas Brasileiras
Finep	-	Financiadora de Estudos e Projetos
Fundep	-	Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa
GeoRio	-	Fundação Instituto de Geotécnica (do Município do Rio de Janeiro)
IBAMA	-	Inst. Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPEA	-	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
IPT	-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
NASA	-	Agência Espacial Norte Americana
ONU	-	Organização das Nações Unidas
P&D	-	Pesquisa e Desenvolvimento
PDI	-	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
P.E.	-	Parque Estadual
PGA	-	Plano de Gestão Ambiental
PR	-	Estado do Paraná
RSTM	-	
SIG	-	Sistema de Informações Geográficas
SP	-	Estado de São Paulo

- SPE - Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (órgão da Aneel)
- UEM - Universidade Estadual de Maringá
- UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- UHE - Usina Hidrelétrica
- Unesp - Universidade Estadual Paulista
- Unesp-PP - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp (Campus de Presidente Prudente)
- Unicamp - Universidade Estadual de Campinas
- USACE - U.S. Army Corps of Engineers
- USP - Universidade de São Paulo
- WIPO - Organização Mundial de Propriedade Intelectual

Capítulo 1

Introdução

1.1. Apresentação

A avaliação de impactos ambientais no meio físico causados por grandes obras de infraestrutura tem sido preocupação constante ao longo da formação acadêmica e da experiência profissional do autor desta pesquisa, desde o ano 2000. Ora voltando-se para o estudo de obras viárias, ora direcionando-se ao estudo de grandes obras hidrelétricas, essa perspectiva de análise vem se desenvolvendo em diversos contextos do meio físico no Estado de São Paulo, em diversas escalas de abordagem, e também por meio de diferentes procedimentos metodológicos.

Numa primeira pesquisa (RUBIO, 2003) o foco foi o de comparação entre diferentes obras de infraestrutura viária (estradas) e sua relação com os compartimentos geomorfológicos da Escarpa da Serra do Mar. Já em RUBIO (2008) o enfoque foi a identificação de geoindicadores passíveis de utilização em estudos sobre impactos no meio físico causados por grandes obras hidrelétricas, tendo como preocupação explorar os conhecimentos geomorfológicos na proposição dessa lista.

Na atual pesquisa adota-se um novo enfoque, por conta da sua orientação à análise e ao tratamento de um aspecto específico dos impactos de grandes obras hidrelétricas sobre temas do meio físico, os processos erosivos em margens de reservatórios. Tal mudança de abordagem resulta de diferentes possibilidades surgidas a partir da realização de um projeto de P&D (pesquisa & desenvolvimento), conforme será mais detalhado no Capítulo 4 – Pesquisa & Desenvolvimento no Setor Elétrico Brasileiro e as Relações com esta Pesquisa.

O Brasil é o terceiro maior país do mundo em capacidade de geração de energia hidrelétrica. A capacidade de geração de energia hidrelétrica brasileira é de 258.826 MW, considerando-se o potencial inventariado e o estimado. O país possui aproveitamentos que utilizam 25,6% deste total (ELETROBRAS, 2003, apud ANEEL, 2003). Considerando-se que 15% de toda a energia consumida no país seja de fonte hidráulica e que o país domina a tecnologia para geração deste tipo de energia, possuindo larga experiência na construção de empreendimento hidrelétricos, estima-se que haverá ainda ao longo dos próximos anos a implantação de muitos aproveitamentos hidrelétricos de diferentes portes e tipos e nas mais diversas regiões do país. Hoje o país possui 62 empreendimentos hidrelétricos em construção (com capacidade instalada de aproximadamente 19 GW), além de outros 202 projetos já outorgados, mas que não tiveram sua construção iniciada

(cuja capacidade instalada é de cerca de 5 GW)¹ (ANEEL, 2012). Portanto, a pesquisa proposta apresenta relevância científica no contexto da sociedade brasileira.

Esse tema também vem sendo considerado como um tema ambiental de grande importância no que se refere à gestão de empreendimentos hidrelétricos. Como poderá ser observado ao longo desta pesquisa, essa questão é interessante pela sua complexidade e também pela sua abrangência, pois trata-se de uma questão que atinge potencialmente a praticamente todos os empreendimentos hidrelétricos, em maior ou menor escala. Além disso, trata-se de uma questão de grande relevância social, posto que envolve os agentes de geração, os órgãos públicos – sobretudo os ambientais –, e a sociedade civil.

Apesar de tamanha importância e complexidade ainda verifica-se uma baixa produção acadêmica sobre esse assunto. Dessa situação decorre a falta de modelos teórico-conceituais mais complexos para o entendimento da questão, por vezes resultando em simplificações sobre este problema. Ao longo dos últimos anos – durante a realização desta pesquisa, no âmbito das atividades de gestão da concessionária dos empreendimentos em análise –, foram gerados importantes dados e informações sobre estes processos, muitos dos quais ainda sem correlatos elaborados e/ou disponíveis para as demais pesquisas realizadas até então sobre este tema. Tais dados e informações certamente contribuem para o desenvolvimento dos modelos teóricos de explicação dos processos, da classificação de sua tipologia e da gestão dos processos erosivos pelas concessionárias, bem como para o desenvolvimento da aplicação de recursos semelhantes em outros estudos no âmbito da Geomorfologia.

Além disso, as novas tecnologias disponíveis, sobretudo nos últimos 20 anos, possibilitam uma maior riqueza de informações disponíveis, as quais devem ser agregadas aos modelos teórico-conceituais existentes. Neste aspecto é importante citar a possibilidade de uso de imagens de alta resolução espacial e em especial o monitoramento por meio de um sistema Scanner Laser 3D que estiveram disponíveis para esta pesquisa. Tais recursos aumentam a precisão das informações disponíveis possibilitando agregar informações sobre as análises realizadas e os sistemas de classificação propostos.

Esta pesquisa pode também ser considerada como de desenvolvimento de uma linha de investigação, ou de uma perspectiva de análise, ligada à antropogeomorfologia, ainda que com um foco mais restrito, posto que abrange um único tipo de processo do meio físico. Em todas as

¹ Convém citar que entre os empreendimentos em construção encontram-se uma Central de Geração Hidrelétrica, 49 Pequenas Centrais Hidrelétricas e 12 Usinas Hidrelétricas. Já em relação aos projetos outorgados, mas que não tiveram sua construção iniciada, indica-se a presença de 57 Centrais de Geração Hidrelétrica, 130 Pequenas Centrais Hidrelétricas e 15 Usinas Hidroelétricas.

pesquisas já desenvolvidas anteriormente, a observação e a investigação das ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre sempre foi um dos principais objetivos. Nesta perspectiva foram adotados princípios essenciais à condução dos estudos, tais como a investigação de padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica, dentre os quais, os represamentos para geração de energia hidrelétrica.

1.2. Justificativa

Conforme mencionado anteriormente, a hidroeletricidade ocupa papel de destaque na matriz energética brasileira. O uso da fonte hídrica exigiu a formação de um número muito grande de reservatórios e continua a exigir a formação de novos. Como consequência, formam-se milhares de quilômetros de perímetro de margens, onde a ação da água, dentre outros fatores, atuam na formação e no desenvolvimento de processos erosivos marginais nos reservatório, potencialmente severos e com consequências remontantes.

RUBIO (2008) identificou que, levando-se em consideração apenas os 26 maiores reservatórios de usinas hidrelétricas do estado de São Paulo, teríamos uma área alagada correspondente a 15.717 km², aproximadamente o dobro da área da Região Metropolitana de São Paulo. Desta forma, é possível considerar a relevância da extensão das vertentes e bacias hidrográficas nas quais os processos erosivos marginais atuam, sejam eles típicos movimentos de massa ou processos combinados.

Corroborando esta informação, também vale citar dados apresentados por ELCI & WORK (2003), em estudo sobre o Lago Hartwell, reservatório do U.S. Army Corps of Engineers (USACE), cujo perímetro é de 1.548 km, os quais indicam que em setembro de 2002, havia 1.123 permissões para instalação de enrocamento nas margens e 393 permissões para instalação de muros de contenção. Segundo os autores, esta quantidade de permissões para implantação de estruturas de contenção seria uma indicação da magnitude deste problema. ALLEN & WADE (1991), também em estudo sobre reservatórios do USACE, verificaram que, de 276 reservatórios avaliados, 42% (ou 117 reservatórios) apresentaram problemas severos quanto às erosões marginais. Pode-se verificar, então, que se trata de um problema de grande magnitude para todas as sociedades que possuem a energia hidrelétrica em sua matriz energética, e não somente para a sociedade brasileira.

Portanto, do ponto de vista do desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, entende-se que esta pesquisa justifica-se pela necessidade de se desenvolver o conhecimento relativo a um

impacto ambiental de grande magnitude nos empreendimentos hidrelétricos brasileiros, impacto este ainda pouco estudado e cujos resultados poderão ser adotados na gestão de empreendimentos localizados nas diversas bacias hidrográficas brasileiras, operados por diferentes agentes de geração.

Em relação à diversidade dos empreendimentos hidrelétricos, selecionaram-se dois empreendimentos hidrelétricos distintos quanto aos seus sistemas de operação e às suas regiões de inserção (como pode ser melhor observado no Capítulo 2 – Objeto e Área de Estudo). Tal opção possibilita a produção de conhecimento sobre empreendimentos em condições distintas, cujas informações geradas poderão ser utilizadas em um grande espectro de empreendimentos hidrelétricos do sistema brasileiro.

Na atualidade, verifica-se também um aumento da atenção a este tipo de impacto, em virtude do crescimento dos casos decorrentes de processos erosivos nas margens de reservatórios sobre os quais se exige a atuação das concessionárias de geração. Esta necessidade de atuação se dá por meio de ações judiciais, movidas, por exemplo, pelos Ministérios Públicos Estaduais e Federal; por meio de notificações de proprietários confrontantes e, ainda, por meio dos processos de licenciamento ambiental destes empreendimentos. Dentre estes casos, os mais emblemáticos são os que envolvem a CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo – e o reservatório da Usina Hidrelétrica – UHE Porto Primavera, nos quais a empresa já foi obrigada a pagar dezenas de milhões de reais em multas, decorrentes de processos geomorfológicos instalados na margem do reservatório do citado empreendimento.

Como consequência deste aumento de demanda de atuação exigida pelos órgãos de controle, ocorre também o aumento de custos operacionais destas empresas no tratamento desta questão. Uma vez que na composição dos preços das tarifas de energia são contabilizados os custos operacionais das empresas, estes novos custos referentes ao controle dos processos marginais e a recuperação das áreas degradadas, poderão interferir nos custos finais das tarifas de energia, ainda que em pequena magnitude.

A importância desta pesquisa também está diretamente relacionada à importância do Projeto de P&D desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL –, sob o n.º PD- 0387-0311/2010, intitulado “Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos: Métodos de avaliação dos processos, uso de geotecnologias para seu monitoramento e experimentação de técnicas de controle”. Esta pesquisa de Doutorado, além de estar submetida ao crivo acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da

Universidade de São Paulo, também faz parte dos resultados deste projeto de P&D, conforme pode ser observado no item 4.3 desta tese. Seus resultados serão incorporados nos procedimentos e projetos desenvolvidos pela empresa que atuem sobre os processos geomorfológicos nas margens dos reservatórios.

Do ponto de vista científico, entendemos que a importância desta pesquisa consiste em trazer à luz uma questão pouco discutida na Geomorfologia brasileira. Neste movimento, esta pesquisa também contribuirá para uma discussão sobre cada um dos elementos adotados na análise de como estes processos se formam e se desenvolvem.

Ainda no que tange ao conhecimento científico, convém lembrar que este estudo é o desenvolvimento de uma linha teórico-metodológica com a qual começamos a trabalhar no ano 2000. Desde então, temos utilizado a abordagem da antropogeomorfologia para o estudo dos impactos ambientais de obras de infraestrutura. As experiências anteriores permitiram o desenvolvimento de uma metodologia de abordagem para empreendimentos com funcionalidades e formas distintas (rodovias e hidrelétricas), apontando a pertinência da metodologia para diferentes objetos e níveis de detalhe distintos. Agora, esta pesquisa aponta que esta metodologia também pode ser adotada para o detalhamento de um único tipo de intervenção. Ou seja, trata-se de uma nova escala de abordagem. Se antes trabalhamos objetos diferentes em uma mesma escala de análise, utilizando o estudo anterior (sobre impactos no meio físico decorrentes de obras hidrelétricas) associado a este atual, pode-se verificar que a metodologia serve, também, para a análise de um mesmo objeto (hidrelétricas) em suas diversas escalas de análise (desde a análise do conjunto dos impactos a partir de um nível de dados e informações menos detalhado, até a análise de um único tipo de impacto a partir de um conjunto de dados e informações mais rico em detalhes).

Acredita-se que esta pesquisa possibilitará a evolução da aplicação da proposta dos geoindicadores, associada a uma série de dados e informações sobre taxas, balanços e geografia dos processos, a qual servirá como elemento definidor na implantação de programas ambientais, no âmbito do licenciamento e da gestão ambiental empresarial, visando o controle e monitoramento dos processos erosivos e movimentos de massa em tela. Assim, haverá a possibilidade de desenvolvimento de uma metodologia para uso dos geoindicadores como um parâmetro para tais programas, que esteja em consonância com as novas orientações do licenciamento ambiental (mensuração dos impactos existentes, das ações realizadas e da eficiência destas ações), principalmente no âmbito do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

1.3. Hipótese de pesquisa

Primeiramente, é importante considerar que há poucas pesquisas desenvolvidas para o entendimento destes processos erosivos que são inerentes à formação dos reservatórios e, consequentemente, também à própria geração hidrelétrica. Em virtude do pequeno volume de pesquisas sobre o tema – em que pese a grande contribuição destas para o conhecimento sobre a questão –, ainda se verifica a necessidade de desenvolvimento de modelos mais complexos para entendimento da formação e o desenvolvimento destes processos. Os poucos estudos sobre esta questão revelam, ainda, a pouca atenção dada a esta problemática, apesar da sua importância para a gestão ambiental de empreendimentos hidrelétricos. Portanto, nossas hipóteses se constroem na necessidade de desenvolvimento dos modelos teórico-metodológicos adotados para o entendimento da questão e no desenvolvimento de novos procedimentos de pesquisa que contribuam para a melhoria de tais modelos.

Adiante, apresentam-se as hipóteses de trabalho desta pesquisa, as quais estão relacionadas aos desenvolvimentos listados acima e cujos principais desafios são:

- i) Desenvolver e melhorar os modelos teórico-conceituais para entendimento do comportamento dos processos erosivos que ocorrem nas margens dos reservatórios e da classificação da tipologia dos processos, a partir de referencial teórico-metodológico e de procedimentos metodológicos propostos para esta pesquisa que se caracterizem como inovadores.
- ii) Demonstrar que há um ciclo de evolução diferente daquele defendido por muitos pesquisadores e profissionais da área de energia – tais como os apresentados em AZEVEDO & DUARTE (2013) –, no qual a evolução dos processos é maior logo após o enchimento do reservatório e vai diminuindo com o passar do tempo. Nosso entendimento é de que se trata de um modelo mais complexo em que ocorre pouco ou nenhum desenvolvimento dos processos no momento imediatamente após o enchimento do reservatório até que haja a ruptura das condições de estabilidade dos terrenos. A partir daí, então, as condições (geológicas e geomorfológicas) do terreno é que definirão o ritmo de evolução dos processos.
- iii) Demonstrar diferentes combinações de tipos de processos erosivos que ocorrem nas margens dos reservatórios. Os tipos de processos erosivos marginais são combinações de processos e formas características, que resultam em um processo de evolução dinâmica. Tal demonstração é necessária porque se convencionou generalizar os processos das margens de reservatórios como processos de solapamento, o que reduz a complexidade

do problema e resulta em dificuldades para o tratamento destes processos, seja para seu controle, seja para a recuperação das áreas degradadas.

Com um melhor conhecimento da dinâmica dos processos, será possível que esta pesquisa apresente propostas de melhoria da gestão desta problemática, do ponto de vista das concessionárias de geração de energia. Neste sentido, a principal meta é a proposta de um sistema de classificação do nível de criticidade dos processos.

1.4. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é a criação e/ou o desenvolvimento do conhecimento sobre os processos erosivos em margens de reservatórios para geração de energia hidrelétrica, considerando-se diversos aspectos desta questão, como o entendimento de sua importância para a sociedade e o setor elétrico brasileiro, o conhecimento científico sobre este tipo de processo (seus mecanismos e formas de manifestação), o desenvolvimento de ferramentas de gestão desta problemática e outros.

Para consecução deste objetivo geral foram cumpridas as seguintes etapas de pesquisa (que também se caracterizam como objetivos específicos):

- Identificar, analisar e descrever, com base na bibliografia disponível e nas pesquisas de campo, as condicionantes ambientais envolvidas na gênese e no desenvolvimento dos processos geomorfológicos das margens de reservatórios, avaliando o peso de cada uma delas na dinâmica dos processos.
- Analisar os processos operativos dos reservatórios hidrelétricos (reservatórios a fio d'água e de acumulação) visando identificar e caracterizar os aspectos que podem atuar como condicionantes da dinâmica dos processos de erosão marginal em reservatórios de geração hidroelétrica, com vistas ao estabelecimento de prioridades de atuação pelas concessionárias de geração.
- Estabelecer uma metodologia de tipificação dos processos geomorfológicos das margens de reservatórios e de classificação dos níveis de criticidade destes processos.

- Testar a adequabilidade de diferentes recursos cartográficos de mensuração das taxas de evolução dos processos erosivos marginais (em especial o monitoramento por meio do sistema Scanner Laser 3D) visando à geração de mais dados e informações resultantes do monitoramento destes processos.
- Caracterizar o tratamento das questões do meio físico nos projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) das empresas do setor elétrico, visando à identificação das potencialidades deste tipo de projeto, e de sua fonte de financiamento, como alternativa de desenvolvimento da ciência geomorfológica.

Capítulo 2

Objeto e Área de Estudo

2. Objeto e Área de Estudo

2.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa são as erosões marginais em reservatórios para geração de energia hidroelétrica. Adotaremos nesta pesquisa o conceito de erosão adotado por Selby, para o qual:

erosão é um termo abrangente para o destacamento e remoção de solo e rocha pela ação da água, do vento, das ondas, dos fluxos de gelo e dos movimentos de massas. Nas encostas da maior parte do mundo o processo dominante é a ação por pingos de chuva, os fluxos superficiais de água, a água do subsolo e a perda de massa. A atividade das ondas, do gelo ou do vento podem ser consideradas como casos especiais restritos a ambientes particulares¹ (SELBY, 1982, p. 94).

Como se pode observar, o conceito usado nesta pesquisa inclui os movimentos de massa, que envolvem massa ou volume de solo ou rocha que se desloca em conjunto, e as erosões, influenciadas principalmente pelos fluxos de água na superfície, que ocorrem de forma mais lenta (grão a grão), onde é possível verificar o desprendimento (desagregação), o arraste (transporte) e a deposição das partículas do solo.

Apesar de utilizarmos o termo erosão de forma abrangente como propõe SELBY (1982), em diferentes momentos desta pesquisa faremos distinção entre os processos erosivos e as feições erosivas. Por processos erosivos entende-se o conjunto de mecanismos naturais e antrópicos que resultam em erosão. As feições, por sua vez, são entendidas como os resultados deste processo, na forma manifestada pela ação destes processos. Entende-se que a distinção entre as feições erosivas e os processos erosivos atuantes é necessária para o entendimento do comportamento das erosões quanto à sua gênese e seu desenvolvimento, além de ser de grande utilidade para a tomada de medidas de controle do desenvolvimento das erosões e na recuperação das áreas degradadas por elas.

No caso dos processos em margens de reservatórios – como veremos adiante, no “Capítulo 9. Proposta de um sistema de classificação dos processos em análise e dos seus níveis de criticidade” –, pressupõe-se, na maioria dos registros, a ocorrência de processos complexos que envolvem mais de um tipo de processo e de feição erosiva.

¹ Tradução livre para: “Erosion is an inclusive term for the detachment and removal of the soil and rock by the action of running water, wind, waves flowing ice, and mass movement. On hillslopes in most parts of the world the dominant process are action by raindrops, running water, subsurface water, and mass wasting. The activity of waves, ice, or wind may be regarded as special cases restricted to particular environments”.

Tais processos ocorrem em vertentes com localizações variadas, em diferentes tipos de vertentes e em diferentes porções das vertentes. Quanto à sua localização, os processos podem ocorrer em áreas próximas aos cursos d'água ou em áreas afastadas destes. Esta diferença de localização resulta em processos distintos, principalmente em virtude da maior presença de água, ou não, nos processos. Neste sentido optamos por restringir a pesquisa aos processos próximos aos cursos d'água, em especial aqueles nas margens de reservatórios. Aqui convém lembrar que os processos denudacionais em margens de reservatórios são muito distintos dos que ocorrem em canais fluviais, embora em ambos a presença da água seja fator importante de condicionamentos dos processos. A distinção entre ambos decorre, entre outros fatores, da velocidade das águas no contato com as margens, na maior presença de embate de ondas – no caso dos reservatórios –, e pela diferença de velocidade de aumento da coluna d'água dos dois tipos de cursos d'água.

Também é importante uma breve explanação sobre as unidades territoriais utilizadas nesta pesquisa. Adotamos o conceito de vertente para nos referirmos à unidade básica dos sistemas geomorfológicos, representada pelo terreno entre o interflúvio e o canal de drenagem, onde ocorrem os processos geomorfológicos de maneira geral. Também será adotado em determinados pontos desta pesquisa o conceito de talude, o qual entendemos como a frente da feição erosiva, onde se manifestam os processos erosivos marginais dos reservatórios. Esta adoção visa diferenciar, do ponto de vista topográfico, a localização das feições erosivas, ainda que tenhamos plena ciência de que se trata de um termo adotado de maneira mais ampla, em estudos de Geotecnia e mesmo em determinados ramos da Geomorfologia. Também se verificará em alguns lugares o termo barranco, sempre designando um local onde ocorrem as feições erosivas estudadas nesta pesquisa. Seu uso como topônimo de localização das áreas de estudo, não designa nenhuma conotação ou significado do ponto de vista geomorfológico, apenas uma forma de tratamento para os lugares em estudo.

Por fim, outro recorte adotado no objeto de nossa pesquisa foi a seleção das margens de reservatórios para fins de geração de energia hidroelétrica, em detrimento de outros tipos de reservatórios de água. Faz-se esta distinção, pois, com base nos estudos de SANTOS (1994, 1999) e MOREIRA (1994), podemos dizer que os reservatórios hidrelétricos possuem funcionalidades diferentes dos demais, o que resultará em formas diferentes, mas, sobretudo, em sistemas operativos diferentes. Tais processos operativos não podem ser desprezados nesta pesquisa, pois o tempo de exposição dos terrenos à ação da água, a interface entre os sistemas fluvial e lacustre nas áreas de remanso, entre outras condicionantes da gênese e do desenvolvimento dos processos, são regulados por tais sistemas de operação.

Os reservatórios para geração de energia hidrelétrica possuem dois grandes tipos de sistemas de operação, podendo ser de acumulação ou a fio d'água. REIS et al (2001) definem os reservatórios a fio d'água como aqueles que utilizam a vazão primária do rio – vazão disponível sem regularização entre 90 e 100% do tempo –, enquanto os reservatórios de acumulação subtendem um armazenamento de água, de forma que a vazão média seja superior àquela garantida naturalmente pelo rio. Assim, os reservatórios de acumulação permitem que uma determinada quantidade de energia (superior àquela resultante da vazão primária média do rio) seja garantida durante quase todo o tempo, enquanto nos reservatórios a fio d'água a energia firme coincide com a energia primária (energia associada à vazão primária do rio). Em virtude de tais diferenças optou-se pelo estudo de reservatórios que representassem cada um dos sistemas operacionais.

Posto que nesta pesquisa adotaremos o rio Paranapanema como área de estudo, fez-se um levantamento dos reservatórios existentes neste rio, para se definir quais seriam adotados como objeto de estudo. Adiante, o **Quadro 2.1-1** apresenta, em ordem cronológica de conclusão das obras, as usinas localizadas no rio Paranapanema, com informações sobre o sistema operacional e a concessionária do empreendimento. Ao final deste item apresenta-se um mapa com a distribuição dos empreendimentos ao longo da bacia hidrográfica do rio Paranapanema. Já a **Figura 2.1-1**, adiante, apresenta a distribuição das usinas sob concessão da Duke Energy, no rio Paranapanema.

Para a seleção dos reservatórios a serem estudados, além dos critérios já apresentados, também se considerou o vínculo desta pesquisa com o Projeto “Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos: Métodos de avaliação dos processos, uso de geotecnologias para seu monitoramento e experimentação de técnicas de controle”, inscrito sob o n.º PD-0387-0311/2010, no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. A opção da Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A. foi desenvolver este projeto individualmente, ainda que houvesse a possibilidade de desenvolvê-lo conjuntamente com outra(s) concessionária(s) de geração de energia. Assim, mais um critério foi adotado na seleção dos reservatórios, restringindo as opções aos reservatórios das UHEs operadas pela Duke Energy.

Quadro 2.1-1 – Usinas hidrelétricas no rio Paranapanema e ano de conclusão das obras de instalação

UHE	Concessionária	Ano de Conclusão	Sistema de operação
Paranapanema	Votorantim Energia	1925	Fio d'água
Salto Grande	Duke Energy	1960	Fio d'água
Jurumirim	Duke Energy	1962	Acumulação
Chavantes	Duke Energy	1971	Acumulação
Capivara	Duke Energy	1979	Acumulação
Rosana	Duke Energy	1987	Fio d'água
Taquaruçu	Duke Energy	1992	Fio d'água
Canoas I	Duke Energy / Votorantim Energia	1999	Fio d'água
Canoas II	Duke Energy / Votorantim Energia	1999	Fio d'água
Piraju	Votorantim Energia	2002	Fio d'água
Ourinhos	Votorantim Energia	2005	Fio d'água

Figura 2.1-1 – Localização das usinas hidrelétricas sob concessão da Duke Energy, no rio Paranapanema.

Fonte: Material de divulgação da Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A., cedido gentilmente pela área de Comunicação da empresa.

Desta forma, foram selecionados os reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana, que melhor representam tal variedade de sistemas ambientais e sistemas de operativos, presentes no Vale do rio Paranapanema. Abaixo se apresentam alguns dados acerca destes empreendimentos.

Chavantes

- Localização: municípios de Chavantes (SP)
- Municípios abrangidos pelo reservatório: Chavantes (SP), Ipaussu (SP), Bernardino de Campos (SP), Piraju (SP), Timburi (SP), Fartura (SP), Taguaí (SP), Coronel Macedo (SP), Itaporanga (SP), Barão de Antonina (SP), Santana do Itararé (PR), Salto do Itararé (PR), Siqueira Campos (PR), Carlópolis (PR) e Ribeirão Claro (PR).
- Início da construção: 1959
- Conclusão das obras: 1970
- Início da operação: 1970
- Potência Instalada: 414 MW
- Reservatório: Área: 400km²
Perímetro: 1.085km
Volume total: 8.750 X 10⁶m³
Volume útil: 3.045 X 10⁶m³

UHE Rosana

- Localização: municípios de Rosana (SP)
- Municípios abrangidos pelo reservatório: Rosana (SP), Euclides da Cunha Paulista (SP), Teodoro Sampaio (SP), Mirante do Paranapanema (SP), Sandovalina (SP), Itaguajé (PR), Jardim Olinda (PR), Paranapoema (PR), Inajá (PR), Santo Antonio do Caiuá (PR), Terra Rica (PR) e Diamante do Norte (PR).
- Início da construção: 1980
- Conclusão das obras: 1987
- Início da operação: 1987
- Potência Instalada: 372 MW
- Reservatório: Área: 220km²
Perímetro: 433km
Volume total: 1.920 X 10⁶m³
Volume útil: não disponível

Tal escolha possibilitou o estudo de reservatórios com sistemas operacionais diferentes e inseridos em áreas com terrenos bastante distintos. No item “2.2. Área de Estudo”, a seguir, apresenta-se maior detalhe das áreas utilizadas como estudo de casos nesta pesquisa e a justificativa para seleção de tais áreas.

2.2. Área de Estudo

Os empreendimentos adotados como objeto de estudo desta pesquisa estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Paranapanema, mais especificamente, nos vales dos rios Paranapanema e Itararé. Portanto, a análise destes empreendimentos deverá ter como pano de fundo o contexto espaço-temporal da apropriação do rio Paranapanema para geração de energia hidrelétrica e a situação ambiental desta bacia hidrográfica, em especial seus atributos do meio físico, posto que se trata de uma pesquisa sobre os processos geomorfológicos denudacionais nas margens dos reservatórios.

Neste sentido convém apontar que a área de estudo, em escala regional, é extremamente extensa. DUKE ENERGY – GERAÇÃO PARANAPANEMA S.A. & DFREIRE CONSULTORIA AMBIENTAL (2002) indicam que esta bacia hidrográfica possui uma área total de aproximadamente 100.800 km², desde suas nascentes no município de Capão Bonito, estado de São Paulo, até a sua foz no rio Paraná. Desta área total, 47% localizam-se em território paulista e 53% em território paranaense.

Sua nascente localiza-se na Depressão Periférica Paulista², mais especificamente em sua unidade denominada Depressão do Paranapanema (Figura 2.2-1 Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Paranapanema). Segundo ROSS & MOROZ (1997) esta área é composta por colinas de topos convexos e possui forte dissecação, com a associação de vales entalhados e pouco entalhados e alta densidade da drenagem, e possuem, majoritariamente, cambissolos e latossolos vermelho-amarelos, associados a argissolos. A título de localização, convém citar que suas nascentes se encontram em uma região ocupada por mata atlântica, próxima ao Parque Estadual Intervales.

O rio Paranapanema segue por esta unidade morfológica, variando os níveis de dissecação do relevo e os tipos de solos, até aproximadamente os municípios de Piraju e Cerqueira Cesar. Quanto ao uso do solo, verifica-se nesta porção da bacia a predominância de agricultura, em geral em pequenas e médias propriedades, desde a sua nascente até o entorno da cidade de Campina do Monte Alegre. A partir de então, observa-se que a ocupação da bacia do rio Paranapanema se dá por médias e grandes propriedades, onde prevalecem as culturas de milho e cana-de-açúcar e a silvicultura de pinus e eucalipto. Nesta unidade está inserida a UHE Jurumirim, responsável por um intenso processo de urbanização, em municípios como Avaré, Paranapanema e Arandu além da

² Na descrição das unidades geomorfológicas da área em estudo será adotada a terminologia utilizada no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS & MOROZ, 1997). Porém, cabe apontar que no Estado do Paraná as unidades descritas possuem nomenclaturas diferentes. O Mapa 01 – Mapa Geomorfológico da Área em Estudo apresenta em sua legenda as duas nomenclaturas apontadas para cada unidade geomorfológica mapeada.

grande presença de loteamentos compostos por chácaras e residências de fim-de-semana. Esta usina hidrelétrica possui grande importância na regulação da vazão do rio Paranapanema, possibilitando melhor aproveitamento hidroenergético nos empreendimentos à jusante, até a UHE Chavantes.

A partir da UHE Jurumirim, no sentido de jusante, verifica-se a mudança dos padrões geomorfológicos, posto que se inicia uma transição entre a Depressão do Paranapanema e o Planalto Centro-Occidental, onde também se observam feições relativas ao Planalto Residual de Botucatu. No contexto do aproveitamento hidroenergético do rio Paranapanema, cita-se a presença, no sentido montante-jusante, das UHEs Piraju, Paranapanema e Chavantes. Ressalta-se que nas proximidades da barragem da UHE Chavantes, um pouco à montante, o rio Paranapanema recebe como afluente o rio Itararé e passa a servir como divisor entre os estados de São Paulo e do Paraná, divisa esta que segue, à montante, pelo afluente citado. Convém ressaltar esta afluência, pois, a maior porção do reservatório da UHE Chavantes, uma das usinas utilizadas nesta pesquisa, encontra-se no vale do rio Itararé. Esta usina hidrelétrica possui grande importância na regulação da vazão do rio Itararé, e somando-se à UHE Jurumirim, que regula a vazão do rio Paranapanema, possibilita melhor aproveitamento hidroenergético nos empreendimentos à jusante, até a UHE Capivara.

Do ponto de vista do uso e da ocupação do solo, trata-se de uma região com agricultura intensiva, onde predominam as plantações de cana-de-áçúcar, nas áreas com relevo menos movimentado, e áreas de pastagem, nos terrenos mais colinosos. Nesta porção da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, e em especial do seu vale, localizam-se as cidades de Piraju, a qual se desenvolveu no entorno do rio Paranapanema, e a cidade de Ourinhos, esta localizada no limite entre duas unidades morfoesculturais do relevo, sendo o fim da Depressão Periférica Paulista e o início do Planalto Occidental Paulista.

A porção da bacia hidrográfica do rio Paranapanema inserida no contexto da Depressão Periférica Paulista, em termos de gestão dos recursos hídricos corresponde aproximadamente à área do Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do Alto Paranapanema (porção paulista) e partes significativas do CBH Norte Pioneiro e Alto Tibagi (ambos na porção paranaense da bacia hidrográfica). Ressalta-se que em 05 de junho de 2012, por meio de Decreto presidencial, foi instituído o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Paranapanema, de caráter federal, e que abrange todos os CBHs estaduais, conforme se apresenta na Figura 2.2-2, adiante.

Figura 2.2-1 – Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do rio Paranapanema

Fonte: Adaptado de RUBIO (2008)

Figura 2.2-2 – Limites do Comitê de Bacia Hidrográfica do Paranapanema e suas sub-divisões

Fonte: Extraído do sítio eletrônico <http://paranapanema.org/index.php>, em 22 de setembro de 2012.

A partir da região da cidade de Ourinhos o rio Paranapanema passa a drenar áreas do Planalto Centro-Oriental. Segundo ROSS & MOROZ (1997), o Planalto Centro-Oriental é constituído por formas de baixa dissecação, que apresentam vales pouco entalhados e baixa densidade de drenagem. Esta unidade morfoescultural estende-se até a foz do rio Paranapanema, junto ao rio Paraná. Quanto ao aproveitamento hidrelétrico do rio Paranapanema, incluem-se nesta unidade, no sentido montante-jusante, as UHE Ourinhos, Salto Grande, Canoas II, Canoas I, Capivara, Taquaruçu e Rosana. Convém apontar que a UHE Capivara é responsável por regularizar a vazão do rio Paranapanema, após a afluência do rio Tibagi, possibilitando melhor aproveitamento hidroenergético nos empreendimentos à jusante, que se reflete até mesmo na produção de energia da UHE Itaipu, no rio Paraná.

Esta área da bacia hidrográfica inserida no Planalto Centro-Oriental pode ser dividida em duas partes, e, para o estabelecimento de tal critério, pode-se utilizar a divisão adotada para gestão dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, distinguindo-as entre Médio Paranapanema e

Pontal do Paranapanema. Embora do ponto de vista geomorfológico as duas áreas sejam bastante semelhantes, com colinas amplas e baixas dissecação vertical e densidade de drenagem, do ponto de vista pedológico elas apresentam algumas diferenças. Enquanto na região do Médio Paranapanema os solos são predominantemente Latossolos Vermelhos, no Pontal do Paranapanema verifica-se a presença de Argissolos nos vales dos pequenos afluentes do rio Paranapanema e os Latossolos são Latossolos Vermelho-Amarelos.

A região do Médio Paranapanema, que inclui suas unidades hidrográficas equivalentes no Estado do Paraná (Norte Pioneiro, Alto Tibagi e Baixo Tibagi) é a que apresenta maior produtividade agrícola de toda a bacia hidrográfica do Paranapanema. Um dos fatores que contribui para esta produtividade é a presença de manchas de Nitossolos Vermelhos, vulgarmente chamados de terras roxas, que proporcionam grandes níveis de fertilidade do solo e, conseqüentemente, de produtividade. Nesta região verifica-se a presença de diversas culturas, dentre as quais se destacam a cana-de-açúcar, a soja e o milho. De maneira geral, verifica-se que tais culturas são produzidas em médias e grandes propriedades rurais.

Nesta região o rio Paranapanema recebe alguns de seus principais afluentes, entre os quais se destacam os rios Pardo, Cinzas e Tibagi. Embora o rio Tibagi receba – direta ou indiretamente, por meio de seus tributários – grande carga de matéria orgânica decorrente do lançamento de esgotos de grandes cidades, como Ponta Grossa e Londrina, os impactos desta matéria orgânica no rio Paranapanema são desprezíveis em virtude do seu volume e da sua extensão. Já o rio Pardo, que recebe uma forte carga de matéria orgânica, decorrente do esgoto sanitário do município de Santa Cruz do Rio Pardo e do despejo de vinhoto de usinas de beneficiamento de álcool e açúcar presentes na região, contribui para a degradação das águas do rio Paranapanema. Esta piora dos índices de qualidade de águas também é perceptível no que se refere à presença de sedimentos. Em virtude desta situação, o reservatório da UHE Salto Grande, onde se localiza a foz do rio Pardo, apresenta uma grande concentração de macrófitas (algas), além de ser o único reservatório no rio Paranapanema que exporta (jusante) mais sedimentos do que recebe do próprio rio Paranapanema (montante). Esse incremento decorre principalmente das taxas de transporte de sólidos em suspensão no rio Turvo, afluente do rio Pardo.

À jusante da barragem da UHE Capivara, na região conhecida como Pontal do Paranapanema, a organização territorial no entorno do rio Paranapanema apresenta mudanças. Verifica-se nesta região a presença de grandes propriedades, contrapondo-se às pequenas propriedades em assentamentos rurais ligados aos movimentos de trabalhadores sem terra. Por muitos anos houve a predominância da pecuária, desenvolvida nas grandes propriedades, em contraposição à produção agrícola de subsistência e comercialização do pequeno excedente

praticada nos assentamentos. Na última década, com a instalação / retomada de usinas de álcool e açúcar na região, a cultura de cana de açúcar assume papel cada vez maior na economia local. Verifica-se que o crescimento da ocupação das áreas por cultivo de cana-de-açúcar apresenta um fluxo no sentido de leste para oeste (desde a região dos municípios de Taciba/SP e Porecatu/PR até a de Teodoro Sampaio/SP e Jardim Olinda/PR). Isso também significa dizer que as áreas de pastagem são maiores quanto maior é a proximidade da foz do rio Paranapanema, ou seja, desde os municípios de Euclides da Cunha Paulista/SP e Paranapoema/PR até os municípios de Rosana/PR e Diamante do Norte/PR.

Por fim, do ponto de vista ambiental, ressalta-se que nesta região encontra-se o Parque Estadual – P.E. do Morro do Diabo, a mais importante reserva de Mata Atlântica do interior do Estado de São Paulo. Também convém citar a presença de planícies fluviais formadas por sedimentos do rio Paraná e do próprio rio Paranapanema, no delta deste rio.

Capítulo 3

Metodologia

3.1. Referencial Teórico-Metodológico

Este item visa explicitar a fundamentação teórico-conceitual que norteia o caminho metodológico a ser seguido ao longo da pesquisa. Assim, é fundamental lembrar que o objetivo central da pesquisa é a *elaboração de uma proposta de avaliação e classificação (quanto à tipificação e o grau de criticidade) dos processos geomorfológicos em margens de reservatórios para geração de energia hidrelétrica*.

Verifica-se neste objetivo da pesquisa que se trata de um estudo acerca de um tipo de intervenção antrópica, a implantação de reservatórios para geração de energia hidrelétrica, a qual resulta em mudanças ambientais rápidas. Desta forma, para entendermos como a ação do homem age como um agente de transformação da Geomorfologia e estudarmos esta transformação, o pilar metodológico desta pesquisa será a antropogeomorfologia. Convém lembrar que os estudos geomorfológicos que consideram a atividade humana como fator de geração, indução ou modificação dos processos são relativamente recentes, conforme apontado, por exemplo, em NIR (1983), GREGORY (1992) e RODRIGUES (1997, 2004).

Somente a partir das décadas de 1960 e 1970, com o desenvolvimento de estudos derivados da Teoria Geral dos Sistemas, e o crescimento da preocupação da sociedade em relações aos impactos ambientais e às mudanças ambientais globais pela ação do homem, a abordagem da ação antrópica sobre a geomorfologia apresenta um *corpo* metodológico. Desde então, diversos autores têm estudado como as diversas modalidades de intervenção antrópica atuam sobre a geomorfologia. NIR (1983) e TOY & HADLEY (1987), por exemplo, avaliam diversas modalidades de intervenção em seus trabalhos, enquanto outros autores, como, por exemplo, COLLIER (1972, apud NIR, 1983) e KASSOS (1972, apud NIR, 1983), debruçam-se sobre uma única modalidade de intervenção, nestes casos a implantação de barragens, aprofundando seu nível de análise.

NIR (1983) discute vários tipos de intervenção antrópica, com ênfase na agricultura, no pastoreio e no crescimento urbano. Assim, o autor busca sempre referenciar o crescimento destas atividades do ponto de vista histórico, referendando as informações com dados demográficos. Como exemplo desta necessidade de se referenciar as pesquisas, o autor aponta que “a intensidade da intervenção do homem difere de um país para outro, e de um período histórico para o próximo, dependendo do tipo de sociedade” (NIR, 1983).

RODRIGUES (1997, p. 108) aponta que “a consideração do antrópico é essencialmente interdisciplinar e pode envolver os recursos da abordagem sistêmica. Envolve sobremaneira a questão da escala temporal, a noção de magnitude e frequência, noção de limiares, assim como processos e sistemas geomorfológicos”.

Ao longo da pesquisa adotaremos os procedimentos propostos por RODRIGUES (1999, p.100), que apresenta uma relação de princípios, descritos abaixo, os quais deverão ser observados, total ou parcialmente, ao longo da pesquisa:

1. *Observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre;*
2. *Investigar padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica;*
3. *Investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios de pré-perturbação;*
4. *Empregar diversas e complementares escalas espaços-temporais;*
5. *Empregar e investigar as possibilidades da cartografia geomorfológica de detalhe;*
6. *Explorar a abordagem sistêmica e a teoria do equilíbrio dinâmico;*
7. *Utilizar a noção de limiares geomorfológicos e a análise de magnitude e frequência;*
8. *Dar ênfase à análise integrada de sistemas geomorfológicos;*
9. *Levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais;*
10. *Ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas.*

Os primeiros princípios adotados nesta pesquisa são os de “*observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre*” e de “*investigar padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica*”. Estes princípios estão presentes no objetivo central da pesquisa, posto que se entende a implantação e a operação dos empreendimentos hidrelétricos como responsáveis por mudanças ambientais nas áreas onde são implantados, neste caso, especificamente, os processos nas margens dos reservatórios.

Dentro do entendimento da necessidade de uma contextualização histórica, convém lembrar que nosso objeto de pesquisa é um tipo de intervenção recente, quando comparado com outros tipos intervenções, como as citadas, ou mesmo com as estradas de ferro. Pode-se dizer que a formação de reservatórios para geração hidrelétrica possui pouco mais de um século de história, sendo que os grandes reservatórios possuem, em sua imensa maioria, menos de 70 anos de idade. Como cita NIR (1983) no seu capítulo sobre este tipo de intervenção, existem ou existiram barragens destinadas para irrigação que datam de mais de 7.000 anos atrás, mas não avaliamos

aqui, contudo, reservatórios para esta destinação. Assim, inclusive pela ausência de estudos comparativos, não podemos afirmar que se tratam de intervenções semelhantes, pois, ainda que a forma seja a mesma, suas operações são distintas.

Os princípios de *“utilizar a noção de limiares geomorfológicos e a análise de magnitude e frequência”* e de *“ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas”* são, na sequência dos apresentados anteriormente, os mais importantes para esta pesquisa. Eles fundamentam a utilização do monitoramento dos processos marginais utilizados para caracterizá-los e classificá-los.

Neste ponto convém um parêntese para informar que o sistema de classificação dos processos geomorfológicos de degradação das margens de reservatório é um dos principais resultados a serem entregues por esta pesquisa. Para tanto, partiremos de sistemas de classificação já existentes, tais como os propostos por GUIDICINI & NIEBELE (1983), HUTCHINSON (1988, apud AHRENDT, 2005), WPWLI (1994, apud FERNANDES & AMARAL, 1996) e FERNANDES & AMARAL (1996), para a estruturação de um sistema de classificação específico para os processos que ocorrem nas margens dos reservatórios estudados nesta pesquisa. A proposição do sistema de classificação baseia-se em uma extensa revisão acerca dos sistemas existentes e de uma proposta preliminar de sistema de classificação, a qual foi se modificando ao longo da pesquisa.

Voltando aos princípios apontados por RODRIGUES (1999), convém citar como relevantes para esta pesquisa o *“emprego de diversas e complementares escalas espaço- temporais”*. Este princípio pode ser verificado na relação entre a análise da gênese dos processos (baseada na análise do contexto geral dos empreendimentos) e a análise da dinâmica dos processos monitorados (baseada em dados locais, primários ao longo da pesquisa), fazendo com que o mesmo fenômeno seja estudado com duas abordagens e escalas geográficas distintas. Também podem ser verificadas as escalas temporais, posto que serão correlacionados dados gerados em diferentes períodos de monitoramento.

Outro princípio, o da *“consideração das particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais”*, é observado desde a escolha das áreas de estudo, uma vez que os empreendimentos escolhidos para serem estudados encontram-se inseridos em diferentes contextos morfoclimáticos e morfoestruturais e um dos resultados esperados é justamente verificar a diferença de comportamento de empreendimentos com a mesma finalidade, porém, em contextos geomorfológicos e geológicos distintos.

Por fim, convém dizer que o monitoramento dos balanços, taxas e geografia dos processos e a correlação de dados gerados em diferentes períodos de monitoramento (escalas temporais), procedimentos a serem utilizados nesta pesquisa, revelam que esta pesquisa adota como método de pesquisa, enquanto teoria de investigação, o Método Indutivo, adotando-se o conceito presente em LAKATOS & MARCONI (1992). Para as autoras, a pesquisa realizada a partir do método indutivo é composta de três etapas de trabalho, a saber: observação dos fenômenos, descoberta da relação entre eles e generalização da relação. Logo, todo o monitoramento realizado insere-se no contexto da observação dos fenômenos, enquanto a proposição dos sistemas de classificação insere-se no contexto da descoberta da relação entre eles e da generalização das relações.

Este é o contexto teórico-metodológico em que se insere esta pesquisa. A partir do contexto relatado acima é que serão estabelecidos os procedimentos de pesquisa adotados, os quais se encontram descritos nos itens seguintes.

3.2. *Princípios e procedimentos metodológicos*

Esta pesquisa não almejou ser um estudo completo da antropogeomorfologia, visto que não era possível obter os elementos básicos para desenvolver todos os princípios propostos por RODRIGUES (1999), citados no item anterior. Neste item apresentaremos os procedimentos metodológicos adotados ao longo da pesquisa, sempre que possível associando os procedimentos adotados aos princípios propostos por RODRIGUES (1999), para o desenvolvimento de pesquisas no âmbito do antropogeomorfologia.

A Figura 3.2-1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, apresentado na próxima página, mostra o caminho de pesquisa adotado. Na figura é possível observar o início da pesquisa com a definição do escopo do projeto e a sua conclusão visando ao atendimento ao seu objetivo principal relacionado à promoção da revisão teórico-metodológica acerca do tratamento da problemática das erosões em margens de reservatórios. Entre estas duas etapas apresentam-se os grandes grupos de atividades desenvolvidas e os procedimentos realizados em cada um deles.

Figura 3.2-1 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa

A tentativa, sempre que possível e necessário, de relacionar os procedimentos metodológicos adotados aos princípios e referências teórico-metodológicas adotados visa contribuir com o entendimento sobre opções seguidas ao longo da pesquisa. Tais opções se refletem na forma de conduzir a pesquisa e é de fundamental entender os caminhos seguidos e porque eles foram escolhidos, como maneira de se avaliar os resultados obtidos por ela.

Assim, ao longo dos próximos itens discutiremos cada um dos grandes grupos de atividades desenvolvidas ao longo desta pesquisa, seguindo a sequência lógica e temporal das atividades realizadas.

3.2.1. Definição do objeto da pesquisa e delimitação dos objetivos e das hipóteses de trabalho

A definição do objeto de pesquisa e a delimitação dos objetivos e hipóteses de trabalho estão diretamente relacionadas com a definição do escopo da pesquisa. A escolha das erosões marginais de reservatórios hidrelétricos como objeto de estudo e a sua delimitação mais aprofundada por si só significam uma continuidade na linha de pesquisa da antropogeomorfologia, posto que se trata de uma alteração do meio físico resultante da implantação de uma obra de infraestrutura.

Dentro desta inserção no campo da antropogeomorfológica, foi importante para esta pesquisa, desde seu início, ter como premissa que as erosões marginais em reservatórios são processos novos, introduzidos na natureza pela ação humana, e que embora ocorram processos e feições erosivas semelhantes em leitos fluviais, não se tratam de uma única forma de denudação do relevo. Esta percepção está diretamente vinculada às hipóteses de trabalho que preveem uma revisão dos modelos conceituais de estudo desta problemática. A partir dessa reafirmação, foi possível vislumbrar a necessidade de adoção de procedimentos de estudo, para este tipo de processo, diferentes dos adotados em estudos de áreas fluviais, o que resultou na incorporação de novos parâmetros de análise (por exemplo, o sistema de operação do reservatório e a influência dos ventos e ondas).

Esta forma de abordagem da problemática está diretamente relacionada à linha de pesquisa adotada em outros trabalhos nossos. Desde quando realizamos estudo anterior sobre os impactos dos empreendimentos hidrelétricos na bacia hidrográfica do rio Paranapanema (RUBIO, 2008), buscou-se *observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre*. Naquela ocasião, estudamos um contexto geral sobre alterações antrópicas sobre o meio físico, e, a partir do momento em que restringimos tais alterações para uma específica, que são os processos geomorfológicos de degradação das margens, se iniciou um novo ciclo de investigações.

Para a elaboração destas etapas iniciais de pesquisa o procedimento metodológico principal foi a revisão bibliográfica pertinente aos temas. Esta, por sua vez, divide-se entre a bibliografia específica sobre erosões marginais em reservatórios hidrelétricos e a bibliografia sobre questões teóricas sobre o desenvolvimento da antropogeomorfologia, da Geomorfologia e da própria Geografia Física.

Nesta etapa de trabalho as principais referências bibliográficas sobre casos brasileiros foram COLÂNGELO (1990), FERNANDEZ (1995), DE JORGE (1984) LEITE et al (1982) e AZEVEDO & DUARTE (2013). Em língua estrangeira as principais referências adotadas foram SCHUSTER (1979), GATTO & DOE III (1987), ALLEN & TINGLE (1992), KIRK et al (2000), HOLMSTEAD (2003), ELÇI & WORK (2003) e WANG & LI (2009), os quais mostram diversos casos ocorridos em países como Estados Unidos, China e Nova Zelândia.

A consulta ao material listado acima possibilitou um entendimento dos modelos teórico-metodológicos, dos modelos conceituais sobre o desenvolvimento das erosões, das condicionantes selecionadas para entendimento da gênese e do desenvolvimento e das terminologias adotados, ou privilegiados, por cada autor. Tais entendimentos foram de fundamental importância para a definição e delimitação dos itens iniciais da pesquisa e o posterior desenvolvimento dos temas para atendimento aos objetivos da pesquisa.

Em relação às questões teóricas e metodológicas em Geografia Física, especialmente na relação entre esta e a Geomorfologia, e mais especificamente ainda no estudo do desenvolvimento da antropogeomorfologia, as referências adotadas foram, principalmente, os estudos de GREGORY (1992), RODRIGUES (1997, 1999, 2004), NIR (1983) e TOY & HADLEY (1987). Os dois primeiros autores citados são importantes para esta pesquisa por fazerem uma revisão histórica do desenvolvimento deste campo da Geomorfologia. Já os dois últimos autores, embora também contribuam para esta revisão histórica, são mais importantes por apresentarem propostas

para o tratamento de modalidades de intervenção específicas, como, por exemplo, a construção de barragens, a urbanização e a implantação de obras lineares (rodovias e dutos, entre outras).

3.2.2. Seleção da área de estudo

Realizada a primeira etapa da pesquisa, partiu-se para a seleção de áreas para estudo de caso na pesquisa proposta. Esta seleção priorizou a seleção de empreendimentos com diferentes sistemas operacionais, ou seja, a seleção buscou a escolha de uma UHE com reservatório de acumulação e outra com reservatório a fio d'água. Após esta primeira definição, seguindo-se o princípio de *levar em consideração as particularidades dos contextos morfoclimáticos e morfoestruturais*, buscou-se a escolha de reservatórios com tais diferenças de contextos, para uma análise de como estas diferenças podem influenciar na gênese e na dinâmica dos processos. Definidos os dois critérios de seleção e tendo-se como área de estudo o vale do rio Paranapanema, fundamentou-se a escolha dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana.

A seleção destes reservatórios deu-se também pelo conhecimento prévio dos mesmos, em virtude da experiência e da atividade profissional do autor da pesquisa, o qual já havia realizado inúmeras atividades de campo nestes reservatórios. Tais atividades já sustentavam a escolha para os sistemas operacionais distintos e para os seus contextos ambientais diferentes. Para confirmação da percepção do autor, realizou-se uma vistoria no reservatório da UHE Chavantes nos dias 17 e 18 de julho de 2012. Por tratar-se de um reservatório de grandes dimensões, esta atividade foi importante para o reconhecimento de algumas áreas e para a identificação de regiões prioritárias a serem vistoriadas durante o levantamento de campo para seleção dos pontos de monitoramento.

Realizado este primeiro recorte da área de estudo, partiu-se para a etapa de definição dos critérios de seleção dos pontos de monitoramento em campo. A definição dos critérios e a seleção de áreas ocorreram em atividade conjunta com o Projeto de P&D a que esta pesquisa está vinculada. Assim, participaram desta seleção de áreas, também os profissionais do Projeto de

P&D, com destaque para o Prof. Dr. Antonio Manoel dos Santos Oliveira, o Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes e o Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli. A atividade foi realizada durante trabalho de campo ocorrido entre os dias 23 e 27 de julho de 2012. A atividade envolveu um grupo de nove pesquisadores, mais dois profissionais de apoio, e foi realizado com apoio de duas embarcações, além de outros veículos para os deslocamentos em terra.

Diferentemente do Projeto de P&D a que esta pesquisa está vinculada, que prevê a implantação de áreas experimentais e pontos de monitoramento, esta pesquisa trabalha somente com o conceito de pontos de monitoramento, posto que não será realizada a análise dos experimentos quanto à interferência na dinâmica dos processos.

Na seleção das áreas foram estabelecidos critérios como (i) localização de, no mínimo, um ponto de monitoramento em cada estado (em decorrência de questões de gestão dos processos pela empresa concessionária, que está vinculada ao desenvolvimento do projeto de P&D); (ii) representatividade do tipo de processo no rol de processos existentes no reservatório; (iii) extensão dos processos (os pontos de monitoramento teriam que apresentar uma extensão mínima para realização do monitoramento com os equipamentos e comportar as parcelas dos experimentos); (iv) características ambientais da área; e (v) condições de acesso (facilidade de acesso com carro, para implantação e manutenção dos experimentos e equipamentos a serem utilizados). Identificados alguns pontos com tais características, outros mais foram selecionados conforme a relevância para o entendimento dos processos em estudo, buscando a maior variedade possível de processos e condições ambientais de instauração destes processos.

Ao final destes procedimentos, as informações de caracterização dos reservatórios e dos pontos de monitoramento foram compiladas para apresentação no Capítulo 6 deste trabalho. Também foram incorporadas informações obtidas ao longo de outras atividades de campo realizadas nesta pesquisa e obtidas por meio do trabalho de DUKE ENERGY & REGEA (2013).

3.2.3. Desenvolvimento dos objetivos da pesquisa – Projetos de P&D do setor elétrico

Já no campo do desenvolvimento da pesquisa, a primeira etapa foi a caracterização da situação dos Projetos de P&D do setor elétrico brasileiro e as relações destes com esta pesquisa. O procedimento adotado para esta atividade foi a revisão bibliográfica sobre este assunto. Neste contexto destacamos as leituras de IPEA (2012), POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011), CHAPIESKI (2007) e SILVA JUNIOR et al (2010). Além deste material específico sobre pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico, também apresentam interesse para esta pesquisa estudos que discorram sobre o tema de maneira geral, como DACORSO (2000), MATA (2008), MOURA (2008), QUINELLO (2010) e RUBIO (2003), mesmo considerando que tais trabalhos apresentam parte de seus resultados voltados a setores econômicos específicos, que não o setor elétrico. Nesta mesma condição ainda serão consultados artigos publicados em periódicos, tais como ANDREASSI & SBRAGIA (2002); JENSEN, MENEZES-FILHO & SBRAGIA (2004) e SBRAGIA (2003).

Para a compilação dos resultados advindos da revisão bibliográfica, foram inseridas análises do autor – parte delas feita com a contribuição de outros pesquisadores, conforme relatado adiante – baseadas no conhecimento de diferentes casos de implantação de empreendimentos hidrelétricos, além de análises resultantes do processo de gerenciamento do Projeto de P&D, desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica gerido pela Aneel, sob o nº. de PD- 0387-0311/2010, intitulado “Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos: Métodos de avaliação dos processos, uso de geotecnologias para seu monitoramento e experimentação de técnicas de controle”, ao qual esta pesquisa está vinculada.

3.2.4. Desenvolvimento dos objetivos da pesquisa – Condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões marginais

A análise das condicionantes de gênese e do desenvolvimento das erosões marginais em reservatório é a etapa mais complexa desta pesquisa, como mostram os procedimentos adotados para a produção dos seus resultados.

Do ponto de vista teórico-metodológico é onde mais se aplicam os conceitos e princípios da antropogeomorfologia descritos por RODRIGUES (1999). Além disso, esta etapa de trabalho envolveu um grande número de procedimentos, que se complementam e que, na medida em que se desenvolvem, acabam por exigir modificações e complementações nos demais procedimentos.

Definição das condicionantes e seleção de parâmetros de análise da gênese e do desenvolvimento dos processos erosivos marginais

Em relação a esta atividade, o primeiro passo foi a revisão bibliográfica sobre as condicionantes envolvidas nos processos erosivos em margens de reservatório. Novamente utilizaram-se os estudos de LEITE *et al* (1982), DE JÓRGE (1984), COLÂNGELO (1990) e FERNANDEZ (1995) como fonte para início dos trabalhos. Nestes trabalhos, verificaram-se quais eram as condicionantes ambientais estudadas para correlação com a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos. Além das condicionantes ambientais, foram identificados e analisados quais parâmetros compunham as análises de cada condicionante ambiental.

Nesta análise também foi importante o trabalho de GUIDICINI & NIEBLE (1983). Estes autores dedicam o Capítulo 2 – Agentes e causas de movimentos de massas, à discussão sobre as causas e os agentes responsáveis pelas desestabilizações de taludes. Eles dividem os agentes entre predisponentes (as condições de terreno e ambientais em que os processos ocorrem) e efetivos (responsáveis pelo desencadeamento dos processos), os quais se subdividem em preparatórios e imediatos. Trata-se de uma importante referência conceitual, até mesmo porque é com base nestes autores que estudiosos das erosões em reservatórios (sobretudo LEITE *et al* (1982) e FERNANDEZ (1995)) estabelecem seus critérios de análise.

Após este procedimento, estabeleceram-se as condicionantes ambientais relativas à gênese e ao desenvolvimento dos processos erosivos para serem monitorados:

- Condições geomorfológicas das margens
- Condições pedológicas das margens
- Condições geológicas das margens
- Clima e ação dos ventos e ondas
- Condições de uso e ocupação das margens
- Condições de operação

Como um detalhamento da análise citada acima, também foi importante correlacionar as condicionantes ambientais identificadas com os parâmetros de análise deste impacto, apresentados em RUBIO (2008). Convém lembrar que esta proposta de parâmetros a serem analisados na avaliação dos impactos baseia-se na metodologia dos *geoindicadores*, proposta no âmbito da Comissão de Meio Ambiente para o Desenvolvimento, da União Internacional de Ciências Geológicas (BERGER & IAMS, 1996).

Até determinado momento da pesquisa, trabalhou-se com a perspectiva de se analisar um rol de parâmetros semelhantes para identificar as condicionantes da gênese e do desenvolvimento dos processos erosivos em margens de reservatórios. Tal análise se utilizaria dos dados produzidos para os pontos de monitoramento estabelecidos. No entanto, com base no princípio metodológico proposto por RODRIGUES (1999) de que devemos empregar diversas e complementares escalas espaços-temporais, verificou-se que esta perspectiva estava equivocada. Para se resolver este equívoco estabelecemos a necessidade de se analisar a gênese destes processos a partir da correlação de dados relativos à totalidade dos processos erosivos em cada reservatório – portanto, não mais se limitando aos pontos de monitoramento – com as demais porções das margens dos reservatórios, onde não se verifica a ocorrência de processos erosivos.

Esta mudança de entendimento resultou na saída de uma análise local para uma análise mais regional do fenômeno de surgimento dos processos.

No entanto, a análise das condições de desenvolvimento dos processos continuaria se utilizando dos dados relativos aos processos monitorados, uma vez que a velocidade de expansão das feições erosivas é informação primordial. Nesta análise serão comparados os dados dos diferentes indicadores às taxas de evolução dos processos, obtidas por meio de produtos cartográficos e monitoramentos por equipamentos de precisão. Esta análise trata-se de um aprofundamento do princípio de *ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas*, que na análise regional esta restrita à geografia dos processos.

Adiante, no Quadro 3.2.4-1, segue a apresentação dos indicadores e parâmetros avaliados durante a pesquisa para cada um dos níveis de análise.

Quadro 3.2.4-1 – Indicadores e parâmetros de análise da gênese e do desenvolvimento dos processos erosivos para condicionante ambiental

Condicionante ambiental	Indicadores e parâmetros de análise da gênese dos processos erosivos	Indicadores e parâmetros de análise do desenvolvimento dos processos erosivos
Condições geomorfológicas das margens	Tipo de relevo e declividade	Declividade, altura dos taludes e extensão das praias
Condições pedológicas das margens	Tipos de solos (análise das ordens e subordens)	Granulometria e permeabilidade
Condições geológicas das margens	Tipos de litologias	Características mineralógicas
Clima e ação dos ventos e ondas	Ventos (velocidade e direção), e ondas (extensão das pistas de vento e altura das ondas)	Ventos (velocidade e direção), e ondas (extensão das pistas de vento e altura das ondas)
Condições de uso e ocupação das margens	Tipos de uso e ocupação do solo	Tipos de uso e ocupação do solo, presença de animais e utilização de maquinário nas culturas
Condições de operação dos reservatórios	Sistema de operação dos reservatórios (análise das características das feições erosivas em cada situação de operação)	

As análises das condições de operação são específicas dos estudos deste tipo particular de intervenção antrópica, enquanto as demais podem ser adotadas no entendimento de outros tipos de intervenção. Assim, até por conta da existência de pouca discussão sobre a relação entre estes processos operacionais e os processos das margens dos reservatórios, cabe uma parênteses para

explicar melhor os procedimentos de análise desta pesquisa. Trata-se, portanto, de *“investigar padrões de ações humanas significativos para a morfodinâmica”*.

Para atender ao objetivo de analisar os processos operativos dos reservatórios hidrelétricos (reservatórios a fio d'água e de acumulação) como condicionantes da gênese e da dinâmica dos processos, alguns procedimentos foram adotados. Entre estes procedimentos encontram a análise da quantidade e das características dimensionais (extensão e altura) dos processos nos dois tipos de operação dos reservatórios, visando à identificação de padrões de comportamento semelhantes por tipo de operação, e a análise das curvas de permanência dos reservatórios. Esta análise da curva de permanência visa identificar as variações da coluna d'água no reservatório ao longo do tempo, o que pode contribuir para o entendimento dos processos ocorridos nas vertentes – no contato com a ação da água – e até mesmo das formas dos processos – uma vez que quando expostos à ação das águas há um carreamento dos sedimentos movimentos no talude de exposição dos processos.

Produção e análise de dados espaciais

Conforme exposto acima foram estabelecidas duas escalas de abordagem, uma de âmbito regional para a análise da gênese das erosões nos reservatórios; e outro de âmbito local para análise do desenvolvimento das erosões nos pontos de monitoramento.

Iniciaremos a apresentação da produção dos dados em nível regional. Convém apontar que esta atividade foi facilitada pela existência e pela possibilidade de uso de um cadastro dos processos das margens de ambos os reservatórios, realizado em nível censitário pela concessionária dos empreendimentos em estudo, a Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A. Tal cadastro contribuiu para a produção de informações geoestatísticas a partir do lançamento dos processos cadastrados sobre produtos cartográficos de diferentes indicadores ambientais, conforme apontado no Quadro 3.2.4-1, apresentado anteriormente.

Em relação aos produtos cartográficos elaborados para a comparação da localização dos processos em relação ao restante do reservatório a partir de diferentes condicionantes ambientais, os materiais podem ser diferenciados em dois grupos: (i) mapeamentos gerais em pequena escala, normalmente com escala gráfica entre 1:500.000 e 1:1.000.000 e (ii) materiais produzidos em escalas de detalhe maiores, produzidos para a gestão dos reservatórios (pela concessionária ou por suas contratadas) ou para o Projeto de P&D a que esta pesquisa está vinculada. Nestas categorias são apresentados os seguintes mapas:

- Mapa Pedológico da UHE Chavantes: produto gerado a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & REGEO (2013), com dados dos mapas pedológicos da Embrapa (1981), em escala 1:1.000.000, e do IPT (1987), em escala 1:500.000.
- Mapa Pedológico da UHE Rosana: produto gerado a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & REGEO (2013), com dados dos mapas de solos do IAC (1999), em escala 1:500.000, e do IAPAR (1981), em escala 1:650.000.
- Mapa Geológico da UHE Chavantes: produto gerado a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & REGEO (2013), com dados do levantamento realizado por CPRM (2004), em escala 1:1.000.000.
- Mapa Geológico da UHE Chavantes: produto gerado a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & REGEO (2013), com dados do levantamento realizado por Fernandes (1998), em escala 1:1.000.000.
- Mapa de Declividade da UHE Chavantes: produto gerado a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & WALM ENGENHARIA (2013), com dados do SRTM operado pela Agência Espacial Norte Americana – NASA.
- Mapa de Declividade da UHE Rosana: produto gerado a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & WALM ENGENHARIA (2013), com dados do SRTM operado pela Agência Espacial Norte Americana – NASA.
- Mapa de Susceptibilidade à Erosão da UHE Chavantes / Mapa de Susceptibilidade à Erosão da UHE Rosana: produtos gerados a partir de compilação realizada por DUKE ENERGY & WALM ENGENHARIA (2013). Estes mapas foram elaborados a partir da integração de dados dos Mapas Pedológico, Geológico, de Domínios Hidrodinâmicos e de Uso e Ocupação do Solo e de Declividade.
- Mapa de Uso e Ocupação do Solo da UHE Chavantes / Mapa de Uso e Ocupação do Solo da UHE Rosana: produto gerado a partir de compilação realizado internamente pela Duke Energy International, Geração Paranapanema, a partir da interpretação de imagens do satélite RapidEye, ortorretificadas, com resolução espacial de 5 metros, com precisão compatível 1:25.000 PAC A, mosaicadas e equalizadas.
- Mapa de Pistas de Vento Máximas da UHE Chavantes / Mapa de Pistas de Vento Máximas da UHE Rosana: produtos gerados pela Fepisa – Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira, no âmbito do Projeto de P&D nº PD-0387-0311/2010. Para a produção do material foi utilizado o software

OndisaCAD, desenvolvido por equipe da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Unesp – Universidade Estadual Paulista.

- Mapa de Alturas Máximas das Ondas na UHE Chavantes / Mapa de Alturas Máximas das Ondas na UHE Chavantes: produtos gerados pela Fepisa – Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira, no âmbito do Projeto de P&D n° PD-0387-0311/2010. Para a produção do material foi utilizado o software OndisaCAD, desenvolvido por equipe da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Unesp – Universidade Estadual Paulista.

Quanto à produção de dados espaciais sobre a evolução dos processos erosivos marginais, a proposta de trabalho inicial era trabalhar com dados do monitoramento da evolução dos processos com o uso de equipamento Scanner Laser 3D, gerados no âmbito do Projeto de P&D n° PD-0387-0311/2010. Esta proposta era muito interessante pelo seu ineditismo (não identificamos em nossa revisão bibliográfica nenhum uso deste equipamento para monitoramento de processos erosivos marginais no Brasil) e pela precisão das informações geradas.

O Scanner Laser 3D gera uma nuvem de pontos (vide Figura 3.2.4-1 adiante) da superfície do talude (com dados das coordenadas e da altimetria), que permite gerar um modelo tridimensional (vide Figura 3.2.4-2 adiante) e comparar os modelos das diferentes campanhas de monitoramento, gerando, de forma mais rápida e precisa que os levantamentos tradicionais (por exemplo, levantamento topográfico ou realização de seções transversais), informações sobre velocidade de evolução do processo e volume de material transportado, entre outras.

Para tanto o sistema Scanner Laser 3D coleta até 36.000 pontos por segundo (taxa de medição do pulso 36 KHz), com um campo de visão de 360°, alcance de até 150 metros com reflectância de 90%, precisão laser de +/- 5 cm e precisão absoluta dos dados finais dependentes do posicionamento GPS e correção do Sistema Inercial. Dentre as opções de equipamento disponíveis no mercado, optou-se pelo equipamento da marca MDL, modelo Dynascan M150 GNSS RTK 01 cabeça, composto por: 01 scanner a laser de alta velocidade, 01 receptor RTK, 02 antenas GNSS, 01 Sistema de Navegação Inercial de alta precisão, com acurácia de 0,1° em Azimute, 0,03° em Pitch e 0,03° em Roll (com todos os sensores e conectores compostos em um único equipamento – vide Figura 3.2.4-3 adiante).

Figura 3.2.4-1 – Nuvem de pontos gerada pelo equipamento Dynascan M150

Fonte: Imagem gerado por Marcus V. Antunes de Moraes

Figura 3.2.4-2 – Modelo do terreno gerado a partir de nuvem de pontos gerada pelo equipamento Dynascan M150

Fonte: Imagem gerado por Marcus V. Antunes de Moraes

Figura 3.2.4-3 – Foto de equipamento Dynascan M150 em uso durante atividade do projeto

No entanto, houve problemas com a aquisição do equipamento e sua operacionalização e com os levantamentos em campo, ocasionando que os resultados obtidos não fossem os esperados inicialmente. Os problemas na aquisição referem-se a questões comuns quando se compra equipamentos importados (atraso na importação e mudanças no preço final, em relação ao planejado, em virtude de variações no câmbio do dólar norte americano). Já na operacionalização, cabe citar problemas quanto à necessidade de ajustes na embarcação que transporta o equipamento (que foi totalmente projetada pela equipe do Projeto de P&D nº PD-0387-0311/2010). Quanto à realização dos levantamentos de campo, o principal problema foi a impossibilidade de realização de levantamentos previstos em virtude de condições climáticas (chuvas e ventos).

Além disso, o período de realização dos levantamentos caracterizou-se como extremamente seco, obrigando a realização dos levantamentos com o nível d'água baixo no reservatório da UHE Chavantes. Com o nível d'água sem atingir as erosões monitoradas, a evolução das feições foi muito baixa em termos de taxa de evolução (m/ano), fazendo com que os dados, já em número reduzido, não variassem além da margem de erro do próprio equipamento.

Diante deste problema, optamos por complementar a análise com dados de levantamentos topográficos tradicionais, já existentes para os pontos de monitoramento, e com mapeamentos realizados a partir de imagens de satélite. Assim, a taxa de evolução das feições erosivas foi estabelecida a partir do mapeamento da evolução das linhas de crista destas feições.

Adiante se apresenta o Quadro 3.2.4-2, onde constam os períodos a que se refere cada um dos produtos cartográficos utilizados para a caracterização da taxa de evolução de cada feição erosiva monitorada.

Quadro 3.2.4-2 – Produtos cartográficos utilizados na análise da evolução de cada processo monitorado, com a indicação do período de elaboração

Reservatório da UHE Chavantes				
Ponto de Monitoramento	Imagens de satélite	Levantamentos Topográficos	Levantamentos com Scanner	
			1º. Levant.	2º. Levant.
Tayaya	Ikonos (dez. 2001)	(nov. 2013)		
Ilha	Ikonos (dez.2001)		(ago.2013)	(nov.2013)
Pauliceia	Wourld View 1 (ago.2008)	(set. 2013)	(ago.2013)	(nov.2013)
Argilito	Wourld View 1 (ago.2008)		(ago.2013)	(nov.2013)
Garças	Wourld View 1 (dez.2007)		(ago.2013)	(nov.2013)
Ipe	Geo Eye (abr.2010)	(set. 2013)	(ago.2013)	(nov.2013)
Escorregamento Ativo				(nov.2013)
Cascalho	Wourld View 1 (set.2011)			(nov.2013)

Quadro 3.2.4-2 – Produtos cartográficos utilizados na análise da evolução de cada processo monitorado, com a indicação do período de elaboração (continuação)

Reservatório da UHE Rosana				
Ponto de Monitoramento	Restituição de Fotografias Aéreas	Levantamentos Topográficos	Levantamentos com Scanner	
			1º. Levant.	2º. Levant.
Nova Pontal	Ikonos (maio.2003)	(out.2013)		
Beira Rio	Wourld View 1 (jul.2008)	(ago.2012)	(jun.2013)	(maio.2014)
Machado	Wourld View 1 (jul.2008)	(set.2013)		(maio.2014)
Corredor Ipe	Wourld View 1 ago.2008)		(jun.2013)	(maio.2014)
Ronaldo	Geoeye (jun.2010)	(out.2013)		(maio.2014)
Divisa do Parque	Quickbird (dez.2010)		(jun.2013)	(maio.2014)
Cascalheira	Quickbird (dez.2010)		(jun.2013)	(maio.2014)

	Levantamento aproveitado na mensuração das taxa de evolução da erosão
	Levantamento realizado mas não aproveitados na mensuração das taxa de evolução da erosão pela proximidade dos dados gerados
	Levantamento realizado, porém inutilizado por problemas técnicos
	Levantamento não realizado

Por fim, ressalta-se que a apresentação destes mapas nesta tese manterá escalas com pequeno nível de detalhe e escala gráfica em 1:250.000 ou 1:350.000. A adoção destas escalas gráficas deve-se ao fato de que sua apresentação é ilustrativa para as atividades realizadas, sendo que seus detalhes não são o objeto das análises, mas sim os dados extraídos destes produtos cartográficos.

Levantamento de dados em campo e correlação com as análises espaciais

Além dos dados espaciais também foram realizados levantamentos de campo para a obtenção de dados das condicionantes ambientais e seus parâmetros e indicadores. Neste sentido cabe ressaltar os seguintes levantamentos:

- Caracterização pedológica das áreas de monitoramento – Esta atividade foi dividida em quatro viagens, realizadas entre maio de 2013 e julho de 2014, nas quais foram realizadas as caracterizações de campo das condições pedológicas dos processos monitorados, as coletas de solo para análise física em laboratório e os ensaios de permeabilidade. Esta atividade foi realizada no âmbito do Projeto de P&D n° PD-0387-0311/2010 e foi coordenada pelo Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes (parte de caracterização e coleta de amostras) e pelo Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli (ensaios de permeabilidade).

- Caracterização geológica das áreas de monitoramento – Esta atividade foi realizada em julho de 2014, durante 04 (quatro) dias, quando se realizou a caracterização de campo das condições geológicas das áreas onde ocorrem os processos monitorados. Para tanto, foi realizada uma análise comparativa entre o material geológico visível em campo e os mapeamentos geológicos disponíveis para a área de trabalho. Esta atividade foi realizada no âmbito do Projeto de P&D nº PD-0387-0311/2010 e contou com a coordenação do Geól. Dr. Antonio Manoel dos Santos Oliveira.

Após o levantamento destes dados em campo, o material foi compilado em relatórios específicos e somado aos dados obtidos por outras fontes, tais como as séries de dados do nível dos reservatórios obtidos junto ao Centro de Operações de Geração, da Duke Energy International Geração Paranapanema.

A partir daí foi realizada análise (qualitativa e quantitativa) integrando as informações produzidas sobre as condicionantes ambientais e os dados de evolução dos processos em estudo. Os dados desta integração encontram-se no “Capítulo 6. Análise da Gênese dos Processos em Margens de Reservatórios”, bem como a caracterização geral das erosões em escala regional e a caracterização das erosões em cada ponto de monitoramento.

A análise em escala regional foi baseada, principalmente, em interpretações a partir da comparação do percentual de cada classe dos indicadores no contexto do reservatório com o percentual em relação à extensão das feições erosivas nas margens dos reservatórios. A análise dos pontos de monitoramento, por sua vez, se deu a partir de interpretações da comparação entre as taxas de evolução das feições erosivas e os indicadores e parâmetros ambientais analisados.

3.2.5. Desenvolvimento dos objetivos da pesquisa – Sistemas de classificação da tipologia e dos níveis de criticidade

Realizadas as etapas anteriores, foi possível seguir para a última etapa de desenvolvimento dos objetivos da pesquisa, que consistiu na elaboração dos sistemas de classificação da tipologia e do nível de criticidade dos processos. Embora agrupadas em um mesmo nível de atividade, e até mesmo apresentadas em um mesmo capítulo, tratam-se de duas propostas bastante distintas, tanto em termos de suas funcionalidades, quanto em termos dos processos de criação.

No caso da proposta do sistema de classificação das tipologias, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, segundo a classificação de LAKATOS & MARCONI (1985). Isto porque a proposta em si é o resultado de uma compilação de informações, com a devida adequação para o caso dos reservatórios, realizada a partir da análise de uma série de outros sistemas propostos.

Quanto aos procedimentos adotados, a revisão bibliográfica iniciou-se com o entendimento das abordagens presentes nos estudos específicos para reservatórios hidrelétricos. Assim, foram analisados os conceitos e terminologias presentes, principalmente, nos estudos de SCHUSTER (1979), DE JORGE (1984), COLÂNGELO (1990), FERNANDEZ (1995) e WANG & LI (2009). Posteriormente, buscou-se uma análise da literatura acerca dos sistemas de classificação de processos erosivos em geral. Neste caso, faz-se necessária a menção ao estudo de GUIDICINI & NIEBLE (1983), que foi a principal referência para o início desta revisão. Após a revisão deste trabalho, foram analisadas outras propostas presentes nos seguintes estudos: CHRISTOFOLETTI (1974), SELBY (1982), WP/WLI (1994), FERNANDES & AMARAL (1996), OLIVEIRA (1999), AHRENDT (2005) e GERSCOVICH (2012).

Esta bibliografia consultada e sua posterior compilação possibilitaram a identificação dos critérios utilizados em cada sistema e nas suas formas de organização. Por fim, para a proposição de um sistema de classificação para os reservatórios de hidrelétricas também se buscou acrescentar elementos vindo de exercícios para (i) identificação das relações entre os indicadores e seus parâmetros com os dados de configuração dos reservatórios e os resultados do monitoramento, (ii) definição das variáveis que representam condições diferenciadas dos processos (com pesos para a relevância e magnitude das variáveis durante o processo de classificação) e (iii) estabelecimento de hierarquia entre os indicadores e parâmetros mais significativos para a gênese e o desenvolvimento destes processos.

Quanto à proposta de classificação para o nível de criticidade dos processos, trata-se de uma pesquisa exploratória quanto aos seus fins, cujo procedimento de elaboração assemelha-se a uma pesquisa de laboratório (por se tratar de uma simulação controlada em ambiente computacional). É importante ressaltar que se trata de uma proposta cujo objetivo principal está

relacionado à sua aplicação final, na gestão deste tipo de processo pelas concessionárias destes empreendimentos.

Para a estruturação deste sistema de classificação, o primeiro passo foi a definição dos fatores de interferência na criticidade. Estes fatores refletem os tipos de questões a serem incorporadas na análise da criticidade dos processos. Assim, além das características dos processos, também se optou pela incorporação ao sistema dos riscos empresariais causados pelos processos e as dificuldades de gestão dos processos, estes dois últimos fatores totalmente relacionados com aspectos empresariais (internos ou externos) das concessionárias de geração de energia hidrelétrica. Após a definição dos fatores, inferiu-se um peso (por meio de porcentagem) para a importância de cada um dos fatores, sob a ótica empresarial.

Convém lembrar que a estruturação do sistema é um exercício de reflexão sobre a problemática dos processos em margens de reservatórios a partir da sua relação com outros aspectos ambientais e sociais envolvidos. Desta forma, visa-se, também, discutir como os envolvidos nesta problemática poderão melhorar a gestão de seus processos (produtivos), a gestão ambiental dos empreendimentos e a racionalização da gestão orçamentária das empresas/instituições envolvidas. Este conceito é adotado como fundamento para a realização de sistema de criticidade que não considera exclusivamente as características dos processos, mas volta-se para a gestão destes como uma questão ambiental a ser tratada pelos diferentes agentes sociais envolvidos com esta questão. Feita esta consideração sobre a função e a forma do sistema, voltemos aos passos para a sua composição.

Estabelecidos os fatores de interferência, partiu-se para uma subdivisão destes em subgrupos dos fatores de interferência. Neste nível de análise as questões a serem consideradas na análise são detalhadas e segmentadas para se facilitar a etapa posterior, de definição dos parâmetros de análise do sistema de classificação da criticidade. Igualmente ao nível de análise anterior, cada um dos subgrupos recebe um peso, em forma de porcentagem, que corresponde à sua importância dentro do seu grupo de fator de interferência.

O último nível é o de parâmetros de ponderação dos fatores de interferência à criticidade dos processos. Estes parâmetros são formados por questionamento pertinentes à análise da criticidade dos processos, cujas respostas encontram-se parametrizadas em classes. As respostas para cada parâmetro podem ser compostas por até 06 (seis) classes, cujas notas variam entre 0 (zero) e 5 (cinco).

Por fim, pensou-se na aplicação do modelo do sistema de classificação, como um teste de sua funcionalidade, utilizando um cadastro de processos da Duke Energy International, Geração Paranapanema para os reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana. No entanto, esta aplicação em teste mostrou-se inviável por dois motivos principais (i) pelo modelo exigir um nível de informações muito superior ao existente no cadastro da empresa e (ii) por se tratar de uma análise que envolve dados sigilosos, cujo uso não foi liberado pela empresa concessionária. Assim, a discussão sobre o modelo de sistema de classificação proposto encerra-se com uma discussão acerca das perspectivas de uso dele pelas concessionárias de energia.

Capítulo 4

Pesquisa & Desenvolvimento no Setor Elétrico Brasileiro

4. Pesquisa & Desenvolvimento no Setor Elétrico Brasileiro

4.1. Contextualização do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor de Energia Elétrica (Aneel)

O tema da pesquisa aplicada dentro de empresas visando à melhoria dos seus processos produtivos e/ou de seus produtos, passando pela qualificação profissional da mão de obra, é tema de uma infinidade de reportagens produzidas por programas de televisão, jornais de grande circulação e de fóruns de discussão sobre a economia brasileira. No entanto, nosso entendimento é o de que se trata de um tema por demais complexo para ser simplificado, como em geral se vê, em pequenos e esporádicos espaços de discussão. Além disso, também se verifica que cada setor da economia possui suas especificidades e quando se discute o tema é necessário que tais particularidades sejam levadas em consideração, sob pena de se cometer generalizações grosseiras e imprecisões analíticas que não possibilitam o avanço da discussão sobre a questão. Para tanto, recorreremos aos diversos estudos realizados especificamente sobre a questão, para contribuir com a evolução desta discussão, sobretudo no que tange ao setor energético e, em especial, o sistema elétrico, brasileiro.

Diante deste entendimento, propomos neste item uma discussão sobre esta questão à luz do setor elétrico brasileiro. Para tanto, como mostraremos adiante, faz-se necessária uma revisão sobre a inserção das pesquisas deste setor ante aos Projetos de P&D em geral. Assim, antes de entrarmos especificamente no caso do setor elétrico brasileiro faremos algumas breves considerações sobre os Projetos de P&D em geral.

4.1.1. Considerações sobre Projetos de P&D em geral

O tema da Pesquisa & Desenvolvimento ou de inovação tecnológica em empresas é um tema muito discutido na área das “engenharias” e, principalmente, em linhas de pesquisa da Economia e da Administração. Estas áreas, como principais responsáveis pela gestão e operação principal das empresas industriais (entre as quais se incluem as de geração de energia) têm desenvolvido diversas teorias sobre o tema, as quais são apresentadas em uma grande quantidade de artigos, dissertações e teses sobre a questão. Nosso intuito com este texto é situar nossa pesquisa neste contexto, a partir da compilação e análise destes materiais, mas sem a pretensão de desenvolver nenhum conceito ou teoria inovadora sobre o tema.

Apesar do desenvolvimento recente deste tema, diversos autores consultados para esta pesquisa (por exemplo, QUINELLO, 2010; MOURA, 2008 e DACORSO, 2000) apontam que o conceito da inovação, e, por consequência, da pesquisa e desenvolvimento nas empresas, remonta aos estudos de Schumpeter, realizados na década de 30 do século passado.

Segundo os autores citados, Schumpeter desenvolveu uma teoria de desenvolvimento econômico que distinguia duas situações distintas de desenvolvimento econômico. Uma primeira situação seria baseada em um fluxo helicoidal, com as atividades repetindo-se indefinidamente, sem sobressaltos. A segunda situação, por sua vez, ocorria em situações de rompimento do movimento, causando transformações geradoras de (aceleração do) desenvolvimento econômico. Por vezes se verifica a indicação de que a primeira situação seria um modelo estático, enquanto o segundo seria um modelo dinâmico; mas não achamos esta terminologia adequada, pois na primeira situação também há movimento econômico. Assim, indicamos que uma classificação mais adequada seria o uso de um modelo evolucionista e de um modelo revolucionário.

MOURA (2008) indica que esta situação de transformações está associada às grandes inovações tecnológicas, as quais são chamadas de “novas combinações” produtivas. Por “novas combinações”, segundo MOURA (2008), Schumpeter estava se referindo a cinco casos: “i) introdução de um novo bem/produto; ii) introdução de um novo método de produção; iii) abertura de um novo mercado; iv) conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou bens semimanufaturados; e v) aparecimento de uma nova estrutura de organização num setor”.

Segundo DACORSO (2000), Schumpeter também apresentou e analisou em sua teoria os fatores geradores destas novas combinações e as dificuldades para a indução de novas combinações. Segundo o autor, as dificuldades para indução das novas combinações teriam três causas principais: a) dificuldade na tomada de decisão; b) psique do homem de negócio; e c) reação do meio ambiente social.

A partir desta teoria, diversos outros estudos foram realizados de modo a aprimorar o conhecimento sobre a questão. Uma linha importante de estudo para a inovação é a sua relação com o planejamento estratégico das empresas, a qual é importante para atacar as três causas principais de dificuldade para a indução de novas combinações, conforme exposto acima. Em relação a isso cabe citar FRADE (2011) que aponta que “a inovação só gera resultados consistentes ao longo do tempo quando seu conceito é plenamente incorporado por todos os envolvidos no processo de geração de valor. A inovação nunca é feita por uma única pessoa operando de forma isolada dentro de um gabinete ou de um laboratório”.

A partir destes conceitos iniciais, pode-se começar a discussão sobre a sequência do processo de transformação da produção, que se inicia com a pesquisa, passa pelo desenvolvimento do processo/produto e resulta em um processo/produto inovador incorporado a determinado mercado ou sistema produtivo. A partir de então, passou-se a modificar o conceito de P&D para o conceito de PDI – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Relatório anual da Organização Mundial de Propriedade Intelectual – WIPO –, vinculada à Organização das Nações Unidas – ONU –, citado em CNI (2014), aponta que em levantamento de 2012, realizado junto aos 20 maiores escritórios de concessão de patentes no mundo, indicam que o Brasil está na 19ª posição em número de patentes válidas. Ou seja, atrás de países com tradição em geração de patentes como Estados Unidos, Japão, Alemanha e França, mas também de todos os países do Bric (Russia, Índia e China) e até de Mônaco.

Reportagens recentes na mídia brasileira (COHEM, 2012; NERY, 2012; INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2014 e CNI, 2014), bem como artigo de POMPERMAYER (2011), discorrem sobre os problemas que acabam por se refletir nesta posição do país no referido ranking, ou seja, na dificuldade do país em chegar ao estágio de transformação para o conceito de PDI. Para tanto, citam a defasagem entre o investimento em P&D realizado no Brasil, em comparação ao número de patentes geradas (transformação da pesquisa e do desenvolvimento em inovação).

Tais reportagens buscam identificar as causas destes problemas, porém o foco dos trabalhos é na relação entre as empresas e as instituições de ensino, mas sem uma análise das diferenças de PDI realizados internamente dentro das indústrias (ou até no quanto a ausência de empresas nacionais de grande porte em setores estratégicos e subordinação das grandes empresas nacionais às tendências e pesquisas internacionais refletem tal condição). Focando nas relações entre empresas e instituições de ensino, estas reportagens identificam desde problemas nos modelos de gestão das instituições de ensino até a falta de cultura de cooperação entre a academia e a indústria. Esta falta de cooperação é mais sensível em pequenas e micro empresas, que, via de regra, possuem menor capacidade de investimentos em projetos próprios de P&D, mas que, ao mesmo tempo, têm menos condições de entender e buscar mecanismos de colaboração tecnológica com a academia. Além disto, considerando a cooperação entre empresas e instituições de ensino, pode-se deduzir que as dificuldades de transformação das pesquisas em projetos de inovação não estão diretamente relacionadas aos recursos financeiros. Dados da Fapesp – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – indicam que atualmente cerca de 6% dos recursos empregados em pesquisas pelas três universidades públicas estaduais – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Estadual Paulista (Unesp) e Universidade de São Paulo (USP) – originam-se de contratos realizados com o empresas privadas.

Segundo INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (2014) este percentual de participação dos recursos privados é semelhante, por exemplo, ao encontrado nos Estados Unidos, ainda que o montante em termos absolutos seja bastante diferente.

Por fim, convém citar que outras linhas secundárias de estudo da questão foram abertas, por exemplo, para se analisar a relação entre investimentos em P&D versus o posicionamento de liderança das empresas investidoras em seus mercados, conforme mostra DACORSO (2000), em sua análise sobre os trabalhos de ZANGWILL publicados em 1993. Diversos estudos também correlacionaram os investimentos em P&D em cada país, por setor produtivo, em relação ao porte das empresas, ou às suas formas de administração.

Entende-se que este texto de contextualização é importante, pois a partir deste contexto geral poderá ser mais fácil identificar-se as especificidades do setor de elétrico brasileiro. Antes, porém, far-se-á uma um breve histórico dos projetos de P&D deste setor, para, posteriormente, se discutir as especificidades e a situação atual dos seus projetos.

4.1.2. Histórico dos Projetos de P&D do setor elétrico brasileiro

Primeiramente, cumpre lembrar que os projetos de P&D do setor elétrico estão inseridos no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, gerido pela Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica. Este Programa, por sua vez é resultado da Lei Federal nº 9.991/2000, a qual determina que empresas que compõem o setor elétrico nacional devem fazer investimentos em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) proporcionais às suas receitas, visando seu desenvolvimento para o enfrentamento com os desafios tecnológicos e de mercado à que se submetem.

Como nos lembra IPEA (2012), a promulgação desta Lei, bem como a organização do próprio programa de P&D da Aneel, insere-se em um processo de desenvolvimento das políticas de ciência, tecnologia e inovação – CT&I – iniciado na década de 1990 no Brasil, as quais desenvolveram “mecanismos de fomento explicitamente dirigidos ao setor produtivo”.

IPEA (2012) cita ainda que, neste processo, a inovação passou a ser mais valorizada nas atividades de CT&I, e lembra que “em 1999, foram criados os fundos setoriais de ciência e tecnologia e, em meados da década de 2000, foi promulgada a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004)”;

em meados daquela década, foi aperfeiçoada a legislação relativa aos incentivos fiscais para a inovação, que passaram a compor o terceiro capítulo da Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005), e intensificaram-se os programas e as chamadas públicas para apoio a empresas pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) (IPEA, 2012, p.3).

É neste contexto histórico que o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica da Aneel está inserido. Porém, em que pese esta organização recente, que, diga-se, ampliou o escopo e o campo de atuação das pesquisas de P&D do setor, bem como ampliou e otimizou a gestão dos recursos disponíveis, a história dos projetos de P&D do setor elétrico são anteriores ao próprio programa.

CEPEL (2014) lembra que as pesquisas em iluminação elétrica iniciaram no final do século XIX, mais precisamente em 1879, com a criação da Edison Electric Light Company. Ressalta também que “a essa época, configuram-se os dois principais ramos da indústria de eletricidade - o produtor de equipamentos elétricos e o produtor de energia elétrica”, que na origem foram ligados. Desde então se desenvolveram inúmeros fornecedores estrangeiros de equipamentos elétricos e de produção de energia elétrica, os quais ao longo dos anos foram agrupando-se em grandes conglomerados empresariais.

Com o crescimento do setor elétrico nacional,

[...] o aproveitamento de fontes energéticas localizadas em regiões cada vez mais distantes das áreas de consumo, a complexidade da operação e do controle de redes de transmissão de energia elétrica – que experimentavam um processo crescente de interligação - e a necessidade de transmitir e distribuir grandes blocos de energia em zonas de elevada concentração urbana ou industrial provocaram um interesse maior, tanto das concessionárias quanto dos fabricantes de equipamentos na procura de alternativas tecnológicas próprias. (CEPEL, 2014).

Assim, com o intuito inicial de solucionar problemas de manutenção de equipamentos e de instrumentos de medição, mas visando “de um lado, tentar diminuir a carga exercida pelo pagamento de royalties e patentes no balanço de pagamentos e, de outro, dotar as empresas de energia elétrica de um centro de pesquisas tecnológicas” (CEPEL, 2014), em 1974 é criado dentro da estrutura da Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras –, o CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica.

Ainda que tardio em relação ao mercado internacional, a criação do CEPEL é o início do processo de internalização de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas concessionárias de energia brasileiras, pois até então estes projetos estavam restritos a algumas universidades, notadamente em São Paulo (SP), no Rio de Janeiro (RJ) e em Itajubá (MG).

4.1.3. Características específicas do setor elétrico

A principal especificidade do setor elétrico brasileiro em relação a outros setores, que, por sua vez, se reflete nos Projetos de P&D, é o fato de tratar-se de um setor altamente regulamentado, em contrapartida a setores intensivos em projetos de PDI, como o automobilístico, o farmacêutico e o de informática, que são concorrenciais. POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011) identificam, ainda, que se trata de um setor com baixa concorrência, no qual os seus agentes têm baixo risco quanto à cobertura dos custos pelas receitas previstas, em que existe uma compartimentação do mercado (geração, transmissão e distribuição) no qual os agentes que atuam exclusivamente em um segmento não tem interesse em atuar em outro, e que pode ser considerado um setor tecnologicamente maduro, onde prevalecem inovações incrementais sobre as inovações radicais.

Em decorrência da forte regulamentação do setor verificamos, ainda, o surgimento de outras questões específicas como a existência de normativas sobre como devem ser conduzidos os projetos, a participação compulsória das empresas do setor, a definição dos percentuais de faturamento que as empresas devem investir em projetos de P&D, a existência de forte cooperação no desenvolvimento de projetos de P&D entre as empresas do setor e a existência de projetos setoriais, que envolvem várias empresas para o desenvolvimento de soluções para o setor todo e não exclusivamente para as empresas participantes.

DACORSO (2000, p.1), tendo como referência CLARK & WHEELWRIGHT (1993), cita que

[...] a importância da inovação é justificada pela ação de três forças críticas: a intensa competição internacional, a sofisticação do mercado e a rápida mudança de tecnologias. Qualquer cadeia produtiva, desde as tecnicamente mais jovens e dinâmicas até as mais maduras e com ciclos de vida longos, sofrem a ação destas três forças.

Uma análise mais detalhada destas forças sobre a perspectiva do setor elétrico brasileiro aponta:

- Intensa competição internacional: não se trata de um setor com competição internacional, uma vez que o seu produto não é exportável ou importável. A única pressão internacional é relacionada aos preços, pensando-se que se trata de um insumo de grande importância para determinados setores produtivos, os quais podem fazer a pressão para que haja equivalência ou que os preços sejam menores do que os praticados no mercado internacional.

- Sofisticação do mercado: neste aspecto há uma grande influência sobre a inovação. O setor elétrico brasileiro é um mercado muito sofisticado desde os aspectos regulatórios e a organização do setor, até os procedimentos de contabilidade da venda de energia. Essa sofisticação pode ser percebida também nos projetos de P&D das empresas do setor (consulta ao sitio eletrônico da P&D da Duke Energy aponta que cerca de 55% dos projetos desta empresa são relacionados aos aspectos regulatórios, de risco e comercial da atividade de geração, contra cerca de 15% de projetos relativos aos aspectos operacionais).
- Rápida mudança de tecnologias: neste aspecto também não se verifica um dinamismo no setor em questão. Trata-se de um setor com ciclos de vida longos para os produtos. O conceito primordial da produção de geração de energia hidrelétrica (transformação da energia potencial da água, em energia mecânica com uso de turbinas e da energia mecânica para a energia elétrica por meio de geradores), por exemplo, é o mesmo desde o início do setor. As mudanças tecnológicas no setor ocorrem majoritariamente no campo das mudanças incrementais.

Adiante, no próximo item apresentaremos um pouco mais sobre como tais especificidades se manifestam nas condições atuais dos Projetos de P&D do setor elétrico.

4.1.4. Situação atual dos Projetos de P&D do setor elétrico

Desde a instituição do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica pela Lei Federal nº 9.991/2000, a Aneel tem promovido uma série de alterações nele para aumentar a capacidade e agilidade de execução de Projetos pelas empresas do setor e para fomentar que tais projetos resultem em mais produtos e processos inovadores. Este segundo ponto inclusive foi o mote das palestras iniciais do último Citenel - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, realizado pela Aneel, em 2013, no Rio de Janeiro.

POMPERMAYER (2011) cita algumas das mudanças recentes promovidas pela Aneel em seu programa, com destaque para:

- Criação da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (SPE), instituída em março de 2007 por meio da Resolução Normativa nº 249/2007.

- Publicação da Resolução Normativa nº 318, de 13 de maio de 2008, que aprova o Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica.
- Extinção dos ciclos anuais de investimento (transformou o processo em fluxo contínuo, possibilitando o cadastro dos projetos e/ou sua submissão à avaliação da ANEEL em qualquer período do ano).
- Ênfase na avaliação de resultados (tornou a avaliação inicial facultativa - antes era obrigatória –, permitindo que o início da execução de um projeto dependa apenas da avaliação da empresa proponente e de seus parceiros e possibilitando maior liberdade para ajustes no cronograma, de recursos necessários e no escopo das atividades do projeto).
- Inclusão das etapas finais da cadeia da inovação (lote pioneiro e inserção no mercado) nos projetos realizados com recursos do programa, inclusive com a priorização da etapa denominada cabeça-de-série.
- Definição de temas prioritários e estratégicos de modo a direcionar os recursos para projetos de grande relevância e/ou complexidade, consequentemente reduzindo a dispersão dos investimentos realizados.

A considerarmos somente o montante de recursos investidos verifica-se preliminarmente um êxito em tais mudanças. No período entre 2000 e 2007 (período de vigência do modelo antigo) foram realizados 2.400 projetos, com um total de investimentos de R\$ 1,4 bilhões. Em que pese as dificuldades de obtenção de dados sobre os gastos realizados ano a ano neste novo modelo (uma vez que os gastos só são efetivamente verificados ao final do projeto), desde 2008 verificou-se um total de 2.112 projetos cadastrados, cujos investimentos comprometidos somam cerca de R\$ 5,8 bilhões. A partir de uma análise grosseira destes dados verifica-se que houve i) redução da dispersão dos investimentos, ii) realização de investimentos em projetos com maior montante de recursos (e possivelmente maior relevância), e iii) maior agilidade para a execução dos projetos.

Porém, se continuarmos a análise de base de dados disponível no sítio eletrônico da Aneel (<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=75&idPerfil=6>>), especificamente a tabela de Projetos de P&D Propostos pelas Empresas de Energia Elétrica (Res. Normativa Nº 504/2012), verifica-se que somente cerca de 37% dos projetos cadastrados abriram mão da realização da submissão do projeto para avaliação inicial da Aneel. Isso se deve possivelmente ao fato de que, se esta avaliação não garante a aprovação final do projeto, ao menos permite uma tomada de decisão mais confortável pelos gestores das empresas proponentes.

Inicialmente prevíamos fazer uma avaliação geográfica sobre as instituições proponentes e executoras, de modo a identificarmos eventuais concentrações dos centros de pesquisa e como se dá a busca de entidades executoras pelas entidades proponentes.

No entanto, a base de dados disponível não nos permite essa análise e por não se tratar do foco principal desta pesquisa, optamos por não despendar energia na obtenção, ou até, talvez, na organização deste material. No entanto, o trabalho de POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011) permite identificar os principais agentes envolvidos no Programa de P&D da Aneel.

A análise dos Quadros 4.1.4-1 e 4.1.4-2, apresentados adiante, nos permite algumas considerações:

- Há um número maior de distribuidoras no grupo de empresas investidoras em projetos de P&D, seguidas por empresas de geração.
- A maior concentração de investidores e de instituições de ciência e tecnologia é no Estado de São Paulo, embora a concentração não ultrapasse os 35% em nenhum dos casos, o que denota uma forte desconcentração quanto à localização dos centros de decisão e pesquisa.
- O Lactec, empresa de direito privado, é, com folga, o principal captador de recursos para execução de projetos de P&D do setor elétrico. Portanto, é importante conhecer sua forma de funcionamento para caracterizar como as empresas do setor elétrico estruturam a execução dos projetos.
- O Estado de Santa Catarina é o único estado que possui uma das principais instituições de ciência e tecnologia citadas que não possui empresa com sede no estado, entre os maiores investidores em Projeto de P&D.
- Os estados de Goiás e Bahia, embora possuam empresas na lista dos maiores investidores em Projetos de P&D não possuem instituições de ciência e tecnologia citadas listadas, o que indica fragilidade de suas instituições e perda de oportunidades de investimento nos estados.

Quadro 4.1.4-1 – Maiores investidores em Projetos de P&D do setor elétrico brasileiro

Sigla	Nome da empresa	Gasto total em projetos (R\$ mil)	Número de projetos	Natureza do capital	Localização da área de P&D
Furnas	Furnas Centrais Elétricas S/A	164.437	187	Estatal	Rio de Janeiro
Eletropaulo	Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A	128.160	103	Privada	São Paulo
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	85.272	135	Estatal	Pernambuco
LIGHT	Light Serviços de Eletricidade S/A	68.907	140	Privada	Rio de Janeiro
Eletronorte	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A	66.888	130	Estatal	Distrito Federal
CEMIG-D	CEMIG Distribuição S/A	62.945	81	Estatal	Minas Gerais
Copel-DIS	Copel Distribuição S/A	49.212	67	Estatal	Paraná
CESP	Companhia Energética de São Paulo	45.169	35	Estatal	São Paulo
Bandeirante	Bandeirante Energia S/A	41.655	53	Privada	São Paulo
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais	40.655	77	Estatal	Minas Gerais
ELEKTRO	Elektro Eletricidade e Serviços S/A	40.401	47	Privada	São Paulo
CPFL Paulista	Companhia Paulista de Força e Luz	37.160	41	Privada	São Paulo
CEMIG-GT	CEMIG Geração e Transmissão S/A	34.386	42	Estatal	Minas Gerais
Coelba	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia	31.686	66	Privada	Bahia
Ampla	Ampla Energia e Serviços S/A	28.892	63	Privada	Rio de Janeiro
Copel-GER	Copel Geração S/A	26.054	17	Estatal	Paraná
Celpe	Companhia Energética de Pernambuco	24.476	47	Privada	Pernambuco
Emae	Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A	23.651	2	Estatal	São Paulo
CELG	Companhia Energética de Goiás	23.414	23	Estatal	Goiás
CPFL Piratininga	Companhia Piratininga de Força e Luz	22.363	22	Privada	São Paulo

Fonte: Adaptado de POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011)

Quadro 4.1.4-2 – Instituições de Ciência e Tecnologia que atuaram em projetos com maior volume de gasto total

Sigla	Nome da empresa	Gasto total em projetos (R\$ mil)	Número de projetos	Natureza do capital	Localização da sede
Lactec	Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento	160.028	230	Privada	Paraná
Fusp	Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo	73.164	116	Estatal	São Paulo
CPQD	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações	57.444	69	Privada	São Paulo
Coppetec	Fundação COPPETEC	55.877	67	Privada	Rio de Janeiro
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica	53.430	55	Estatal	Rio de Janeiro
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais	50.080	90	Estatal	Minas Gerais
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas	46.916	64	Estatal	São Paulo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina	40.685	90	Estatal	Santa Catarina
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco	40.251	74	Estatal	Pernambuco
Fupai	Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria	37.802	72	Privada	Minas Gerais

Fonte: Adaptado de POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011)

Embora o trabalho de POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011) cite também as cinco empresas com maior montante de recursos captados para projetos, optamos por não apresentar estes dados, por não serem significativos no volume total. IPEA (2012) aponta que das 623 entidades que participaram do Programa de P&D da Aneel no período entre 2000 e 2008, apenas 27 são empresas tipicamente relacionadas ao setor elétrico. Este dado demonstra um pouco a dificuldade de incorporar o conhecimento produzido nos projetos de P&D nas empresas e isto terá reflexo direto na capacidade de inovação do setor e na geração de patentes, o que aumentaria a remuneração dos envolvidos nestes projetos.

IPEA (2012) cita também que foram criados no período estudado um total de 23 mil postos de trabalho, que foram ocupados (sem repetições) por um pouco menos de 9 mil indivíduos, sendo cerca de 2,5 mil doutores, a maioria na condição de pesquisador (poderiam atuar também na condição de gerentes ou coordenadores dos projetos).

IPEA (2012, p. 13) conclui que as análises realizadas em seus estudos, realizados por meio de contratação pela Aneel,

[...] revelam que o programa de P&D regulado pela Aneel movimentou uma quantidade considerável de recursos, maior do que a aplicada no mesmo período pelo fundo setorial do setor elétrico (CT-Energ). A quantidade de pesquisadores envolvidos também é relevante, em número semelhante ao envolvido pela Petrobras em sua rede de pesquisa. Entretanto, são apontadas possibilidades de melhorias no programa, tendo em vista a ainda baixa participação dos agentes na execução dos projetos, o caráter incremental das inovações pretendidas e a baixa participação de empresas fornecedoras.

Por fim, POMPERMAYER, DE NEGRI & CAVALCANTE (2011, p.119) apontam a seguinte situação:

Conclui-se que há um alinhamento apenas parcial às estratégias das empresas, dado que a maioria dos projetos é voltada para resolver problemas operacionais dos agentes, mas também é possível identificar projetos com viés bastante científico. Observa-se, ainda, que quanto mais alinhados às estratégias dos agentes, mais os projetos se aproximam de atividades rotineiras de engenharia que prescindiriam de incentivo – descaracterizando a atividade de P&D. Há, no entanto, indícios de criação de uma cultura de inovação. Os agentes do setor elétrico envolvidos no programa criaram departamentos de P&D em suas estruturas, com processos razoavelmente estruturados para a seleção dos projetos. No entanto, ainda se envolvem pouco na sua execução, utilizando instituições de pesquisa e empresas parceiras como laboratórios de P&D.

4.2. Os temas do meio físico e os projetos de P&D

Conforme exposto acima, o setor elétrico brasileiro conta com um expressivo programa de pesquisa e desenvolvimento, o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, gerido pela Aneel. Parte dos recursos disponíveis neste programa está voltada para a gestão dos reservatórios, inclusive no que se refere à gestão ambiental. Desta forma, coloca-se para os pesquisadores de áreas do conhecimento como a geomorfologia, a climatologia e a geologia de engenharia, uma grande possibilidade de desenvolvimento de pesquisas voltadas para aspectos destas áreas de conhecimento, relacionadas aos empreendimentos hidrelétricos.

A revisão bibliográfica realizada nesta pesquisa e a consulta ao material disponível ao público sobre o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica indicaram a existência de poucas pesquisas cujos objetivos estejam relacionados às temáticas do meio físico. Abaixo listamos os Projetos de P&D relacionados a esta temática que foram identificados ao longo desta pesquisa:

- Projeto: *Estudo de Técnicas de Bioengenharia de Solos para Controle de Erosão em Margens de Reservatórios*
 - Proponente: Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig
 - Executora: Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – Fundep
- Projeto: *Desenvolvimento de técnicas para conservação do solo e recuperação de áreas degradadas do entorno de reservatórios, estudo de caso para a UHE Tombos, MG*
 - Proponente: Ampla Energia e Serviços S.A.
 - Executora: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa Solos
- Projeto: *Estudo de alternativas de proteção para o controle de erosão nas margens do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera)*
 - Proponente: Companhia Energética de São Paulo – Cesp
 - Executora: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT
- Projeto: *Evolução temporal e espacial dos processos sedimentológicos e morfológicos na região de influência direta dos reservatórios de usinas hidrelétricas*
 - Proponente: Companhia Energética de São Paulo – Cesp
 - Executora: Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos – Coppetec

Porém, em que pese as citações a estes projetos, não necessariamente os mesmos foram executados e em alguns casos não se verificou a publicação dos resultados além dos próprios relatórios internos das empresas e instituições de pesquisa participantes. Já para o projeto desenvolvido entre a Cesp e o IPT, citado acima, verificou-se a existência de publicações sobre os resultados do projeto: HIROSE (2013) e AZEVEDO & DUARTE (2013).

Assim, neste item pretende-se, a partir da síntese de impactos no meio físico causados por usinas hidrelétricas e da proposta de geoindicadores para análise de alterações no meio físico causadas por este tipo de empreendimento, ambas discutidas em RUBIO (2008), fazer um exercício de prospecção de temas para futuras pesquisas, que possuam relevância tanto para o setor elétrico brasileiro, como para o desenvolvimento das áreas de conhecimento envolvidas. Adiante indicamos algumas possibilidades/necessidades de estudos nos campos do conhecimento citados acima:

- ✓ *Estudos sobre a eficiência dos descarregadores de fundo na manutenção dos sistemas hídricos de jusante* – Os descarregadores de fundo são mecanismos instalados nas barragens, que possibilitam o transporte de sedimentos de montante para jusante das mesmas. No meio técnico há estudos sobre a eficiência destes mecanismos, porém voltados à manutenção/ampliação da vida útil dos empreendimentos. Além das controvérsias em relação à eficiência dos mecanismos, verifica-se uma ausência de estudos que, a partir dos estudos de eficiência dos mecanismos no que se refere ao transporte de sedimentos de montante para jusante, possam avaliar se tais mecanismos podem contribuir para os sistemas hídricos de jusante, incluindo-se não as vertentes marginais dos sistemas fluviais, mas também nos sistemas estuarinos. Neste sentido, é importante se discutir o ritmo e a intensidade de funcionamento destes mecanismos, não só do ponto de vista da manutenção dos empreendimentos hidrelétricos, mas também de todo o sistema hídrico em que o mesmo está inserido. A título de exemplo, convém citar o recente caso da UHE Belo Monte, para a qual um dos principais impactos negativos, citados pelos opositores a sua implantação, é a alteração dos meandros da região de jusante denominada Volta Grande do Xingu. O desenvolvimento de estudos com esta temática poderia contribuir com discussões sobre situações específicas como, por exemplo, esta da UHE Belo Monte e do rio Xingu.
- ✓ *Estudos de avaliação do tempo na depleção dos reservatórios* – Conforme exposto em outras partes deste trabalho, os reservatórios podem ser divididos, quanto ao seu sistema de operação, entre reservatórios de acumulação e reservatórios a fio d'água. Os reservatórios de acumulação apresentam grandes variações no nível

d'água durante um ciclo hidrológico, enquanto os reservatórios a fio d'água apresentam menor variação, porém, com uma sazonalidade diária. Nesta pesquisa que estamos desenvolvendo tentar-se-á avaliar o impacto destas variações no nível d'água dos reservatórios no que tange os processos erosivos. No entanto este processo de redução do nível d'água, chamado deplecionamento do reservatório, causa efeitos sobre outros aspectos do meio físico, que poderão até ser discutidos nesta pesquisa, porém, sem grande aprofundamento. O que se coloca aqui é a necessidade de estudos mais amplos sobre a ação do deplecionamento ao longo do tempo, no sentido do ritmo, para avaliações mais amplas sobre os seus efeitos nos sistemas naturais afetados pelos reservatórios. Pode-se pensar, por exemplo, na ação do deplecionamento sobre as áreas de remanso.

- ✓ *Estudos de erosões a jusante de reservatórios* – Já pudemos discorrer em outras partes deste trabalho, como por exemplo, no item 1.3. *Justificativa*, que, em que pese a importância da questão dos processos denudacionais nas margens dos reservatórios na gestão ambiental dos mesmos, há poucos estudos sobre tais processos. Estes estudos são ainda mais restritos quando se pensa em processos denudacionais fluviais à jusante de reservatórios. Os sistemas fluviais possuem uma dinâmica intimamente relacionada aos padrões de vazões observadas ao longo de um tempo e os reservatórios – mesmos os que operam à fio d'água, ainda que estes em menor intensidade – alteram estes padrões de vazões. Logo, infere-se que há uma relação direta entre a implantação de empreendimentos hidrelétricos e a alteração dos processos denudacionais fluviais à jusante. Porém, uma breve pesquisa bibliográfica indicará a quase que total ausência de estudos sobre este assunto, pelo menos de estudos em língua portuguesa e relativos a sistemas existentes no meio tropical úmido.
- ✓ *Estudos para modelagem de relações entre padrões de produção de sedimentos e padrões de assoreamento dos reservatórios* – Em recente viagem com os professores Drs. Antonio Manoel dos Santos Oliveira, João Osvaldo Rodrigues Nunes e José Tadeu Garcia Tommaselli, expusemos a eles as possibilidade de desenvolvimento do conhecimento por meio dos projetos de P&D do setor elétrico, inclusive relatando algumas propostas apresentadas aqui. Fomos discorrendo sobre os temas de interesse de cada um e sobre as possibilidades aventadas no grupo, até que se chegou a um entendimento que seria interessante avaliar com maior profundidade como a produção de sedimentos em uma bacia de contribuição pode afetar os processos de assoreamento nos reservatórios. Concluiu-se que seria possível tentar modelar, a partir das características das áreas de produção dos sedimentos e dos sistemas de transporte de sedimentos, isolinhas de contribuição

de sedimentos para o assoreamento do reservatório. Seria uma forma de identificar quais áreas e a que distâncias estas áreas produzem mais sedimentos que afetam o reservatório e quais áreas ou distâncias, embora produtoras de sedimentos, apresentam menor relação com o assoreamento das partes dos reservatórios. Enfim, trata-se de uma pesquisa controversa e cujos resultados poderiam não atender aos seus objetivos iniciais, mas que demonstra a necessidade dos gestores dos reservatórios possuírem ferramentas objetivas sobre onde priorizar, no entorno dos reservatórios, suas ações de educação ambiental e implantação de mecanismos de conservação dos solos.

Conforme pode ser observado nos temas acima, existe a necessidade de pesquisas que se iniciem ainda na fase de implantação dos empreendimentos. No entanto, como nesta etapa dos empreendimentos ainda não há participação dos mesmos no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, seria importante que houvesse uma proposta de adequação do programa, no sentido de permitir a antecipação dos recursos a serem advindos da contribuição das empresas de geração. Em que pese o fato das contas dos recursos serem individualizadas por empresa e por vezes (principalmente no novo modelo do setor elétrico) um empreendimento ser pertencente a uma sociedade de propósito específico – portanto, sem aportes de outros empreendimentos –, a antecipação de recursos poderia ser gerenciada pela Aneel, de modo a se utilizar os recursos destinados por outras empresas, mas que não são gastos efetivamente em P&D dentro dos prazos legais. Ou seja, uma vez que há recursos destinados aos projetos de P&D, mas muitos destes recursos não são usados nos prazos legais, o montante “parado” poderia ser destinado à antecipação para pesquisas e desenvolvimento de projetos em empreendimentos em implantação.

Convém lembrar, ainda, que as possibilidades de uso deste programa de pesquisa e desenvolvimento não se restringem somente à pesquisa sobre temas pouco estudados relacionados à gestão dos reservatórios de hidrelétricas, podendo ser aplicado, também, em pesquisas que envolvam o uso de novas tecnologias aplicadas ao estudo e tratamento de questões já estudadas pelo setor elétrico.

Por fim, cabe citar que como exercício de prospecção as propostas aqui apresentadas representam um pequeno espectro do rol de possibilidades de pesquisa existentes. E que o objetivo principal deste exercício é iniciar uma discussão sobre as possibilidades de projetos, para que desta discussão surjam novas propostas.

4.3. Projeto de P&D (Aneel) no PD-0387-0311/2010: Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos...

O Projeto de P&D, desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica gerido pela Aneel, sob o nº. PD-0387-0311/2010, intitulado *“Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos: Métodos de avaliação dos processos, uso de geotecnologias para seu monitoramento e experimentação de técnicas de controle”*, teve como proponente a Duke Energy International, Geração Paranapanema e como entidades executoras, além da própria Duke Energy, a UEM – Universidade Estadual de Maringá e a Unesp-PP – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (Campus de Presidente Prudente).

4.3.1. Histórico de formulação do Projeto

O referido projeto iniciou-se a partir de uma demanda da empresa geradora de energia (a Duke Energy) referente à necessidade de atuação sobre os processos erosivos marginais em seus reservatórios. Por muitos anos a empresa se baseou numa premissa de que os processos se estabilizariam a partir de um determinado grau de desenvolvimento e a partir deste momento se estabeleceria uma nova condição ambiental na área de ocorrência do processo, não sendo necessária, portanto, uma intervenção direta sobre o mesmo.

Convém apontar que esta premissa foi e continua sendo adotada não só por esta empresa, mas por várias outras empresas do setor elétrico brasileiro. A assunção desta premissa como orientadora das ações de gestão ambiental das empresas decorre da grande ausência de informação técnica e métodos de trabalho para o tratamento da questão. Porém, com o passar do tempo esta premissa se mostrou insuficiente, posto que, primeiro, não havia uma uniformidade do comportamento dos processos até a sua estabilização, a qual pudesse pautar as ações da empresa; e, segundo, mesmo apesar da estabilização dos processos em determinadas condições, isso não evita ou diminui os danos causados sobre suas áreas de concessão (onde, por exemplo, se implantou projetos de reflorestamento de matas ciliares) ou nas áreas de terceiros (onde, em um grande número de casos, afeta áreas produtivas de alto valor econômico).

Estes indicadores de invalidação desta premissa pelos agentes do setor se deram de maneira relativamente concomitante e surgiram em um momento em que as empresas foram obrigadas a atender às demandas surgidas dentro dos processos de licenciamento ambiental e em

processos judiciais, sejam os movidos por proprietários vizinhos, que estavam sendo afetados pelos processos erosivos, seja por aqueles movidos por agentes das diferentes instâncias dos Ministérios Públicos.

Em 2009, a Duke Energy, por conta de outro projeto desenvolvido junto à UEM, verificou a possibilidade de utilização de um Sistema Scanner 3D Laser System para o monitoramento destes processos erosivos marginais. Esta possibilidade deu início a uma proposta de projeto de P&D, e a ela somou-se o interesse de avaliar o comportamento de técnicas de bioengenharia no controle destes processos. Nesta etapa foram realizadas conversas entre as instituições, porém não houve avanços na formalização da proposta para o projeto e de sua submissão à Aneel.

Em 2010 houve uma reformulação do projeto, a partir do momento em que assumimos sua gerência. Tal reformulação decorreu do novo entendimento de que, além do monitoramento e do controle dos processos erosivos marginais, também era importante, ou talvez até mais importante, conhecer a gênese e o comportamento dos processos erosivos. Assim, novos objetivos foram incorporados ao projeto, tais como a verificação das condicionantes envolvidas na gênese e no desenvolvimento dos processos de erosão marginal, avaliando o peso de cada uma delas na dinâmica dos processos; a avaliação dos processos de operação de reservatórios (reservatórios a fio d'água e de acumulação) como condicionantes da dinâmica dos processos de erosão marginal e o estabelecimento de uma metodologia de classificação dos níveis de criticidade dos processos erosivos em reservatórios de geração hidroelétrica, com vistas ao estabelecimento de prioridades de atuação pelas concessionárias de geração. Esta pesquisa de doutorado que aqui se apresenta objetiva responder parte significativa destes objetivos do projeto de P&D, posto que a mesma se insere dentro deste projeto maior.

Para viabilizar estas novas demandas do projeto, outros pesquisadores foram convidados a integrar a sua equipe. Foram convidados professores da Unesp-PP e consultores com conhecimento em processos geomorfológicos. Após a discussão das propostas de reformulação realizada em diversas reuniões com os integrantes do projeto, confeccionaram-se os documentos do projeto e realizou-se a submissão ao Grupo Coordenador de Estratégias de P&D da Duke Energy, em 22 de dezembro de 2010. Sendo aprovado nesta instância, o projeto foi submetido à Aneel, em 29 de dezembro de 2010.

Após a aprovação iniciou-se a etapa de assinatura dos contratos para execução dos projetos. Em razão de outros compromissos profissionais, os pesquisadores da UEM se retiraram do Projeto e novos pesquisadores da Unesp-PP, desta vez da área de Engenharia Cartográfica foram incorporados. Ao final, o Projeto foi delimitado com um prazo de execução de 42 meses,

possivelmente prorrogáveis por mais 06 meses, contados a partir de junho de 2012 e seu orçamento é de cerca de R\$ 1,8 milhões. Parte significativa deste orçamento, cerca de 47%, será gasto com equipamentos e materiais permanentes. Tal volume de gastos se justifica pelo fato de que uma das vertentes deste Projeto de P&D é avaliar novas tecnologias para o monitoramento da evolução destes processos geomorfológicos.

Outra rubrica de gastos importante para este projeto é a de gastos com recursos humanos, cerca de 25% do total do projeto, descontados os gastos de pessoal da Duke Energy envolvido. Tal gasto justifica-se pelo corpo técnico que compõe o projeto e que terá a função, principalmente, de estruturar as metodologias de avaliação, classificação e monitoramento dos processos geomorfológicos marginais. Trata-se de um trabalho de grande magnitude e com dificuldades variadas, desde a escassez de referencial teórico para a composição destas propostas e estudos, até a necessidade desenvolvimento de procedimentos técnicos para viabilização das tecnologias de mapeamento das erosões.

4.3.2. Metodologia

O Projeto de P&D em questão é composto por quatro linhas de ação, que podem ser consideradas seus pilares estruturais de sustentação metodológica. Abaixo segue a Figura 4.3-1, que representa estas linhas de atuação, com um elemento que permeia todas as linhas, indicando que não há hierarquização temporal ou de importância entre as linhas ao longo do projeto.

Figura 4.3-1 – Linhas de ação do Projeto de P&D n° PD-0387-0311/2010

Abaixo segue a descrição dos procedimentos metodológicos a serem adotados ao longo do Projeto de P&D (Aneel) n° PD-0387-0311/2010, a partir de materiais elaborados pela Gerência do

projeto, visando sua aprovação junto à Aneel. Desde a definição dos procedimentos descritos abaixo, houve alterações e aprimoramentos nos procedimentos, no entanto, posto que estes não são significativos no contexto geral do projeto, optou-se por reproduzir aqui o material produzido àquela época. Os procedimentos abaixo estão divididos por linha de ação do projeto.

i) Conhecimento das Erosões Marginais

Esta linha de atuação do Projeto é a que possui maior interface com esta pesquisa, a qual é responsável pela produção de resultados da parte das atividades previstas. Abaixo segue a lista de atividades previstas para esta linha de atuação:

i.a: avaliação das variáveis a serem consideradas;

i.b: montagem de um banco de dados com inteligência espacial;

i.c: caracterização da evolução dos processos;

i.d: classificação dos processos;

i.e: definição dos níveis de criticidade.

No “Capítulo 3. Metodologia” apresentamos os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa e a relação destes com os seus objetivos. Como pôde ser observado, esta pesquisa estabeleceu uma série de condicionantes ambientais (com seus indicadores e parâmetros) para avaliação ao longo da pesquisa. O resultado desta seleção está apresentado no Quadro 3.2.4-1. São estes elementos e os resultados de suas análises que foram incorporados ao Projeto de P&D no item *i.a: avaliação das variáveis a serem consideradas*.

Em relação ao item *i.c: caracterização da evolução dos processos*, pode-se afirmar que existe um processo de retroalimentação entre o Projeto de P&D e esta pesquisa. Da mesma forma que a pesquisa utiliza os dados do Projeto de P&D, foi por meio dela que se verificou uma série de dificuldades de uso destes resultados, que levaram à confecção de mapeamentos a partir das imagens de satélite, gerando novos dados sobre a evolução dos processos, os quais serão incorporados nas análises do projeto de P&D. Pode-se dizer que esta pesquisa está sendo importante para a definição dos procedimentos metodológicos de levantamento de dados e na análise da evolução das erosões, neste primeiro momento. No entanto, como o Projeto de P&D apresenta duração maior e, portanto, pode somar mais dados às análises aqui apresentadas, acredita-se que num segundo momento o Projeto de P&D apresentará novas interpretações das informações aqui apresentadas.

Por fim, cabe apontar que os itens *i.d: classificação dos processos* e *i.e: definição dos níveis de criticidade* serão atendidos por meio dos sistemas de classificação propostos nesta pesquisa.

Os resultados desta pesquisa serão incorporados ao Projeto de P&D e discutidos com a equipe responsável por ele para validação, total ou parcial, das propostas aqui apresentadas e/ou a revisão dos sistemas com a inclusão e adoção de novos critérios e pesos.

ii) Monitoramento das Erosões Seleccionadas

Nesta linha de atuação foram (e estão sendo) realizadas as seguintes atividades:

ii.a: definição dos critérios e seleção das áreas;

ii.b: formalização dos experimentos junto aos proprietários;

ii.c: realização de levantamento topográfico das áreas de implantação de experimentos;

ii.d: definição das técnicas de monitoramento e instalação de equipamentos;

ii.e: avaliação dos métodos utilizados.

Sem dúvidas, para esta linha de ação as atividades mais importantes encontram-se na definição das técnicas de monitoramento e instalação de equipamentos e na avaliação dos métodos utilizados.

A definição das técnicas de monitoramento corresponde à definição dos equipamentos e procedimentos a serem adotados no monitoramento da evolução das erosões e das condicionantes que atuam sobre elas. No que se refere ao monitoramento da evolução das erosões, tem-se como objetivo para o final do Projeto a realização de uma análise sobre a qualidade dos resultados, a facilidade de uso dos métodos, os recursos auxiliares necessários para utilização de cada método, os custos de implantação e utilização dos métodos de monitoramento e as vantagens e desvantagens na relação entre eles, no que se refere ao monitoramento da evolução das erosões. Dentre estas técnicas, incluem-se o uso de estacas (método mais tradicional nos estudos geomorfológicos, mas que, como não será implantado em campo, será analisado a partir da vasta bibliografia existente sobre esse assunto), de Sistema GPS Geodésico, e do escâner laser terrestre 3D móvel.

Dentre as técnicas estudadas, temos concentrado esforços na operacionalização do escâner laser terrestre 3D móvel. Isto porque se trata de uma tecnologia nova, que proporciona ineditismo ao projeto, posto que não foi aplicado ainda no país para o estudo de erosões marginais em reservatórios. Na revisão bibliográfica desta pesquisa verificamos estudos sobre o uso deste equipamento em erosões marginais em canais fluviais (OWENS & ASCE, 2009 e NASERMOADDELI & PASCHE, s.n.t.). A avaliação deste método foi proposta pela necessidade de comprovação de uma vantagem deste método em relação aos demais, que é a possibilidade de

maior automatização de algumas análises morfométricas, como por exemplo, o estabelecimento do perfil volumétrico sem a necessidade de elaboração de transecções longitudinais.

iii) Controle e Recuperação das Erosões

Um dos pilares iniciais pensados para o Projeto era o uso de técnicas de bioengenharia no controle e recuperação das áreas degradadas pelos processos erosivos em margens de reservatórios. Ao longo do projeto esta linha de ação foi diminuindo sua participação no conjunto das atividades.

Inicialmente foram estabelecidas para esta linha de ação, as seguintes atividades:

iii.a: definição dos tipos de controle a serem implantadas;

iii.b: implantação dos experimentos;

iii.c: monitoramento do comportamento dos experimentos;

iii.d: avaliação dos métodos utilizados.

A Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A., no âmbito do licenciamento ambiental dos empreendimentos sob sua concessão, realizou um estudo sobre o rol de medidas de proteção e controle das áreas degradadas por processos erosivos marginais em reservatórios. Trata-se de um estudo bastante completo, o qual identificou 32 tipos de medidas passíveis de serem adotadas e, a partir da seleção de 8 destas medidas, desenvolveu um estudo detalhado sobre a aplicabilidade de cada uma, suas restrições e possibilidades de uso. Dentre as alternativas estudadas encontrava-se o uso de biomantas (uma das técnicas de bioengenharia), além de alternativas ditas rudimentares e de alternativas que exigem obras civis para sua execução.

Tal estudo, bem como a troca de experiências com profissionais de outras empresas do setor elétrico e com pesquisadores do assunto, apontaram para a equipe técnica responsável por este projeto que seria mais recomendável avaliar melhor a execução desta linha de ação. Parece necessário se considerar tanto a relação custo X benefício destas medidas quanto o próprio nível de conhecimento sobre o problema, para que se parta para o estudo das soluções.

Desta forma, a implantação destas medidas ainda se encontra em estudo, sem implantação efetiva das duas áreas experimentais em cada reservatório estudado, cada uma delas com 4 parcelas de experimento, sendo 3 tratamentos e uma área testemunha. As áreas onde seriam implantados os experimentos continuam sendo monitoradas, bem como os pontos onde somente se previa o monitoramento.

iv) Divulgação dos Resultados do Projeto

Esta linha de ação consiste na realização de documentos e eventos para divulgação dos resultados do Projeto, uma vez que o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica da Aneel, por ser realizado com recursos setoriais, visa à produção do conhecimento para o setor elétrico brasileiro como um todo. Portanto, um fator importante para a avaliação do Projeto é como ele divulga os seus resultados.

Neste sentido, o Projeto em questão prevê as seguintes atividades de divulgação:

iv.a: produção de relatórios;

iv.b: produção de materiais científicos;

iv.c: realização de workshop de divulgação de resultados.

A observação mais importante neste aspecto é quanto à produção de publicações. Ao longo de sua realização o Projeto promoveu (e continuará a promover) bolsas em nível de iniciação científica e Mestrado, além deste Doutorado, que não conta com bolsa (a política da concessionária proponente não permite que seus funcionários recebam bolsa para o desenvolvimento de suas pesquisas). Com isto, espera-se que, diante do grande volume de dados e informações produzidos, haja igual volume de publicações. Até o presente momento, o Projeto já possui quatro publicações em eventos, sendo duas em eventos internacionais. Abaixo apresentamos as informações sobre estas publicações:

- TOMMASELLI, Antonio M. G.; MORAES, Marcus V .A.; SILVA, Lara S. L.; RUBIO, Mauricio F.; CARVALHO, Guilherme J. & TOMMASELLI, José T. G. ***Monitoring marginal erosion in hydroelectric reservoirs with terrestrial mobile laser scanner.*** In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5, 2014, ISPRS Technical Commission V Symposium. Riva del Garda: ISPRS, 2014.
- MORAES, Marcus V .A.; TOMMASELLI, Antonio M. G.; RUBIO, Mauricio F.; CARVALHO, Guilherme J. & TOMMASELLI, José T. G. ***Monitoramento de erosões marginais em reservatórios de usinas hidrelétricas com escâner laser terrestre móvel.*** In: VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba: UFPR, 2013.

- NUNES, João O. R.; SILVA, Pedro A. A.; CIERUTTE, Giordano B.; BIGONI, Leonice; TOMMASELLI, José T. G. ***Caracterização física dos solos degradados por erosão marginal nos reservatórios hidrelétricos de Rosana e Chavantes***. In: XX Congresso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo. Cusco: SLCS / SPCS, 2014.
- SILVA, Pedro A. A. & NUNES, João O. R. Caracterização física dos solos degradados por erosão marginal nos reservatórios hidrelétricos de Chavantes e Rosana. In: XXIV Congresso de Iniciação Científica da Unesp. Presidente Prudente: UNESP, 2012.

A expectativa (baseada no roteiro de publicações elaborado) é de que até o final do Projeto ele resulte na publicação de, no mínimo, mais quatro publicações em periódicos e três publicações em eventos.

4.3.3. Considerações sobre a inserção da presente pesquisa no Projeto de P&D

Uma das finalidades do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica gerido pela Aneel é a qualificação dos profissionais do setor. Fica evidente em nossa análise sobre o tema da pesquisa, do desenvolvimento e da inovação, apresentada no item 4.1, deste Capítulo, que ainda será necessário aperfeiçoar este Programa para que ele atinja esta finalidade em sua plenitude.

Atualmente exige-se das empresas do setor (as proponentes dos projetos) apenas um participante no projeto, na função de Gerente. Por vezes, verifica-se que as empresas designam somente o Gerente, para executar tarefas administrativas e/ou outras tarefas burocráticas, que muitas vezes nem trabalha diretamente com o tema do projeto em seu cotidiano.

Quando assumimos a Gerência do projeto *“Monitoramento e Controle de Erosões Marginais de Reservatórios Hidrelétricos: Métodos de avaliação dos processos, uso de geotecnologias para seu monitoramento e experimentação de técnicas de controle”*, desde o início tivemos a preocupação de usá-lo de fato para o aprimoramento técnico de profissionais da empresa. Atualmente participam deste projeto dois profissionais da empresa (este número já chegou a ser de 4 funcionários) e um estagiário, obviamente com diferentes graus de envolvimento. Destes profissionais envolvidos, além do aprimoramento técnico, resultarão também duas pesquisas em nível de pós-graduação, esta em nível de doutorado e outra em nível de mestrado, voltada para a

questão das tecnologias de monitoramento (avaliação de diferentes técnicas e equipamentos, a partir de uma interpretação técnica e financeira), ainda a ser iniciada.

Conforme apresentado em ocasiões anteriores, a proposta inicial desta pesquisa de Doutorado foi alterada de forma se integrar mais facilmente ao projeto de P&D em questão. Tal alteração reflete a já citada vontade de tornar o projeto uma oportunidade de ampliação de conhecimentos técnicos e acadêmicos.

No item anterior, apresentamos o projeto e seus pilares estruturais: conhecimento do problema, monitoramento periódico, intervenção para controle e divulgação de resultados. Esta pesquisa insere-se no primeiro pilar, relativo ao conhecimento do problema. No início da formulação da proposta deste projeto, este pilar estava diminuído e fragmentado dentro do monitoramento periódico e da intervenção para controle. Percebeu-se então uma lacuna de pesquisas no sentido de se conhecer este problema, desde sua gênese até o seu desenvolvimento, para então se pensar na intervenção para controle dos processos. O mesmo se verificou em relação ao monitoramento, pois, sem se conhecer os processos e categorizá-los adequadamente, pode-se não se perceber que uma técnica é mais adequada para determinados processos, enquanto outras técnicas são melhores para outras categorias. Tratar os processos como uma coisa só empobreceria qualquer análise sobre as técnicas de monitoramento e controle.

Neste contexto, este item serve também para explicar que parte significativa dos dados utilizados nesta pesquisa será produzida no contexto do Projeto de P&D como um todo. Ou seja, participaremos como integrante da equipe do Projeto, mas os dados não serão exclusivos de nossa pesquisa. Do mesmo modo, dados produzidos nesta pesquisa serão incorporados aos resultados do Projeto quando de sua submissão à Aneel. Caberá a esta pesquisa sistematizar para o Projeto de P&D as análises e a classificação da tipologia das erosões marginais e dos seus níveis de criticidade. Também se insere no rol de contribuições desta pesquisa a proposição e as análises sobre as condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões, inclusive com a apresentação de indicadores e parâmetros de monitoramento e a avaliação das técnicas de monitoramento e controle como alternativa técnica ao entendimento das erosões nas margens de reservatórios – cabe a esta pesquisa indicar, portanto, falhas dos sistemas de monitoramento que comprometam a caracterização dos processos.

O Projeto de P&D em questão apresenta uma equipe técnica multidisciplinar, altamente qualificada, tanto do ponto de vista científico, com profissionais com experiências em pesquisas correlatas, como também do ponto de vista técnico, com experiência no tratamento desta problemática em campo e dentro de uma estrutura empresarial. Logo, a troca de experiências entre

os profissionais envolvidos é frequente, o que faz com que várias contribuições sejam apresentadas além do âmbito de atuação de cada um no Projeto. Sempre que possível e necessário estas contribuições serão acolhidas nesta pesquisa, com a indicação de que se trata de uma produção coletiva da equipe de trabalho do projeto, e com a devida consideração sobre a contextualização da mesma no desenvolvimento metodológico da pesquisa.

Capítulo 5

- **Empreendimentos hidrelétricos, processos erosivos marginais em reservatórios e seus fatores influência**

5. Empreendimentos hidrelétricos, erosões marginais em reservatórios e seus fatores influência

5.1. Empreendimentos hidrelétricos e impactos no meio físico

Os empreendimentos de transformação e geração de energia em geral, e os do setor elétrico em especial, possuem uma grande capacidade de transformação do espaço em que estão inseridos. Esta produção do espaço pode se dar diretamente, pela implantação dos empreendimentos, mas também indiretamente, em decorrência das alterações que o uso de energia elétrica pode ocasionar nas sociedades.

Em RUBIO (2008) discutimos estas duas faces da produção do território, ocasionada por este tipo de empreendimentos. Este trabalho, no entanto, visa discutir questões sobre a relação entre este tipo de empreendimento (projetos hidrelétricos e seus reservatórios) e seus impactos no meio físico, com especial atenção para as erosões marginais.

Pensando-se nos impactos sobre o meio físico em geral, observa-se que tais empreendimentos afetam as áreas alagadas para formação dos seus reservatórios e, ainda, uma faixa de largura variável, nas margens dos reservatórios, onde o(s) tipo(s) e a intensidade da interferência são também variáveis.

Nestas áreas os impactos não ocorrem de forma homogênea e estão condicionados a outros fatores além dos próprios reservatórios. Para estas áreas podemos citar, além da ocorrência de degradação do solo por processos erosivos e movimentos de massa, alteração das características físico-químicas dos solos, em virtude da alteração do nível das águas subterrâneas do entorno dos reservatórios, entre outros. A título de dimensionamento da magnitude destes impactos, D'ARMADA et al (2011) apontam que a soma dos reservatórios brasileiros significa um perímetro de margens de 75.000 km.

Em RUBIO (2008) apresentamos uma revisão bibliográfica e de documental técnico acerca dos impactos de empreendimentos hidrelétricos nos diferentes atributos do meio físico (relevo, solos, condições climáticas e hidrogeologia, entre outros). A revisão se baseou em quatro publicações (NOFFS & SITIAR, 1994; FORNASARI FILHO, 1992; PIMENTEL, 2004; e MARQUES FILHO & GERALDO, 1998) e uma revisão documental, que por sua vez avaliou os Estudos de

Impacto Ambiental - EIAs para implantação de quatro usinas hidrelétricas. O resultado desta revisão foi uma listagem de 51 (cinquenta e um) impactos diretos sobre atributos do meio físico, além de outros 6 (seis) impactos indiretos do/ao empreendimento, que podem ser relacionados com atributos do meio físico.

É importante ressaltar que a listagem elaborada apresentou os impactos com divisão em fases do empreendimento, considerando-se as fases de implantação, enchimento do reservatório, operação e desativação. Entende-se que tal forma de divisão, por fases, possibilita melhor compreensão das causas e da sequência temporal e espacial dos impactos. Embora tal divisão seja comum nos estudos para licenciamento ambiental deste tipo de empreendimento, mesmo que com pequenos ajustes, o mesmo não ocorre nos estudos acadêmicos consultados, tanto que apenas um dos autores consultados considerou a divisão dos impactos entre as fases do empreendimento.

Adiante, com base na relação dos impactos identificados em RUBIO (2008), apresenta-se um quadro resumo com os impactos no meio físico relacionados às erosões. A apresentação distingue as erosões nas margens dos reservatórios (objeto deste trabalho) das demais. Estas outras erosões podem ocorrer em: i) sistemas fluviais de jusante, ii) áreas de execução de obras (canteiros de obra e frentes de serviço), e iii) na própria área do reservatório, porém, após a desativação do empreendimento, quando não há mais reservatório.

Este exercício de distinção dos processos é importante, pois na medida em que se inicia o processo de distinção, verificam-se os mecanismos de ação e as condições ambientais pré-existente atuantes em cada situação. Esta verificação, por sua vez, enquanto método de pesquisa, possibilita um melhor entendimento de cada processo (a partir de suas diferenças) e, por consequência, melhores formas de abordar a análise dos mesmos e suas medidas de controle/recuperação.

Quadro 5.1-1 – Impactos de usinas hidrelétricas relacionados aos processos erosivos

Impactos Identificados		Margens	Outros
Fase de Implantação			
	Intensificação de processos erosivos em decorrência das atividades das obras e da implantação de estruturas de apoio		
	Instabilização de vertentes, com possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, durante a limpeza da bacia de acumulação (supressão da vegetação)		
	Indução à ocorrência de processos associados à rede de drenagem de subsuperfície (pipping e outros processos)		
	Possibilidade de ocorrência de subsidências em decorrência da abertura de túneis e canais		
Fase de Enchimento do Reservatório			
	Ocorrência de processos erosivos nas margens do reservatório durante seu enchimento		
	Aumento da capacidade erosiva dos cursos d'água à jusante durante o enchimento do reservatório		
	Ocorrência de processos gravitacionais de massa na margem do reservatório durante seu enchimento		
	Possibilidade de ocorrência de afundamentos cársticos, com geração de subsidências e colapsos, em decorrência de fugas d'água na área do reservatório		
	Potencialização da colapsividade dos solos, com risco de ocorrência de abatimentos dos terrenos		
Fase de Operação			
	Aumento da capacidade erosiva nas margens do reservatório por embate de ondas e elevação do nível freático		
	Alteração do grau de criticidade e de ocorrência dos processos gravitacionais de massa nas margens do reservatório		
	Impactos e problemas nas barragens: Recalques diferenciais Escavações em ombreiras Deslizamentos de taludes na barragem Galgamento (overtopping) Erosão interna (piping) Fissuramento		
Fase de Desativação			
	Erosão de depósitos de sedimentos formados no leito do reservatório		
	Aumento da susceptibilidade a processos gravitacionais de massa em terrenos anteriormente submersos		

Fonte: Adaptado de RUBIO (2008)

5.2. Processos erosivos em margens de reservatório

A partir do breve resumo apresentado acima, iniciou-se um trabalho de revisão bibliográfica para análise dos processos erosivos que ocorrem estritamente nas margens dos reservatórios.

Ao longo desta pesquisa, conforme apontado anteriormente, no “Capítulo 3 – Metodologia”, utilizou-se como base para o entendimento dos processos erosivos marginais algumas pesquisas de referência, tais como COLÂNGELO (1990), FERNANDEZ (1995), DE JORGE (1984) LEITE et al (1982). Além destes trabalhos principais, outros também foram importantes para complementar o entendimento sobre os processos erosivos marginais, tais como GATTO & DOE III (1987), HOLMSTEAD (2003), ELÇI & WORK (2003), ALLEN & TINGLE (1992) e AZEVEDO & DUARTE (2013), seja comparando as condições brasileiras com as internacionais, seja complementando o conhecimento específico de algum dos fatores de análise desses processos.

A partir desta pesquisa bibliográfica, chegou-se à identificação de um modelo teórico-conceitual sobre a gênese e o desenvolvimento das erosões em margens de reservatório e às condicionantes envolvidas com estes processos. Este modelo teórico-conceitual, desenvolvido e alinhado com a base teórico-metodológica adotada nesta pesquisa, consiste na existência de um ambiente pré-perturbação, o qual é alterado por ação antrópica (*ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre*), modificando os processos ambientais do meio físico e gerando novos processos não existentes anteriormente no ambiente. A alteração/geração de novos processos ambientais, causada pela ação antrópica é que resultará em impactos ambientais decorrentes do empreendimento, dentre os quais a ocorrência das erosões nas margens dos reservatórios, citados no Quadro 5.1-1. Este modelo teórico-conceitual é apresentado na Figura 5.2-1, adiante.

No ambiente pré-perturbação indicam-se algumas condicionantes ambientais que correspondem, grosso modo, ao que GUIDICINI & NIEBLE (1983) chamam de agentes predisponentes, condições naturais em que os processos terão lugar. Nesta pesquisa consideramos como tais agentes a cobertura pedológica, os atributos geomorfológicos, as características geológicas (incluindo-se aí as condições hidrogeológicas), o uso e a ocupação do solo, as condições climáticas e, ainda, o próprio sistema fluvial no qual será inserido o reservatório.

As intervenções antrópicas consideradas no modelo, por sua vez, correspondem aos eventos das grandes fases de implantação e operação do empreendimento, identificadas no levantamento de impactos ambientais no meio físico, consolidado em RUBIO (2008). Este levantamento considerava as fases de implantação do empreendimento (obras civis e

eletromecânicas), a fase de enchimento do reservatório, a operação do empreendimento e a sua fase de desativação. O modelo aqui adotado não considera a fase de desativação, posto que na mesma já não se considera mais a existência de um reservatório, portanto, as erosões existentes nas margens do antigo reservatório já estariam condicionadas por outros processos ambientais.

Figura 5.2-2 – Modelo teórico-conceitual sobre a gênese e evolução dos processos geomorfológicos em margens de reservatórios

Na sequência, a figura apresenta os principais processos ambientais alterados. Trata-se de uma forma de apresentação no modelo adotada para se melhorar a didática de discussão do assunto. No entanto, na análise dos processos perturbados verifica-se relação direta com as condicionantes ambientais usadas nesta pesquisa e indicadas no ambiente pré-perturbação. Sob

esta perspectiva, também se pode verificar que tais processos alterados podem estar contidos no que GUIDICINI & NIEBLE (1983) indicam como agentes efetivos, com a ressalva de que a forma de apresentação destes processos perturbados neste trabalho não corresponde à forma de apresentação de GUIDICINI & NIEBLE (1983), ou mesmo de LEITE et al (1982) e FERNANDEZ (1995), que também usam esta classificação.

Por fim, apresentam-se como resultado das ações e condições anteriores os impactos ambientais, onde se destaca a ocorrência dos processos erosivos. Neste ponto, faz-se uma consideração de que o modelo teórico-conceitual representa uma evolução de entendimento ao que levantamos em RUBIO (2008), com a revisão de alguns aspectos apresentados no Quadro 5.1-1, apresentado acima.

O primeiro aspecto a ser reconsiderado é a adoção de uma subdivisão das formas erosivas, em processos erosivos (de pequena velocidade e volume de material envolvido) e processos erosivos com movimentos de massa (com maior velocidade e volume de material remobilizado). Adota-se esta subdivisão de maneira didática para explicar a complexidade dos processos erosivos marginais, embora entendamos que esta distinção não representa corretamente o fenômeno tal como ocorre na natureza, posto que no ambiente o mesmo se dá de forma complexa, a partir da integração de diversos mecanismos em um mesmo processo. Este aspecto será retomado com mais detalhe adiante, no Capítulo 8, quando discutiremos a classificação dos processos.

O segundo aspecto, mais importante que o anterior, é a mudança de entendimento quanto ao tempo de ocorrência dos processos. A distribuição dos impactos no Quadro 5.1-1 aponta um entendimento que as erosões se iniciam durante o enchimento do reservatório, alterando-se sua intensidade após a sua formação. Nosso entendimento atual é de que o enchimento do reservatório inicia ou deflagra uma série de processos de mudanças das condições ambientais locais, não necessariamente resultando na imediata formação das feições erosivas.

O tempo de enchimento de reservatórios de médio e grande porte é muito variável, pois é extremamente dependente das condições climáticas no período imediatamente anterior e durante o enchimento, que alterarão a vazão do curso d'água a ser transformado em reservatório. No entanto, podemos considerar (segundo nossa experiência em licenciamento de reservatórios) que tais ações, ocorrem em média entre duas e doze semanas e, principalmente em reservatórios maiores, normalmente nos períodos de maior vazão dos rios. Somente em casos extremos verifica-se o enchimento do reservatório em etapas, com aproveitamento de diferentes períodos chuvosos, levando a uma duração superior a oito meses.

Autores como COLÂNGELO (1990) e LEITE et al (1982), estudando o caso dos reservatórios do Complexo Hidrelétrico Paraibuna / Paraitinga, DE JORGE (1984), estudando também este caso, dentre outros, e outras experiências brasileiras em menor nível de detalhe, indicam a ocorrência de escorregamentos associados à fase de ação antrópica de enchimento do reservatório. Segundo estes autores, esta associação decorre da abrupta elevação do nível de base nas vertentes marginais, condicionada por desequilíbrios de pressão hidráulica, dentre outros mecanismos.

Estas ocorrências descritas pelos autores são específicas para um determinado ambiente e refletem a ocorrência de um único tipo de erosão (os escorregamentos). No entanto, em outras condições, sobretudo com vertentes menos íngremes, de menor amplitude topográfica e com regime hidrogeológico distinto, se verifica outro comportamento. Assim, em diversos casos, o tempo e a ação de enchimento dos reservatórios não são os únicos fatores para a deflagração dos processos erosivos, mas são fatores relevantes para se iniciar a desestabilização das vertentes. Como se apresenta adiante, os parâmetros verificados para cada componente ambiental afetado pelo reservatório têm suas características afetadas ao longo de um período longo de tempo. Esta noção é importante para se definir o modelo de evolução/velocidade dos processos que será adotado na pesquisa.

Usualmente, verifica-se em estudos técnicos (inclusive Estudos de Impacto Ambiental) um entendimento de que os processos são mais intensos no período durante ou imediatamente após o enchimento, reduzindo-se ao longo do tempo. Este conceito formou-se pelas experiências no estudo de escorregamentos, em ambientes com predominância de rochas ígneas ou metamórficas, mas não abrange um grande espectro dos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Este entendimento é representado pelo modelo teórico-conceitual de evolução dos processos erosivos em margens de reservatórios apresentado por AZEVEDO & DUARTE (2013), Figura 5.2-3, adiante.

AZEVEDO & DUARTE (2013) aplicam este conceito, desenvolvido em trabalhos anteriores, para o estudo da UHE Porto Primavera, na bacia sedimentar do Paraná. Nossa interpretação sobre esse modelo é que algumas condições ambientais necessárias para sua reprodução na natureza, não são observáveis no ambiente natural. A primeira observação é que o modelo foi elaborado a partir de estudos de algumas poucas erosões no reservatório da UHE Porto Primavera e, portanto, o modelo representaria uma condição geral do reservatório. Mas, para tanto, seria necessário considerar que as margens dos reservatórios apresentariam uma uniformidade das condições ambientais ao longo de seu perímetro, caso que não identificamos nos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana, em estudo nesta pesquisa.

Figura 5.2-3 – Modelo teórico-conceitual de evolução dos processos erosivos em margens de reservatórios de AZEVEDO & DUARTE (2013)

Fonte: AZEVEDO & DUARTE (2013)

Além disso, os autores afirmam que

[...] logo após o enchimento do reservatório, quando a água entra em contato com o maciço terroso ou com os maciços rochosos que se encontram mais alterados, mais fraturados e menos coerentes da superfície dos taludes das encostas, a velocidade do processo de recuo das margens é máxima. Posteriormente, com a exposição das porções internas do maciço, constituídas por materiais mais coerentes e/ou com o estabelecimento de ângulos dos taludes mais favoráveis à estabilidade, a velocidade do processo diminui, tendendo a estabilização. (AZEVEDO & DUARTE, 2013, pág. 2).

No entanto, a observação de erosões nos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana, bem como em outros reservatórios, indicam que nem sempre os maciços terrosos ou rochosos que se encontram mais alterados, mais fraturados e menos coerentes encontram-se na parte superficial da vertente. Em alguns casos, os materiais internos são menos coesos do que os superficiais. Como exemplo desta situação, relata-se o caso de um processo geomorfológico existente na margem do reservatório da UHE Jurumirim, também no rio Paranapanema, onde o terreno se formou sobre uma antiga duna formada por material extremamente arenoso e menos coeso do que a cobertura pedológica formada sobre ele. Neste caso, embora não se tenha registro da evolução do processo, estima-se (a partir de relatos de moradores da região) que as velocidades iniciais do processo (quando este ainda afetava a cobertura pedológica) tenham sido levemente inferiores às velocidades no segundo momento de seu desenvolvimento, quando o mesmo atingiu o material de origem da duna.

Figura 5.2-3 – Foto de processo geomorfológico nas margens do reservatório da UHE Jurumirim

Fonte: Foto disponibilizada pelo Sr. Armando Grangieri

Neste ponto é importante lembrarmos que o contato entre a água e o solo/rocha nas vertentes pode ocorrer em diferentes posições ao longo do reservatório. Isto porque a própria espessura da camada do solo varia ao longo das margens, mas também porque a altura da coluna d'água varia ao longo do reservatório. Como exemplo, podemos ilustrar esta situação comparando a posição da água nas proximidades das barragens, onde se espera maiores colunas d'água e que o contato dessa água ocorra com solos mais espessos, com a posição da água nas áreas de remanso, onde as águas muitas vezes não atingem áreas fora da própria planície de inundação natural dos rios. Essa situação modifica-se, no entanto, para reservatórios cujas barragens localizam-se em regiões com relevos mais movimentados e sobre materiais litológicos mais resistentes, pois nestas áreas espera-se uma espessura menor para a camada do solo.

Assim, ao longo de nossa pesquisa passamos a ter outro entendimento sobre a evolução dos processos erosivos marginais, diferente desse modelo teórico-conceitual de Azevedo e Duarte. Este entendimento é de que, para os reservatórios em análise nesta pesquisa, o processo é praticamente inexistente no período durante e imediatamente após o enchimento do reservatório, quando o que ocorre é uma desestabilização das condições ambientais. Este período, variável em cada processo, perdura até o rompimento do limiar de estabilidade de uma das condições ambientais. Depois do rompimento do limiar de estabilidade, quando se inicia o desenvolvimento do processo, o mesmo avança em velocidade grande até atingir um novo limite de estabilidade. Depois, a partir deste novo limite de estabilidade a velocidade do processo irá aumentar ou diminuir conforme se rompam estes novos limites de estabilidade. Esta velocidade irá depender de

aspectos ambientais mais voláteis (como ventos, ondas e pluviosidade) e menos voláteis (como a geologia e a geomorfologia das margens) e sua variação dependerá conforme um aspecto se sobrepor ao outro.

O resumo deste modelo teórico-conceitual encontra-se disposto na Figura 5.2-4, disposto abaixo.

Figura 5.2-4 – Modelo teórico-conceitual de evolução dos processos erosivos em margens de reservatórios adotado nesta pesquisa

Como a distribuição das erosões é variável ao longo de um reservatório, bem como a velocidade de desenvolvimento das mesmas também se apresenta variável, entendemos que é importante discutir alguns pontos para se ter uma dimensão correta do problema.

A primeira questão a ser pensada refere-se ao surgimento (a gênese) destes processos. Quais são os fatores que levam ao surgimento de erosões em áreas onde anteriormente havia uma estabilidade dinâmica dos terrenos? Entendemos que uma parte desta resposta, ou uma resposta pontual para os casos que estamos estudando, está na análise de todo o reservatório e não na análise dos processos em si. Portanto, nos propusemos nesta pesquisa a comparar as áreas com instabilidade morfodinâmica em relação às áreas em situação de estabilidade morfodinâmica.

A segunda questão refere-se ao entendimento de porque determinadas erosões têm taxa de evolução maior do que outras, ou em quais situações uma erosão apresenta maior velocidade do que outra. Para tanto, nesta comparação nos utilizaremos de uma comparação entre as erosões monitoradas. O primeiro passo é saber qual é a velocidade de cada processo, ou melhor, qual é a

variação da velocidade de retração de cada erosão ao longo de um período. Depois, serão analisados parâmetros ambientais que possam estar relacionados com esta variação. E, por fim, faz-se a relação entre estas duas análises para identificar pontos de diferenças e semelhanças entre os parâmetros analisados e as velocidades dos processos.

Para responder a tais questões, primeiramente, precisamos entender quais são as condicionantes que influenciam as erosões marginais em reservatórios. Nossa proposta, que se apresenta adiante, é realizar uma discussão sobre cada uma destas condicionantes, discutindo aspectos de suas características pré-perturbação, de como a ação antrópica de implantação e operação hidrelétrica interfere em cada um deles, de quais são os processos alterados por tal ação e como e em que nível se dá tal alteração, para, por fim, se chegar à relação destas questões com a problemática das erosões marginais.

5.3. Fatores condicionantes das erosões marginais

Como já apontamos anteriormente, o trabalho de GUIDICINI & NIEBLE (1983) é uma obra de referência para os estudos sobre os movimentos de massa. Estudos posteriores sobre estes tipos de processos erosivos, tais como AHRENDT (2005) e FERNANDES & AMARAL (1996), bem como estudos específicos sobre as margens de reservatório (como FERNANDEZ, 1995 e LEITE et al, 1982), também adotaram este trabalho como referência.

Uma dos tópicos desenvolvidos no trabalho de GUIDICINI & NIEBLE (1983) e adotado nos outros trabalhos citados refere-se à discussão dos agentes e causas dos movimentos adotados. Neste trecho de nosso trabalho apresentamos as causas e os agentes englobados em fatores de influência das erosões marginais. É importante ressaltar que tal simplificação não resulta de discordância da proposta de GUIDICINI & NIEBLE (1983), ou tampouco de desentendimento quanto à justificativa para tal separação, ao contrário, posto que também adotaremos quando necessário – na explicação dos fenômenos – tal divisão.

Voltando ao trabalho de GUIDICINI & NIEBLE (1983, p. 50) cumpre dizer que os autores entendem “por causa o modo de atuação de um determinado agente ou, em outros termos, um agente pode se expressar por meio de uma ou mais causas. É o caso, por exemplo, do agente água, que poderá influir na estabilidade de uma determinada massa de material das mais diversas formas [...]”. Adiante os autores prosseguem com a conceituação dos agentes, distinguindo-os entre predisponentes e efetivos.

Os autores chamam de fatores predisponentes um conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais onde se desenvolvem os movimentos de massa. Eles listam os seguintes agentes predisponentes: complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar e tipo de vegetação original.

Por fatores efetivos entende-se o “conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo a ação humana”. (GUIDICINI & NIEBLE, 1983, p. 51) Estes fatores efetivos, por sua vez, distinguem-se em preparatórios (que atuam anteriormente ao início do processo, na modificação dos agentes predisponentes) e imediatos (que atuam diretamente no rompimento do limiar que dispara o início do processo).

Os autores também fazem uma distinção das causas dos movimentos de massa, tendo como referência de classificação em decorrência de sua posição em relação ao talude. Assim, as causas são separadas entre causas internas, causas intermediárias (efeitos causados por agentes externos no interior do talude) e causas externas.

Nos estudos sobre movimentos de massa em margens de reservatórios, estes conceitos também são considerados. O Quadro 5.3-1 apresenta os agentes identificados nos estudos de FERNANDEZ (1995) e LEITE *et al* (1982).

Além das referências citadas acima, que se atêm mais às erosões ocasionadas por movimentos de massa, também buscamos identificar quais os agentes de influência mais presentes nos estudos sobre as erosões de origem pluvial e fluvial. Neste caso, analisamos os estudos de SELBY (1982), CHRISTOFOLLETTI (1977) e GUERRA, SILVA & BOTELHO (1999). Estes trabalhos apresentam uma organização quanto à apresentação dos agentes envolvidos nos processos erosivos que abordam. No entanto, nota-se que os grupos de condicionantes ambientais dos processos (agentes geomorfológicos, agentes pedológicos, agentes climáticos etc...) são semelhantes.

Quadro 5.3-1 – Agentes de influência nos movimentos de massa, identificados em estudos sobre erosões em margens de reservatórios.

Agentes identificados	LEITE et al (1982)	FERNANDEZ (1995)
Agentes predisponentes	<ul style="list-style-type: none"> - litologia e estruturas das rochas; - altura, inclinação e forma da vertente; - estrutura pedogenética; - temperaturas médias anuais de 17 a 20°C e - chuvas de 1.500 a 3.000 mm/ano. 	<ul style="list-style-type: none"> - agentes geomorfológicos; - agentes pedológicos e - agentes climáticos.
Agentes efetivos preparatórios	<ul style="list-style-type: none"> - processos de erosão (voçorocas, ravinhas, rastejo) pré-existent; - estruturas e galerias nos solos; - ventos predominantes do sul; - desmatamento, pastagem, agricultura e estradas; - implantação do lago e - sismicidade induzida pelo reservatório. 	<ul style="list-style-type: none"> - agentes geomorfológicos; - agentes pedológicos; - agentes climáticos (pluviosidade, escoamento superficial e vento); - agentes biológicos e - ocupação territorial (vegetação e uso atual e anterior do solo, magnitude dos corredores de aceleração do vento, altura do barranco e orientação da linha da margem, condições batimétricas da área marginal, característica das praias
Agentes efetivos imediatos	<ul style="list-style-type: none"> - sismicidade induzida; - episódio de enchimento do lago e - características de operação da usina, com destaque para as ondas geradas pelos ventos predominantes de sul, agindo nas margens. 	<ul style="list-style-type: none"> - ondas; - agentes climáticos; - agentes biológicos e - ocupação territorial (oscilação do nível do reservatório, ondas geradas por embarcações motorizadas e construção de rampas no barranco).

Com base nas referências acima, é realizada adiante uma discussão sobre aspectos gerais dos fatores de influência nos processos erosivos em margens de reservatório. Esta discussão dos fatores orientou a seleção dos parâmetros de análise acerca da gênese e do desenvolvimento destes processos que se apresenta no próximo capítulo deste trabalho.

5.3.1. Operação do reservatório

Uma das premissas dos estudos e análises de impacto ambiental de um determinado empreendimento é a necessidade de compreensão do empreendimento que se está propondo. É a partir desta compreensão que, somada ao conhecimento do ambiente onde o empreendimento se insere, realiza-se a análise dos impactos deste empreendimento.

No caso das erosões marginais em reservatórios hidrelétricos um fator fundamental para compreensão do empreendimento é o seu sistema de operação. Como dito anteriormente (no item “2.1. Objeto de Estudo”) existem dois tipos principais de sistemas de operação de reservatório: de acumulação ou a fio d’água. Conforme exposto naquele ponto, os reservatórios a fio d’água utilizam a vazão primária da bacia contribuinte entre 90 e 100% do tempo (em alguns casos, como veremos adiante, estes valores podem ser menores); enquanto os reservatórios de acumulação subtendem um armazenamento de água. Portanto, em geral, verifica-se que os reservatórios a fio d’água possuem uma variação da altura da coluna d’água muito inferior à variação da altura da coluna d’água dos reservatórios de acumulação.

O gráfico adiante (Figura 5.3.1-1) mostra a variação do nível dos reservatórios das UHEs Chavantes (acumulação) e Rosana (fio d’água), entre julho de 2012 e dezembro de 2013, com base na variação da média mensal do volume útil utilizado para armazenamento de água em cada reservatório. Como pode se verificar no Gráfico, as variações do nível do reservatório são menores no reservatório da UHE Rosana, quando comparado ao reservatório da UHE Chavantes.

Esta primeira análise, quanto ao sistema de operação, pode ajudar a se identificar se um determinado empreendimento é mais ou menos propenso à ocorrência de erosões marginais. HOLMSTEAD (2003, pág. 23) afirma que a estabilidade do solo é maior nas margens de reservatórios com menores flutuações do nível de água, porque tais reservatórios ocasionam menor perturbação nas margens (como de impactos físicos das ondas e ciclos de umedecimento / secagem) e porque as raízes da vegetação promovem maior coesão do solo¹.

¹ “Soil stability is greater along reservoirs with narrower water level fluctuations because such reservoirs have less shoreline disturbance (such as from physical impacts of waves and wetting/drying cycles) and because the roots of vegetation bind the soil” (HOLMSTEAD, 2003, p. 23).

Gráfico 5.3.1-1 – Média mensal da % utilizada do volume útil dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana no período de julho/12 a dezembro/13

Fonte: Tratamento dos dados do BDP da Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A.

A princípio, a afirmação de Holmstead também nos parece correta, no entanto, dada a ausência de dados mais consistentes para o estudo dos reservatórios brasileiros, achamos que também é importante aumentar a análise com novas questões a serem pesquisadas. Em meio tropical úmido, como é o caso da maioria dos reservatórios brasileiros, há predominância de contato entre água e solo nas margens dos reservatórios, situação bastante distinta dos terrenos em que há contato entre água e rocha. Por isso, as pesquisas deste assunto devem buscar se aprofundar em análises que nos levem a concluir se o pior efeito é o da variação do nível (onde a energia do efeito das ondas atua sobre diferentes porções do talude e ainda ocorre o efeito dos ciclos de umedecimento / secagem dos terrenos) ou a ação das ondas sobre um mesmo trecho dos taludes das margens (com um mesmo ponto recebendo toda a energia das ondas).

Além desta primeira análise, mais abrangente, sobre o sistema de operação do reservatório, outros aspectos da operação dos empreendimentos também deverão ser considerados. Uma delas é a distribuição da variação do nível do reservatório ao longo de um determinado período. Cabe lembrar que a sazonalidade da variação do nível do reservatório, nem sempre está associada à sazonalidade de outros processos ambientais (por exemplo, a velocidade dos ventos e a altura das ondas), o que dificulta ainda mais a integração dos dados na análise da evolução dos processos.

A dificuldade de análise da velocidade da variação é, portanto, decorrente da própria dificuldade de predição do regime de variação do nível do reservatório, que é estabelecido para atender critérios externos ao empreendimento e à sua região de inserção. A operação da quase totalidade dos reservatórios de usinas hidrelétricas no Brasil é regida pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, cuja função é coordenar e controlar a operação das instalações de

geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Ou seja, para atender a critérios de demanda de energia, esta instituição pode solicitar ao concessionário do reservatório que produza mais energia, ou, em casos extremos, que até mesmo verta água represada sem que haja geração de energia, reduzindo o nível do reservatório, independentemente das condições climáticas e de vazão da bacia de contribuição que atende aquele reservatório. Lembrando que a programação de operação realizada entre as concessionárias dos reservatórios e o ONS é realizada com um mês de antecedência, ainda que tais programações sigam tendências de longo termo (na maioria dos reservatórios das regiões sul e sudeste do Brasil, isto significa a análise de vazões desde 1931).

O gráfico abaixo (Figura 5.3.1-1) apresenta média mensal da % utilizada do volume útil dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana no período referente à 2005 até 2013. Como pode se observar no gráfico a variação do volume útil de um reservatório em um mesmo mês ao longo de um período de vários anos é grande, evidenciando a pouca previsibilidade da variação dos níveis dos reservatórios de acumulação.

Gráfico 5.3.1-2 – Média mensal da % utilizada do volume útil do reservatório da UHE Chavantes no período de janeiro/2005 a dezembro/2013

Fonte: Tratamento dos dados obtidos no banco de dados do histórico da operação, disponível no sítio eletrônico do Operador Nacional do Sistema Elétrico (www.ons.org.br, consulta realizada em 21 de agosto de 2014).

FERNANDEZ (1995, p. 87) afirma, após analisar e comparar graficamente as variações do nível do reservatório da UHE Itaipu, os volumes de precipitação e a taxa de evolução das erosões monitoradas, no período entre agosto de 1993 e março de 1995, que “apesar do pequeno intervalo, a oscilação do nível do lago tem demonstrado significativa importância na ocorrência da erosão marginal”. O autor ainda afirma que os “períodos de maior erosão coincidem com o aumento do

nível do lago” e que “por outro lado, a erosão diminui nos períodos de níveis baixos que ocorrem após os períodos de picos máximos” (FERNANDEZ, 1995, p. 87).

Em contraposição à afirmação de FERNANDEZ (1995) transcrita acima, DE JORGE (1984) afirma que “o rebaixamento rápido do nível d’água do reservatório é igualmente crítico [em relação ao evento do enchimento do reservatório] para as condições de estabilidade das encostas marginais particularmente aquelas constituídas por materiais pouco permeáveis”. Corrobora com esta afirmação o entendimento do US ARMY CORPS OF ENGINEERS (1992b, apud HOLMSTEAD, 2003) de que os processos erosivos, em geral, ocorrem durante rebaixamento e que as velocidades de rebaixamento do nível do reservatório podem afetar as taxas de evolução dos processos erosivos. Apesar disso, os técnicos deste órgão frisam que um reservatório construído para controle de cheias deve ser construído para cumprir a sua função de controle de inundações, sendo esta função preponderante sobre os riscos relacionados aos processos erosivos.

Com base nas informações e análises apresentadas acima, ficam evidentes os seguintes pontos: i) o sistema de operação dos reservatórios (fio d’água ou acumulação) pode indicar maior ou menor propensão à ocorrência de processos marginais; ii) a oscilação do nível dos reservatórios pode apresentar relação com as taxas de evolução dos processos geomorfológicos marginais; iii) há dificuldade de previsão do comportamento de um processo geomorfológico marginal, no que tange a seu condicionamento pela operação do reservatório; e iv) diante da dificuldade de previsão do comportamento e da inexistência de um padrão de sazonalidade nas análises pretéritas, a análise desta variável como fator de interferência da velocidade de evolução do processo deverá ser analisada sempre comparativamente a outros fatores de influência.

5.3.2. Condições geomorfológicas das margens

Os reservatórios, independentemente de sua funcionalidade, apresentam configurações diferentes quanto ao seu tamanho, sua profundidade e sua maior ou menor ramificação. Estas características são estabelecidas na implantação das barragens sobre os canais fluviais que formarão os reservatórios, mas são condicionadas pelas características geomorfológicas da região. São as formas do relevo e suas características (como por exemplo, o seu grau de dissecação) que indicarão como será esta configuração.

Outra constatação importante que realizamos ao longo desta pesquisa é que esta configuração do reservatório também possui relação com a ocorrência dos processos erosivos

marginais. Reservatórios mais largos tendem a apresentar mais processos erosivos do que os reservatórios mais restritos, em virtude de sua predisposição à formação de ondas. A formação de ondas, também é condicionada pelas formas do fundo do reservatório, de acordo com o relevo pré-existente na área. FERNANDEZ (1995, p. 64; baseado também em DE JORGE, 1984) afirma que:

[...] as características topográficas do terreno e a geometria do reservatório são importantes na efetividade dos efeitos dos ventos e ação das ondas sobre as margens. Estas características determinam a presença de barreiras físicas ou ampliam a magnitude dos corredores de aceleração dos ventos ("fetch") para a ação dos ventos predominantes. Estes aspectos atuam como condicionantes nas características das ondas e definem as orientações das margens em relação às direções dos ventos e consequentemente das obras incidentes.

Portanto, a análise da influência das condições geomorfológicas das margens (e mesmo da região de inserção do empreendimento) deve-se dar neste primeiro nível em uma menor escala de análise. Esta análise seria no nível do sistema da bacia hidrográfica, conforme apontamos em RUBIO (2008). Ainda na fase de estudos dos empreendimentos hidrelétricos, esta análise preliminar pode se mostrar simples, rápida e de fácil realização, permitindo a identificação de áreas mais susceptíveis ao surgimento de processos erosivos marginais e, consequentemente, que o desenvolvimento de ações mais detalhadas seja realizado prioritariamente nestas áreas mais susceptíveis.

Um segundo nível de análise que se propõe para a avaliação das condições geomorfológicas das margens como condicionantes dos processos erosivos é por meio de parâmetros morfométricos das margens, considerando-se tanto a parte emersa, quanto a submersa. Em relação ao que discutimos em RUBIO (2008), sobre os sistemas geomorfológicos envolvidos na definição dos parâmetros e indicadores de mudanças ambientais, esta análise seria numa escala maior, no âmbito do sistema vertente. Estes parâmetros estão relacionados com a maior ou menor predisposição de uma área tanto à ocorrência dos processos erosivos, quanto à evolução dos processos ali instaurados.

COLÂNGELO (1990) analisa os escorregamentos no reservatório de Paraíbuna-Paraitinga a partir de parâmetros tais como forma, declividade, orientação da vertente. O autor também analisa o posicionamento topográfico do processo na vertente, se está na baixa, média ou alta vertente. O autor correlaciona ainda que tais parâmetros, relacionados à geometria do terreno, estão ligados à condição hidrodinâmica dos terrenos e aos tipos de solo ali encontrados, sendo, portanto, importantes de serem analisados na comparação com os processos erosivos marginais. O'NEAL & MCDONNELL (1995, apud HOLMSTEAD, 2003) apontam que grandes flutuações no nível da água podem desestruturar bancos de sedimentação e acelerar a retirada das camadas

superficiais e os deslizamentos de solos susceptíveis à erosão, especialmente quando os solos são em encostas íngremes, também conferindo importância às declividades como fator condicionante dos processos erosivos marginais. Outro a usar a declividade das margens como parâmetro morfométrico foi DE JORGE (1984). FERNANDEZ (1995) adota os parâmetros referentes à declividade, altura do barranco, condições batimétricas das margens e rampas das praias.

Abaixo se apresentam as considerações sobre as condições morfométricas das margens que adotamos para análise nesta pesquisa:

- Forma da vertente – este parâmetro foi mais bem estudado por COLÂNGELO (1990) que chegou à conclusão de que “as frentes de interflúvio, do setor convexo até o setor retilíneo do perfil são os locais preferenciais para a ocorrência dos escorregamentos”.
- Declividade – COLÂNGELO (1990) analisa em sua pesquisa os limiares de declividade de suas três áreas de estudo. Ele constata que cerca de 83% do total dos casos analisados encontram-se em vertentes com declividades acima dos limiares de resistência para a condição de saturação. No entanto o autor expõe também as limitações dos dados obtidos, dada a baixa representatividade dos ensaios, perante a complexidade do universo dos escorregamentos analisados. De qualquer maneira, apesar desta limitação apresentada por ele, o autor traz informação importante sobre a totalidade dos processos analisados (53% dos processos identificados nas três áreas de estudo, localizam-se em vertentes com declividades entre 20 e 29°) e sobre a situação de cada uma das áreas de amostragem pesquisadas (nas três áreas a declividade média das vertentes com escorregamentos é superior ao limiar de resistência). Em relação a esta última constatação, foi verificado que na AT1 o limiar é de 18°, sendo que 94% dos processos monitorados encontram-se em vertentes com declividades superiores a este limiar, apresentando média de 30,7°. Na AT2 o limiar é de 20°, sendo que 80% dos processos monitorados encontram-se em vertentes com declividades superiores a este limiar, apresentando média de 26,8°. Por fim, na AT3 o limiar é de 22°, sendo que 74% dos processos monitorados encontram-se em vertentes com declividades superiores a este limiar, apresentando média de 26,0°.
- Altura do barranco – FERNANDEZ (1995, p. 77) afirma que para o caso do reservatório da UHE Itaipu pode ser observado que “a magnitude da erosão é diretamente controlada pela altura da margem”; corroborando a afirmação com estudos de EDIL & VALLEJO (1980) e BUKLER & WINTER (1983), os quais

“mostram que barrancos mais altos podem tornar-se instáveis mais rapidamente que uma margem com altura menor” FERNANDEZ (1995, p. 76).

- Condições batimétricas das áreas marginais – as condições batimétricas das margens é um fator importante de análise, dada a sua relação com a formação e o comportamento das ondas. No entanto, na literatura consultada nesta pesquisa, não foi possível obter dados sobre correlações diretas entre os processos erosivos e a batimetria local, acerca de outros reservatórios já estudados neste tema.
- Largura das praias – REID (1985, apud FERNANDEZ, 1995) confirmou que praias mais desenvolvidas, diminuem a ação das ondas sobre as margens, reduzindo a sua ação erosiva e contribuindo para a estabilização destas áreas marginais. FERNANDEZ (1995) aponta que no reservatório da UHE Itaipu esta relação também pode ser observada, posto que nas áreas de monitoramento onde não havia praias nas margens a taxa de evolução das erosões foi mais alta.

Neste ponto cabe apontarmos que os autores que trabalham com o estudo de escorregamentos marginais – DE JORGE (1984) e COLÂNGELO (1990) – utilizam critérios mais relacionados com este tipo de processo (forma da vertente e declividade); enquanto FERNANDEZ (1995), que estuda principalmente os solapamentos, cuja ação das ondas é preponderante, utiliza, também, critérios de interferência na formação das ondas (batimetria das margens e rampas das praias). Isso evidencia que cada forma erosiva está sujeita a diferentes processos erosivos dominantes e que, conseqüentemente, deverão ser estudados a partir de análises morfométricas de parâmetros específicos relacionados aos processos dominantes.

Além das questões morfométricas, DE JORGE (1984) também faz uma importante constatação sobre a questão dos materiais da vertente, do ponto de vista geomorfológico. Sobre a resistência dos materiais à abrasão causada pela ação das ondas o autor afirma que “é de se esperar que os solos sejam muito mais susceptíveis à abrasão do que as rochas” (DE JORGE, 1984, p.104). O autor ainda expõe a consideração de que a espessura da camada de solo possui relação com a susceptibilidade à ação das ondas e que nas vertentes com rochas a ação das ondas provoca a liberação de blocos individuais de estruturas resultantes da foliação, de fraturas e outras discontinuidades em geral das rochas. Por fim, também sobre os materiais da vertente, FERNANDEZ (1995) chama atenção para o fato de que as características granulométricas dos sedimentos das praias adjacentes aos processos erosivos podem contribuir para o entendimento da capacidade de remoção pelas ondas dos diferentes tipos de sedimentos.

5.3.3. Condições pedológicas das margens

Inicialmente ressaltamos a importância das características estruturais como fator condicionante das erosões em margens de reservatório. Neste contexto, ressalta-se a importância de parâmetros de análise como a espessura dos solos e a organização dos horizontes, pois estas características permitem uma primeira análise, mais generalista, sobre esta relação.

Solos mais espessos estão susceptíveis a maior ação mecânica das águas e ondas dos reservatórios, por períodos maiores de tempo. Assim, como a organização dos horizontes dos solos pode demonstrar se o contato entre água e solo ocorre em horizontes mais susceptíveis ou menos susceptíveis à ação da água. Em relação a esta discussão, há poucas referências na bibliografia consultada. Assim, ao longo do próximo capítulo, no qual faremos a análise dos dados obtidos em nosso estudo de caso, tentaremos abordar alguns destes aspectos de forma a contribuir para tal discussão.

A bibliografia consultada, que versa sobre características dos solos de maneira geral, ou que analisam a relação entre características dos solos e as erosões, analisa os processos de perturbação dos solos a partir da alteração de seus atributos físicos e químicos, sobretudo no que se refere à ação da água como principal agente indutor das alterações.

JENNY (1941, apud QUEIROZ NETO, 2011) já interpretava que a circulação de água ao longo das vertentes poderia resultar em variações de granulometria, de bases trocáveis e outras características dos solos. Em margens de empreendimentos hidrelétricos a água também é o principal agente responsável por tais alterações, seja de forma direta ou indireta, seja pela ação de sua química, seja pela ação física provocada pelos movimentos da água nas margens dos reservatórios.

Para entender este papel da água na alteração dos solos, SILVA (1999) discorre sobre a morfologia dos solos e suas relações com os processos erosivos. O autor utiliza os seguintes parâmetros morfológicos para a descrição de um perfil de solo: cor, agregados, porosidade, feições pedológicas e estabilidade dos agregados. Considerando-se tais elementos, verifica-se que a cor, os agregados e a porosidade dos solos poderão ser alterados pela presença de água. Destes elementos, a porosidade apresenta grande relação com a colapsividade dos solos.

COLÂNGELO (1990) aponta a necessidade de análise da colapsividade dos solos, para o entendimento da ação da água como fator de cisalhamento, gerando indução/geração de

processos erosivos marginais. Os solos colapsáveis são definidos por GUSMÃO FILHO (2006) como aqueles “não saturados que apresentam mudança brusca no estado tensão-deformação, quando se aumenta o grau de saturação sem mudança do estado de tensões”. Para RODRIGUES & VILAR (2013), estes solos apresentam condições de predisposição tais como alta porosidade (acima de 40%) e baixos valores de umidade (graus de saturação em geral inferiores a 60%).

No sentido de se entender o papel da granulometria dos solos na sua colapsividade, NUNES et al (2014) aponta que “solos com composição mais grossa (mais arenosos) são muito mais colapsáveis que os de composição mais fina (mais argilosos)”.

Conforme aponta COLÂNGELO (2012), o solo é resultado do jogo das tensões passivas (de resistência ao cisalhamento) e ativas (tensão cisalhante), que encontram-se em permanente confronto. A coesão dos materiais é proveniente das argilas e por seu atrito com as frações arenosas. A ação da água altera o estado das argilas e a capacidade de atrito destas com as areias. Assim, há uma alteração do coeficiente destas tensões e, quando as tensões cisalhantes se sobrepõem às tensões de resistência ao cisalhamento dos solos, ocorrem os processos de ruptura dos limiares de estabilização.

Assim, diante do exposto acima, em relação às condições físicas do solo, no que tange à erosão em margens de reservatório, entende-se que os principais atributos do solo a serem estudados são a granulometria, a porosidade, a umidade, a colapsividade e a resistência ao cisalhamento.

No que tange à alteração dos atributos químicos dos solos, novamente temos a água como principal agente indutor de alterações. A modificação do nível de umidade dos solos irá proporcionar novas reações químicas nestes, modificando suas propriedades. Neste sentido, ressaltam CAMARGO, SANTOS & ZONTA (1999) que "as principais alterações eletroquímicas que ocorrem após a inundação são a diminuição do potencial redox, aumento do pH em solos ácidos e decréscimo em solos alcalinos, aumento da condutividade elétrica e de reações de troca iônica".

QUEIROZ NETO (2011) cita os estudos de Melfi (1969) e Lima (1996) que comprovam a ação geoquímica das águas intempéricas, respectivamente nas regiões de Itu (SP) e do Triângulo Mineiro (MG). As trocas catiônicas observadas no primeiro autor citado (Melfi, 1969) podem resultar em transformações dos minerais presentes no solo, com consequente modificação das características dos seus horizontes, e até na perda de volumes dos solos. Já no segundo caso (Lima, 1996), em estudo sobre as veredas, verificou-se que a saturação em água "é responsável pelo desaparecimento das concreções ferruginosas, mudanças de cor e diminuição dos teores de

argila [...], além de formar o horizonte turfoso”. QUEIROZ NETO (2011), ainda em referência ao estudo de Lima (1996), aponta que na área estudada por este autor não se verificou o entalhamento por curso d'água e de depósitos sedimentares; concluindo que foi o intemperismo o processo responsável pelas transferências de matéria ao longo do perfil do solo.

Verifica-se que em reservatórios hidrelétricos ocorre ação semelhante a esta citada por QUEIROZ NETO (2011), com base em Lima (1996), sobretudo nas áreas de deplecionamento do reservatório, principalmente nos que funcionam como reservatórios de acumulação, onde este deplecionamento alcança maior amplitude. Estas áreas ficam sujeitas a inundações periódicas, que envolvem longos períodos de saturação por água. Para as áreas que se mantêm frequentemente inundadas podem ocorrer processos semelhantes, porém, com intensidade muito superior, e a análise de tais alterações deve ser acrescida de elementos referentes aos processos de sedimentação do reservatório.

5.3.4. Condições geológicas das margens

Conforme dito anteriormente, há um primeiro nível de análise da influência das condições geomorfológicas das margens e da própria região de inserção do reservatório que condiciona a configuração do reservatório e, por conseguinte, a ocorrência dos processos erosivos. Estas condições geomorfológicas encontram-se no nível da configuração da bacia hidrográfica, a qual é organizada pelos aspectos estruturais do relevo, ou seja, extremamente influenciada pelas condições geológicas regionais.

Neste primeiro nível de análise, podem-se inferir algumas condições geológicas relacionadas aos processos erosivos. A partir de mapas de pequena escala, identificam-se as unidades litológicas presentes regionalmente e como estas interferem, por meio de suas propriedades físico-químicas, na configuração do reservatório. Os resultados desta análise devem ser correlacionados aos dados da análise geomorfológica, de ventos e de ondas, para a identificação de áreas mais susceptíveis à instalação de processos erosivos.

A partir daí, entra-se em um segundo nível de análise, no qual se verifica uma relação grande entre as condições geológicas, geomorfológicas e pedológicas das margens. Conforme expusemos anteriormente, no que se refere aos materiais do ponto de vista geomorfológico, para o estudo dos processos erosivos marginais, é importante saber se o contato da água (do

reservatório) com as margens se dá em material rochoso ou no solo, e qual a espessura desta camada de solo.

Ocorrendo o contato direto da água com material rochoso deve-se analisar a capacidade de retenção dos processos erosivos por tais materiais, a partir de suas propriedades físicas (porosidade, permeabilidade, dureza e elasticidade das rochas), mecânicas (resistências à compressão, ao choque e ao desgaste) e geotécnicas (graus de alteração, consistência e fraturamento). A análise destes elementos, total ou parcialmente, poderá indicar quais são os processos erosivos instaurados sobre materiais mais susceptíveis ao desgaste.

Estas considerações verificadas para o contato da água com o material rochoso também podem ser extrapoladas, parcialmente, para o caso dos solos. Neste caso, é de extrema importância uma análise sobre o grau de alteração do material e quais as propriedades físicas e químicas da rocha ainda se encontram preservados no solo.

Os principais estudos de referência utilizados nesta pesquisa (DE JORGE, 1984; COLÂNGELO, 1990 e FERNANDEZ, 1995) não apresentam dados de correlação direta entre os processos erosivos marginais e as condições de litologia das margens. Em geral, esta correlação está apresentada por meio de outros parâmetros – geomorfológicos e pedológicos, que possuem mais relação com a geologia local –, sendo apresentada de maneira indireta. COLÂNGELO (1990) é, dentre estes, o autor que mais se aproxima desta correlação, ao falar sobre as declividades e as formas das vertentes das áreas afetadas pelos escorregamentos analisados por ele. Nestas observações, o autor apresenta uma correlação em que a AT1, onde predominam os micaxistos, apresenta uma relação de 1,7 escorregamentos por km²; enquanto a AT2, onde predominam os migmatitos, apresenta uma relação de 1,8 escorregamentos por km² e a AT3, onde predominam os granitoides, apresenta uma relação de 0,9 escorregamentos por km².

Relações entre as condições hidrogeológicas e os reservatórios

Uma das condições ambientais alteradas pela implantação de reservatórios mais estudada é a hidrogeologia. ALBUQUERQUE FILHO & LEITE (2002) e ALBUQUERQUE FILHO, SAAD & ALVARENGA (2010) apresentam uma vasta bibliografia, tanto nacional, quanto internacional, acerca de estudos que avaliam as alterações no lençol freático em decorrência da implantação de reservatórios. Esse esforço de entendimento das alterações hidrogeológicas decorre (i) da magnitude das alterações provocadas, (ii) da influência do ambiente hidrogeológico nos reservatórios e nas barragens e (iii) do entendimento de que estas alterações estão diretamente relacionadas aos processos erosivos.

Quanto à magnitude dos impactos, MEDOVAR & AKHMETYEVA (1984, apud ALBUQUERQUE FILHO & LEITE, 2002) indicam que a construção de reservatórios em rios da antiga URSS resultou em acréscimos de volume de água nos aquíferos livres adjacentes a esses reservatórios superiores aos volumes de água dos próprios reservatórios implantados. Já quanto à influência do reservatório no ambiente hidrogeológico e, no sentido inverso, deste no reservatório e na barragem, deve-se ressaltar o impacto de tais alterações sobre áreas urbanas próximas aos reservatórios, sobre a vegetação (pelo afogamento das raízes), e o risco de salinização dos solos em áreas tropicais, além da necessidade de adoção de processos construtivos nas barragens, bem como a implantação de sistema de monitoramento destas que reduzam os impactos e riscos sobre os empreendimentos. No entanto, nenhum destes aspectos é objeto desta pesquisa e, apesar da necessidade de os citarmos aqui, eles não serão aprofundados neste trabalho.

Nossa intensão principal com este item é o entendimento de que estas alterações no ambiente hidrogeológico estão diretamente relacionadas aos processos erosivos. Na literatura consultada nesta pesquisa, esse entendimento fica explícito no trabalho de COLÂNGELO (1990). O autor expõe que:

[...] um lago artificial, a partir de sua implantação, produz uma ruptura na evolução dos sistemas de vertentes marginais. Esta descontinuidade observada no ritmo evolutivo da paisagem local ocorre pela elevação do nível de base natural, o que implica em fortes mudanças não só na dinâmica das vertentes marginais do lago, mas em toda a bacia de drenagem manejada. (p. 31)

Mais adiante, o autor ainda afirma que “a elevação artificial e momentânea do nível de base, com inundação parcial das encostas, provoca uma ruptura na dinâmica dos processos vinculados ao recuo das vertentes e incisão dos rios, favorecendo alguns tipos e inibindo outros” (p. 31).

Para entender como ocorre tal relação entre alteração do lençol freático e os processos erosivos marginais, primeiramente é necessário recorrer ao modelo esquemático de evolução do processo de elevação induzida do lençol freático nas margens de reservatórios. Para tanto, recorreremos ao modelo esquemático apresentado em ALBUQUERQUE FILHO & LEITE (2002). Segundo tais autores, este processo de elevação inicia-se com a formação do reservatório com a indução imediata de um fluxo transitório nas margens do reservatório. Na sequência, o reservatório passa a alimentar o aquífero, uma vez que a alimentação de água pelo reservatório, neste momento, encontra-se em um nível topográfico superior ao do aquífero natural. Por fim, com a elevação da posição topográfica do nível de descarga de base regional, inverte-se novamente o fluxo d'água, estabelecendo de forma permanente e em longo prazo um novo regime

hidrogeológico. A Figura 5.3.4-1 apresentada adiante demonstra estas etapas do processo de elevação induzida do nível freático.

ALBUQUERQUE FILHO, SAAD & ALVARENGA (2010) citam que ao longo deste processo pode ocorrer o “adensamento volumétrico de solos anteriormente com baixos teores de umidade e com estruturação interna instável, com consequente diminuição na sua capacidade de suporte de carga e modificação na estabilidade geotécnica”.

Figura 5.3.4-1 – Modelo esquemático de evolução do processo de elevação induzida do lençol freático nas margens de reservatórios

Fonte: Extraído de ALBUQUERQUE FILHO & LEITE, 2002

COLANGELO (1990) apresenta um quadro mais detalhado, no qual existem três subsistemas hidrodinâmicos: (i) porção permanentemente inundada, na qual os materiais inconsolidados encontram-se saturados e, consequentemente, com alto risco de desestabilização; (ii) porção submetida à saturação e dessecação em virtude do deplecionamento do reservatório (chamada pelo autor de “Cinturão de Oscilação Hidrodinâmica”), onde se verifica aumento do risco de ocorrência de colapso dos materiais inconsolidados, decorrente das pressões (neutras) da ação da água anularem as forças coesivas, causando alívio de carga nos materiais inconsolidados submersos; e (iii) porção permanentemente emersa, na qual os solos apresentam condições normais de drenagem, com forças coesivas suficientemente fortes para anular as forças de cisalhamento.

Nesta pesquisa, como poderá ser observado em outros capítulos deste trabalho, não se realizou nenhum tipo de monitoramento direto da situação do ambiente hidrogeológico das margens dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana. Em parte, tal opção decorre do fato de se tratarem de reservatórios antigos, onde já se verificou uma estabilização do nível freático diante das novas condições regionais, inclusive, possivelmente, já tendo sido também estabilizadas as condições de alteração dos solos por conta deste novo nível de base. Além disso, esta influência do nível freático sobre as alterações nos solos pode ser percebida em variáveis dos solos monitoradas diretamente no projeto.

Por fim, convém dizer que entendemos que se trata de uma condicionante ambiental das margens que merece grande atenção durante a implantação dos reservatórios e nos seus primeiros anos de operação – período em que as alterações do ambiente hidrogeológico são mais severas podendo resultar em interferência sobre os solos marginais e, conseqüentemente, nos processos erosivos marginais, sobretudo os de movimentos de massa. No entanto, verifica-se que esta condicionante vai diminuindo o seu peso de influência sobre a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos marginais ao longo do tempo, dada a grande magnitude assumida por outros condicionantes (por exemplo, as ondas geradas no reservatório) na composição de forças para o surgimento e o avanço de tais processos.

Atividade sísmica e a dinâmica dos processos erosivos em margens de reservatórios

DE JORGE (1984) realiza algumas inferências sobre a possibilidade de ocorrência de processos erosivos em margens de reservatórios influenciados pela ocorrência de eventos sísmicos. Para tanto, o autor cita a comprovada relação entre eventos deste tipo e processos erosivos ocorridos em áreas distantes de margens de reservatórios e identifica outros autores que estudaram essa relação em margens de reservatórios, como em Vajont (na Itália) e Kremasta (na Grécia). Ele conclui que:

[...] a falta de registro confiável do histórico das ocorrências de escorregamentos em encostas marginais de reservatórios em áreas de sismos induzidos comprovados (por exemplo, o reservatório Paraibuna-Paraitinga) não permite uma análise consistente dessa relação causa-efeito. As evidências, entretanto, parecem indicar que, pelo menos em alguns casos, as rupturas das encostas estão mais diretamente associadas às vibrações das ondas sísmicas do que a outros fatores. (p. 79)

Nesta pesquisa não consideramos esta relação entre a atividade sísmica e a dinâmica dos processos erosivos em margens de reservatórios. Primeiramente, porque a região de inserção dos reservatórios em estudo não apresenta atividade sísmica significativa. E, também, em segundo

lugar, porque entendemos que a relevância desta condicionante no contexto de forças indutoras dos processos erosivos em margens de reservatórios, exceto em condições extremamente específicas, é insignificante pela sua frequência de ocorrência e magnitude do efeito, quando comparados, por exemplo, à ação das ondas, ou mesmo à alteração do nível de base do ambiente hidrogeológico.

5.3.5. Clima e ação de ventos e ondas

Para o estudo das erosões, os autores consultados nesta pesquisa debruçam-se sobre a pluviosidade, a umidade do solo e os ventos, como principais condições climáticas. Destes atributos climáticos, a relação entre pluviosidade e processos erosivos é certamente a mais estudada dentre os atributos climáticos. Diversos autores já estudaram o efeito das gotas d'água e o escoamento superficial como fator de erosividade nos solos (em contraposição ao fator da erodibilidade dos solos).

A pluviosidade está diretamente relacionada à umidade do solo, a qual influencia o nível de coesão dos solos impondo maior ou menor predisposição à ocorrência dos processos erosivos. Assim, a pluviosidade possui grande relação com os processos erosivos, sobretudo nas vertentes emersas e mesmo nas margens de reservatórios, pois como aponta FERNANDEZ (1995), em seus estudos sobre o reservatório da UHE Itaipu, “a época de maior erosão nas margens no reservatório coincide com o período chuvoso, que inclui os meses de setembro a março”.

No entanto, apesar desta importância, quando se estuda as margens de reservatórios de grande porte, a pluviosidade passa a ter um peso menor do que os ventos. Não pela erosividade dos ventos em si, mas sim pelo potencial de formação de ondas que os ventos possuem. E as ondas se sobrepõem a todos os fatores das condicionantes ambientais analisadas, como veremos a seguir. Este entendimento é corroborado por ALLEN & TINGLE (1992) que apresentam um resumo do relatório técnico de um grupo de trabalho do USACE sobre as causas dos processos erosivos marginais em reservatórios e afirmam que:

[...] ondas geradas pelo vento são a causa predominante de erosão em grandes reservatórios. A magnitude da erosão e as partes mais vulneráveis das margens são determinadas, em parte, por fatores como a direção do vento predominante; esforço, duração do vento e velocidade do vento; condições do solo e geometria das margens.

Além disto, também afirmam que, enquanto causa secundária dos processos erosivos marginais, “o grau de erosão de escoamento de água da chuva é determinada pela intensidade das chuvas periódicas, especialmente em bacias hidrográficas com solos de grão fino”.

Embora voltado para o auxílio à navegação na Hidrovia Tietê - Paraná, FEPISA, UNESP & FATEC JAHU (2011), realizaram um estudo de modelagem de ondas para os reservatórios das UHE Ilha Solteira e Jupia. Parte importante deste trabalho correspondeu a um extensivo e minucioso trabalho de caracterização do regime de ventos. Para a realização desta caracterização houve um trabalho inicial de coleta e organização dos dados meteorológicos, em especial dos ventos, para o período entre 1970 e 1997. A Estação Ilha Solteira - Cesp foi a responsável pelo fornecimento dos dados. Neste trabalho percebe-se, para os estudos mais precisos de ondas em reservatórios, a importância de longos períodos de dados e da necessidade de proximidade de estações meteorológicas junto aos empreendimentos, de maneira que haja a possibilidade de integração de dados de diferentes regiões dos reservatórios. A partir deste trabalho foi realizada a caracterização das velocidades dos ventos (média, máximas e medianas diárias), das direções dos ventos (distribuição média anual de ventos e de ventos máximos para cada direção), dos períodos de calmaria e das frequências acumuladas das velocidades. A partir desta compilação de dados chegou-se a uma distribuição sazonal dos ventos reinantes. Este conceito, de vento reinante, é muito importante para o estudo de erosões marginais, posto que este vento é o mais energeticamente intenso, sendo medido em J/kg.

Adiante verificaremos questões relativas à ação das ondas em um tópico separado, dada a sua complexidade, uma vez que este conhecimento vai além do entendimento dos aspectos dos ventos. Como afirma VIEIRA (2013, p.45),

[...] entre o final dos anos 40 e princípio dos anos 50 era comum pesquisadores proporem fórmulas empíricas que relacionassem à altura das ondas com a velocidade dos ventos, ambas observadas em um mesmo local. [...] Porém, foi logo notado que estas fórmulas eram inadequadas, pois as ondas observadas em um determinado local dependiam não apenas da velocidade do vento, mas também da pista (fetch; dimensão da área em que o vento está atuando) e da sua duração. Além disto, muitas vezes ondas são observadas sem a presença de ventos.

A delimitação das pistas de ventos em reservatórios

As pistas de vento, ou fetch, segundo alguns autores, são a máxima extensão livre do reservatório para a aceleração e ação contínua dos ventos a partir de um determinado ponto da margem. Trata-se de um importante fator na composição das modelagens para determinação dos regimes de ondas.

Há diferentes modelos e métodos para cálculo destas pistas de vento. FERNANDEZ (1995) cita, por exemplo, a metodologia apresentada por SAVILLE et al. (1962), enquanto FEPISA, UNESP & FATEC JAHU (2011) utilizam uma ferramenta desenvolvida no Departamento de Engenharia Civil da Unesp – Campus Ilha Solteira, denominado OndisaCAD, que possui interatividade com o programa AutoCAD, da empresa Autodesk.

Com a rapidez e a maleabilidade das ferramentas computacionais tornou-se possível a realização de modelagens para diferentes ângulos de incidência dos ventos, com maior rapidez. Além disso, permite-se a sobreposição de diferentes modelos possibilitando a identificação das maiores pistas de vento para qualquer direção de vento.

Para os estudos sobre processos erosivos marginais trata-se de uma informação de grande relevância, pois como afirma FERNANDEZ (1995) em seu estudo sobre o reservatório da UHE Itaipu, os pontos de monitoramento localizados em regiões peninsulares, onde se observou as maiores taxas erosivas, são também aqueles com as maiores pistas de vento.

As ondas como fator de geração de processos erosivos marginais

Como pode ser observado ao longo de todo este trabalho, é unânime o entendimento de que as ondas são o fator preponderante na evolução dos processos erosivos marginais. Esta constatação pode ser observada tanto na literatura nacional (LEITE et al, 1982; DE JORGE, 1984; COLÂNGELO, 1990 e FERNANDEZ, 1995), quanto na literatura estrangeira (ALLEN & TINGLE, 1992; HOLMSTEAD, 2003; ELÇI & WORK, 2003 e outros) consultadas.

Os autores nacionais – LEITE et al, 1982; DE JORGE, 1984; e FERNANDEZ, 1995 – que adotam a metodologia proposta por GUIDICINI & NIEBLE (1983) de distinção dos agentes e causas dos processos erosivos (nesta aplicação, mais especificamente os movimentos de massa) apontam as ondas como o agente efetivo imediato (responsável direto) pela ação erosiva sobre as condicionantes geomorfológicas e pedológicas.

Apesar da relevância desta condicionante, ainda se verifica uma baixa produção nacional sobre os modelos de ondas em reservatórios hidrelétricos e poucos estudos sobre a relação entre as ondas e os processos erosivos marginais, além do fato de que esta condicionante não é adequadamente estudada nas etapas de planejamento deste tipo de empreendimento.

Como ressalta VIEIRA (2013, p. 37):

[...] mecanismos de geração e propagação de ondas por ação do vento têm constituído estudo clássico para áreas abertas. Estudos dessa natureza têm sido convalidados, com significativo sucesso, a partir de códigos de cálculo consagrados no meio costeiro, e de resultados confrontados com medições oportunas ao largo ou na costa (boias). Uma segunda vertente, ainda bastante carente em termos de estudos de previsão e validação, são ondas geradas por vento em corpos d'água interiores de grande superfície, como é o caso de lagos de reservatórios de barragens, ainda que tais ambientes forneçam condições favoráveis para estudos de engenharia fluvial, mais especificamente hidráulica de reservatórios.

O estudo das ondas indica que elas podem ser analisadas sob diversos parâmetros, que influenciam comportamentos distintos, assim como a influência sobre as margens afetadas. Abaixo segue uma relação dos parâmetros observáveis nas ondas, conforme descrição de HAHARI (2014):

- *Elevação η* : é a distância vertical instantânea de um ponto da superfície a um nível representando a superfície sem distúrbio.
- *Altura de onda (H)*: é a distância vertical entre uma crista (máxima elevação) e o cavado (mínima elevação) adjacente.
- *Amplitude (A)*: é a metade da altura de onda, $A=H/2$.
- *Comprimento de onda (L)*: é a distância horizontal entre cristas consecutivas (ou cavados consecutivos), na direção de propagação da onda.
- *Número de onda (k)*: é a relação $k = 2\pi/L$.
- *Período da onda (T)*: é o intervalo de tempo entre a ocorrência de cristas (ou cavados) sucessivos, numa posição fixa.
- *Frequência (f)*: é o número de cristas (ou cavados) que ocorrem numa posição fixa por unidade de tempo, $f = 1/T$.
- *Frequência angular (σ)*: é a relação $\sigma=2\pi/T$.
- *Velocidade de fase (c)*: é a velocidade na qual a onda viaja, $c = L/T = \sigma/k$.
- *Velocidade de grupo (c_g)*: é a velocidade na qual a energia das ondas se propaga, $c_g = d\sigma/dk$.
- *“Esbeltez”*: é a relação H/L .

Adiante, a Figura 5.3.5-1, apresenta um esquema no qual podem ser observados alguns destes parâmetros.

Figura 5.3.5-1: Esquema sobre parâmetros constituintes das ondas

Fonte: Extraído de MEIRELLES & VIOLANTE-CARVALHO (2007)

Para o estudo do efeito das ondas sobre as margens dos reservatórios e sua influência nos processos erosivos é importante lembrar o conceito de que as ondas transportam energia. Logo, é importante identificar os parâmetros e os movimentos das ondas que influenciam na energia transportada e na sua dissipação nas margens. Neste sentido, também é importante entender os movimentos mais próximos das margens que vão originar a quebra das ondas.

Para finalizar, sobre esta relação apresenta-se uma análise de VIEIRA (2013, p. 45) sobre esta situação, que sintetiza um pouco do que é necessário se observar em relação às ondas para entender sua manifestação sobre as margens:

Sabe-se que durante tempestades, a altura e a contínua quebra de ondas são fenômenos observáveis e significativos. Neste estágio a agitação marítima é chamada de vagas (sea ou windsea). Quando o vento cessa ou as ondas avançam para outra região sem vento, recebem o nome de marulho (swell). Neste regime, as cristas são arredondadas e a distância entre elas são maiores. Parecem "calmas" enquanto as vagas parecem "nervosas". A fonte de energia torna-se pequena com o enfraquecimento do vento, e as ondas curtas desaparecem primeiro, deixando somente as maiores. As cristas pontiagudas tornam-se menos frequentes. A irregularidade, ou a aparente falta de organização com quebra de ondas de várias direções desaparecem. As cristas que restam diminuem de altura, perdem a ingremidade e se assemelham às ondas que se formam pelo impacto de um objeto arremessado em um lago calmo.

5.3.6. Condições de uso e ocupação das margens

Há um conceito consagrado entre os estudiosos dos processos erosivos sobre o efeito benéfico da presença de vegetação sobre o solo, como fator de redução das taxas de erosão. Diferentes das condicionantes anteriores, as quais são discutidas a partir da perspectiva de aumentarem a predisposição aos processos erosivos, a vegetação é um item sempre abordado a partir de sua perspectiva de prevenção quanto à ocorrência de processos erosivos.

SELBY (1982) aponta que os principais efeitos da vegetação que atuam na redução da erosão são:

1. a interceptação da chuva pelo dossel da vegetação;
2. a diminuição da velocidade de escoamento superficial, e, portanto, a ação de retenção da água, diminuindo sua capacidade para transportar sedimentos;
3. os efeitos da raiz em aumentar a resistência do solo, a granulação e a porosidade;
4. atividades biológicas associadas ao crescimento da vegetação e sua influência na porosidade do solo;
5. a transpiração de água, que conduz à subsequente secagem do solo;
6. o isolamento do solo contra as altas e baixas temperaturas, que causam rachaduras ou congelamento das camadas superficiais do solo, pela formação de gelo e
7. a compactação das camadas internas do solo.

Como pode ser constatado, trata-se de uma aplicação bastante útil quando se pensa em processos erosivos dominados pela ação das águas pluviais. No entanto, os processos que ocorrem nas margens de reservatórios são mais complexos do que os observados em vertentes submetidas somente à ação das águas pluviais.

Portanto, quando pensamos na vegetação como condicionante envolvida nos processos erosivos marginais, devemos incluir novos olhares sobre esta questão. Uma primeira observação refere-se a que posição da vertente estamos nos referindo. Quando a vegetação encontra-se no talude próximo ao reservatório, sua função principal é o amortecimento da energia das ondas; enquanto, quando discutimos a vegetação nas porções da vertente superiores ao talude localizado na margem, esta tem como funções principais (i) a diminuição da velocidade de escoamento superficial, com o consequente aumento da retenção da água e a redução da capacidade de transporte de sedimentos, e (ii) a barreira formada para a ocorrência da ação física de desagregação do solo decorrente da ação animal (no caso das pastagens) e antrópica.

Estudando a possível contribuição de diferentes espécies nativas (de hábitos distintos: herbáceas, arbustivas, arbóreas e outras) para o controle de erosão e restauração de margens de corpos hídricos, HIROSE (2013) lista algumas funções principais que as espécies devem possuir para o controle da erosão e a proteção do solo. As funções identificadas são as seguintes:

- revestimento,
- recobrimento,
- retenção hídrica,

- infiltração hídrica,
- redução do runoff,
- retenção de sedimentos,
- input de serapilheira,
- grampeamento do solo, e
- atirantamento do solo.

Esta autora identifica em seu trabalho que as espécies apresentam respostas diferentes na execução destas funções. As diferenças das respostas decorrem do tempo de desenvolvimento e das características morfológicas de cada espécie. Em diversos momentos, a autora frisa a necessidade de se avaliar o tempo de resposta de cada espécie, posto que a proteção dos processos erosivos requer respostas rápidas, sob pena de se agravar o processo e a espécie escolhida não apresentar uma resposta adequada sob a nova condição formada.

Portanto, a análise da vegetação como fator de estabilização dos taludes marginais, tanto na análise do seu efeito retardador, quanto na perspectiva de implantação para a recuperação das áreas degradadas, deve levar tais conceitos em consideração. Tal explicação fica evidente novamente por meio do trabalho de HIROSE (2013, p. 252), quando a autora expõe que:

[...] espécies arbóreas de porte médio ou acima, por tornarem-se mais pesadas e muitas vezes altas, em situações de declividade mais acentuada, de instabilidade do solo, de solo mais rasos, ou de ventos mais fortes, apresentam maior risco de queda pelo “efeito alavanca” durante sua fase inicial de desenvolvimento, até que suas raízes e sua copa consigam exercer proteção ao solo. Assim, nas margens de corpos hídricos, estas arbóreas nem sempre podem ser aplicadas diretamente em zona íngreme dos diques marginais muito próximas ao canal fluvial, devido aos riscos de queda sem que se faça anteriormente uma preparação para a sua instalação. O mesmo princípio se aplica a encostas de reservatórios, onde muitas vezes os taludes construídos são íngremes. Diferentemente, subarbustivas e arbustivas são mais leves e de rápido crescimento, e podem formar uma proteção inicial mais adequada em terrenos de declividades mais acentuada.

Outros estudos realizados em reservatórios também apontam as limitações da vegetação como uma proteção para a ocorrência de processos erosivos marginais, em virtude do tipo de agente envolvido nestes processos. FERNANDEZ (1995) cita os trabalhos de LUKAC (1982), sobre reservatórios na antiga Checoslováquia nos quais a cobertura vegetal foi um elemento ineficaz na proteção das margens contra os processos erosivos, e DE ÁVILA *et al.* (1984), em estudo dos reservatórios de Paraibuna-Paraitinga, onde a vegetação foi fator de redução da ação das ondas sobre as margens.

Após citar estes exemplos, FERNANDEZ (1995, p.72) apresenta os resultados de seu estudo sobre o reservatório da UHE Itaipu informando que “as estações de monitoramento da erosão marginal foram instaladas em trechos com diferentes tipos de cobertura vegetal [...] demonstrando que no lago de Itaipu a maior densidade da vegetação não diminui as taxas de erosão”. Adiante, no Quadro 5.3.6-1, apresentamos os resultados apresentados pelo autor.

Quadro 5.3.6-1 – Relação entre as taxas de evolução dos processos erosivos no reservatório da UHE Itaipu e o tipo de cobertura vegetal do entorno

Taxa de evolução do processo erosivo (m)	Tipo de cobertura vegetal	Estação (margem)
8,41	mata natural remanescente	7 (paraguaia)
6,46	mata natural remanescente	4 (brasileira)
6,26	mata natural remanescente	9 (paraguaia)
4,84	vegetação secundária	6 (paraguaia)
2,85	pastagem artificial	8 (paraguaia)
1,85	vegetação secundária	5 (brasileira)
1,62	vegetação secundária	2 (brasileira)
1,17	área reflorestada	3 (brasileira)
1,08	vegetação secundária	1 (brasileira)

Fonte: Adaptado de FERNANDEZ (1995)

Como pode ser observado, as maiores taxas de evolução dos processos são observadas nas áreas com mata natural remanescentes. Outra constatação é a de que a margem paraguaia apresenta taxas de evolução superiores à margem brasileira. Para explicar tal situação o autor aponta que “a maior parte da atual Faixa de Proteção em território brasileiro era utilizada na agricultura, enquanto que grande extensão da margem paraguaia encontra-se ainda coberta por mata natural remanescente” (1995, p. 74). Em outro ponto o autor faz uma afirmação que, relacionada à anterior, justifica a constatação acima:

[...] os solos utilizados na agricultura mecanizada, sofreram compactação das camadas superiores com a formação de um substrato compacto e praticamente impermeável abaixo do horizonte arado, denominado “pé-de-arado”. Estes solos experimentam uma redução na capacidade de infiltração das águas pluviais e a compactação secundária aumenta a resistência dos solos com a erosão marginal. Por outro lado, os solos cobertos por matas naturais não apresentam a mencionada compactação secundária, tornam-se mais susceptíveis a erosão. (1995, p. 72)

D’ARMADA et al (2011), em estudo sobre o reservatório da UHE Porto Colômbia, apontam maior resistência aos processos erosivos nos locais onde existe vegetação de proteção ciliar, mesmo com pequeno porte. Ao longo desta pesquisa, não tivemos acesso à íntegra deste trabalho e a apresentação consultada não possui o nível de detalhe sobre os procedimentos realizados para

se chegar a estes dados necessário para uma análise mais aprofundada sobre a afirmação dos autores. No entanto, entendemos ser importante citar este trabalho como contraposição aos outros citados anteriormente.

Trata-se certamente de um assunto polêmico, posto que contradiz conceitos solidificados da geomorfologia e de estudos mais amplos das ciências ambientais baseados na Teoria Geral dos Sistemas. Ainda se dispõe de poucos estudos sobre esta questão, inclusive com ensaios de campo que avaliem os efeitos da vegetação sobre os solos em diversas condições de umidade e tipologias de solos. Além disso, como temos destacado nesta pesquisa, além do estudo das taxas de evolução de alguns processos selecionados e da relação destas taxas com as diversas condicionantes ambientais envolvidas, deve-se sempre considerar as condicionantes em duas etapas distintas, uma relacionada ao surgimento dos processos e outra relacionada ao seu desenvolvimento. Isto porque, para este caso específico, como exemplo, a vegetação pode ser um fator de inibição ao surgimento do processo erosivo, mas, uma vez esta instalada, esta mesma vegetação pode contribuir para sua aceleração.

Capítulo 6

- + Análise das condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões marginais**
- Estudo de caso das UHE Chavantes e Rosana**

6. Análise das condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões marginais – Estudo de caso das UHE Chavantes e Rosana

6.1. Caracterização das áreas em análise

6.1.1. Caracterização dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana e de processos erosivos existentes nestes reservatórios

Conforme exposto anteriormente, adotou-se como área de estudo desta pesquisa os reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana. A seleção destes dois reservatórios teve como principais motivações o fato de serem reservatórios com sistemas de operação diferentes (acumulação e fio d'água) e por estarem inseridos em condições ambientais distintas, ainda que dentro de uma única bacia hidrográfica (o que contribui para a otimização dos recursos disponíveis para a realização da pesquisa).

Realizada a definição dos dois reservatórios como área de estudo, realizou-se um trabalho de campo, em julho de 2012, para seleção dos pontos de monitoramento. No início das atividades de campo verificou-se a necessidade de se realizar uma regionalização dos reservatórios, posto que a observação dos mapas elaborados para apoio ao trabalho de campo apontou diferenças de configuração do reservatório e diferentes compartimentos ambientais ao longo dos reservatórios. Esperava-se, também, que esta regionalização, ou compartimentação, permitisse uma melhor compreensão do funcionamento do reservatório, o que no nosso entendimento ocorreu, conforme poderá ser verificado nos textos adiante.

Para esta regionalização buscou-se trabalhar com um conceito próximo ao da compartimentação topográfica, utilizada na Geomorfologia, conforme aponta CASSETI (2005). Segundo este autor a compartimentação topográfica evidencia as especificidades de cada região (compartimento) resultante da ação de agentes internos (*“comandados pela estrutura, considerando o comportamento litoestratigráfico e implicações de natureza tectônica”*) – e externos (*“relacionados aos mecanismos morfogenéticos, em que os componentes do clima assumem relevância”*). Assim, ainda segundo CASSETI (2005) esta compartimentação:

[...] evidencia o resultado das relações processuais e respectivas implicações tectônico-estruturais registradas ao longo do tempo, considerando o jogo das componentes responsáveis pela elaboração e reelaboração do modelado, em que as alternâncias climáticas e as variações estruturais tendem a originar formas diferenciadas. Dessa maneira, os efeitos paleoclimáticos e eventos tectônicos em determinadas condições estruturais, se constituem em pilares de sustentação para a compreensão do modelado atual, cuja semelhança ou similitude de formas permite a identificação de um compartimento.

No reservatório da UHE Chavantes, dada a heterogeneidade dos atributos do meio físico (formas de relevo, embasamento litológico e solos) foi possível, com os poucos elementos disponíveis naquele trabalho de campo, realizar uma compartimentação a partir destes critérios. Já no reservatório da UHE Rosana, até por sua menor extensão, em relação ao reservatório da UHE Chavantes, não se notou, na escala do material produzido para a atividade, uma heterogeneidade ao longo do reservatório, seja no que refere aos atributos do meio físico, seja até mesmo no tipo de ocupação antrópica. Assim, a sua compartimentação foi fortemente influenciada pela presença do P. E. do Morro do Diabo, o qual ocupa área significativa da margem deste reservatório. Assim, a compartimentação neste caso não obedeceu aos critérios usualmente adotados pela Geomorfologia para compartimentação da paisagem, descritos acima.

Complementarmente ao trabalho de compartimentação dos reservatórios e de seleção dos pontos de monitoramento, fazia-se necessário o conhecimento dos processos erosivos de maneira geral, existentes nas margens destes reservatórios. Dada a magnitude deste trabalho de cadastramento, posto que não existia nenhum trabalho deste tipo para os reservatórios em questão, foi possível se estruturar a melhor maneira de se obter tais dados.

Neste ponto se faz importante voltarmos um pouco no tempo. Nos anos de 2010 e 2011, tivemos a oportunidade de definir metodologicamente as formas de abordagem dos processos erosivos marginais a serem adotadas no Plano de Gestão Ambiental – PGA – das UHEs Chavantes e Rosana, visando à execução das ações previstas em suas Licenças Ambientais de Operação. Assim, em 2012, sob nossa supervisão e seguindo as diretrizes metodológicas traçadas anteriormente, foi iniciado um trabalho de cadastramento dos processos erosivos existentes nas margens destes reservatórios. Para a realização deste cadastramento foram utilizados diversos conhecimentos obtidos no trabalho de campo de seleção das áreas utilizadas nesta pesquisa de Doutorado, inclusive os critérios iniciais para compartimentação do terreno. Essa sinergia de resultados foi possível, também, em virtude da presença do Prof. Dr. Antonio Manoel dos Santos Oliveira, presente na equipe técnica executora do cadastramento e também na equipe técnica do Projeto de P&D do qual esta pesquisa é parte.

O trabalho executado pela Regea Geologia e Estudos Ambientais Ltda., foi contratado pela Duke Energy International, Geração Paranapanema, sendo concluído em abril de 2013. Os resultados deste trabalho foram organizados e apresentados no Relatório Técnico Final - Cadastro dos processos erosivos nas margens dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana (DUKE ENERGY & REGEA, 2013) e estão sucintamente apresentados adiante.

É importante ressaltar que, até então, nestes reservatórios tinha-se somente um cadastro parcial dos processos existentes, baseados nos cadastros mais importantes, segundo o conceito estrito dos responsáveis pelo trabalho e, em geral, identificados inicialmente por imagens de satélites / fotografias aéreas, tendo sido o uso de embarcações somente para confirmação desta identificação preliminar. Neste cadastramento estabeleceu-se como objetivo o cadastramento censitário dos processos (ou seja, de todos os processos visíveis por meio de um deslocamento de barco ao longo de toda a margem do reservatório) e sua fragmentação por seções, ainda que pertencentes a um único processo, de forma a se registrar mais adequadamente a extensão das áreas afetadas e a se criar dados para a análise do comportamento dos processos.

Tal cadastramento é de fundamental importância para esta pesquisa, pois possibilita que tenhamos informações sobre áreas além das monitoradas ao longo do Projeto de P&D da Duke Energy. Somente com um levantamento neste nível de detalhe é possível se atingir os procedimentos metodológicos desta pesquisa, no que se refere à gênese dos processos, como vimos anteriormente.

Adiante se apresenta uma breve caracterização de cada um dos reservatórios, com a descrição dos compartimentos identificados e com uma caracterização dos processos erosivos cadastrados em cada reservatório. Ressalta-se, por fim, que o cadastro sucintamente apresentado logo adiante irá subsidiar parte das análises dos fatores condicionantes da gênese dos processos erosivos marginais, presentes no item 6.2.

6.1.1.a. Caracterização da UHE Chavantes

Compartimentação do reservatório da UHE Chavantes

Inicialmente a compartimentação do reservatório da UHE Chavantes se deu com base na configuração/forma do reservatório, a qual sugere a divisão em 3 compartimentos. Para tanto utilizamos mapas de apoio na escala 1:120.000, com diversos temas. A Figura 6.1.1.a-1 apresenta um resultado da compartimentação realizada para este reservatório cuja área total aproximada é de 400km² e cuja cota do nível normal de operação é 474m.

Figura 6.1.1.a-1 – Mapa de compartimentação do reservatório da UHE Chavantes

Abaixo se apresenta um breve resumo dos critérios adotados para distinção e as condições ambientais encontradas em cada compartimento.

- Compartimento 1 – Barragem: corresponde ao terço do reservatório mais próximo da barragem e mais estreito, onde o reservatório possui largura máxima de cerca de 2 a 3 km. Neste compartimento o reservatório ocupa a calha de dois cursos d'água principais: sobre a calha do rio Paranapanema, na direção oeste – leste e sobre a calha do rio Itararé, no sentido norte – sul. Geomorfologicamente esta área encontra-se em uma transição entre a Depressão Periférica e o Planalto. Nesta região o relevo apresenta vales estreitos, semelhantes a cânions, consequência da resistência à erosão dos materiais originados na Formação Serra Geral. Apesar da predominância dos basaltos da Formação Serra Geral, em alguns pontos verifica-se a ocorrência de arenitos da Formação Pirambóia sobrepostos a estes basaltos. OLIVEIRA (2014) aponta que a:

Formação Pirambóia, que repousa sobre as camadas paleozoicas, apresenta litologias interpretadas como depósito de ambiente continental úmido, oxidante, fluvial em canais meandantes e planícies de inundações, com pequenas lagoas esparsas. Segundo IPT (1981), essa litologias correspondem a arenitos de granulação média a fina, podendo ocorrer arenitos grossos e lâminas argilosas. Predomina a estratificação plano-paralela.

- Compartimento 2 – Corpo principal: corresponde ao trecho do reservatório no vale do rio Itararé, com as maiores larguras, que chegam a atingir mais de 15 quilômetros. Verifica-se neste ponto uma diferença do tipo de terreno do vale, que resulta em terraços fluviais mais extensos, que, após a formação do reservatório, resultaram em mais áreas inundadas. Este compartimento insere-se na Depressão Periférica (Segundo Planalto Paranaense) e apresenta predominância de morrotes e colinas médias. Segundo DUKE ENERGY & FUNDUNESP, 2012, com base em PONÇANO *et al* (1981), os “morrotes possuem cristas sustentadas por diques de rochas básicas, topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, drenagem de média a alta densidade e vales fechados”; enquanto “nas colinas médias predominam interflúvios com topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, drenagem de baixa a média densidade”. Do ponto de vista geológico verifica-se nesta área a ocorrência predominante de formações sedimentares paleozoicas (Formações Itararé, a Teresina e Rio do Rastro), com vários falhamentos e intrusões básicas. As formações Itararé e Teresina são muito heterogêneas litologicamente, com camadas de argilito ora estratificadas ora maciças, siltitos, arenitos, camadas silicificadas, camadas de seixos e blocos, imprimindo complexidade na análise da região. Esta

complexidade é aumentada pela identificação de intrusões básicas em um dos pontos de monitoramento reconhecido em campo, que esclarecem a presença das couraças ferruginosas que representam estágio de alteração da rocha básica no processo de pedogeneização para os argissolos (terra roxa) (OLIVEIRA 2014).

Nos pontos de verificação em campo, a Formação Teresina se apresenta com uma alternância de lâminas, camadas delgadas e bancos de folhelhos, argilitos, siltitos e localmente arenitos finos, camadas de calcário e de sílex, conforme apontado por IPT (1981, apud OLIVEIRA, 2014).

- Compartimento 3 – Interação Reservatório-Rios: corresponde à parte do reservatório formada pelos braços que se desenvolvem nas cabeceiras. Verifica-se nesta parte do reservatório, do ponto de vista geomorfológico, uma significativa mudança dos padrões de drenagem. Assim, o reservatório ocupa as calhas dos rios Itararé, Verde e outros afluentes menores, formando as áreas de remanso, áreas estas fortemente influenciadas pelo deplecionamento do reservatório. Esta mudança do padrão de drenagem, com a redução da planície fluvial do rio Itararé condiciona a configuração da área de remanso, diminuindo significativamente as larguras dos braços do reservatório. Neste compartimento destaca-se a ocorrência da Formação Itararé, a mais extensa em área. A Formação Itararé, segundo IPT (1981, apud OLIVEIRA, 2014), apresenta uma complexa associação de variadas litologias, quase todas detríticas formadas em ambiente glacial, com predominância de arenitos de granulação heterogênea e diamictitos ou argilitos estratificados com a presença de clastos, seixos e blocos, em sua maior parte de granitos e gnaisses, largados por gelos flutuantes (OLIVEIRA 2014).

Análise dos processos erosivos na UHE Chavantes

O cadastramento dos processos erosivos existentes nas margens do reservatório da UHE Chavantes identificou que 21% do perímetro destas margens possui algum tipo de degradação do relevo por processo erosivo. Estas áreas estão distribuídas em 950 seções/feições, distribuídas entre os compartimentos conforme apresentado no Gráfico 6.1.1.a-1.

O número de processos por compartimento é um dado que deve ser relativizado, posto que por si mesmo não possibilita uma análise real do nível de erosão presente em cada compartimento. Nesse sentido, optamos por apresentar, também, a densidade de processos erosivos por compartimento, ou seja, qual o percentual da margem de cada compartimento já foi afetada por processos erosivos, ou a relação entre a extensão em metros de margem afetada pelos

quilômetros de margem de cada compartimento. Conforme pode ser observado no Gráfico 6.1.1.a-2, o Compartimento 2 é o mais afetado proporcionalmente pelos processos erosivos, em decorrência de diversos fatores, como veremos adiante.

Gráfico 6.1.1.a-1 – Número de processos por compartimento do reservatório

Fonte: Adaptado de (DUKE ENERGY & REGEA, 2013)

Nos Compartimentos 2 e 3 (mais amplos), observa-se uma maior vulnerabilidade das margens voltadas para sul e sudeste, de onde vêm os ventos predominantes (ventos de sudeste). Verifica-se também que além dos ventos predominantes e das maiores rampas de vento, também há ausência de barreiras físicas que reduzam a ação dos ventos, tal como as Serras da Fartura e da Catinga fazem com os ventos de nordeste, norte e noroeste.

Em relação a altura dos processos, a predominância é dos processos com alturas inferiores a 1,0 m, em todos os Compartimentos. Em 86 seções/feições, sendo 90,7% destes localizados nos Compartimentos 2 e 3, verifica-se a ocorrência de processos com alturas superiores a 3,0m, prioritariamente na margem paulista e em terrenos com relevo ondulado e forte ondulado. Os processos erosivos mais altos em geral possuem entre 3,0 e 6,0m; no entanto, dois casos se destacam, um com 7,0m (na margem paranaense, do Compartimento 2) e outro com 20,0m (também no Compartimento 2, porém na margem paulista).

Quanto à extensão, verifica-se no Compartimento 1 uma maior proporção dos processos menos extensos (até 100 m), o que possivelmente se explica pelas características litológicas e geomorfológicas do terreno, onde se nota alta densidade de drenagem, quando comparada aos demais compartimentos.

Gráfico 6.1.1.a-2 – Densidade de processos erosivos por compartimento (metro de margem com processo / quilômetro de margem do Compartimento)

Fonte: Adaptado de (DUKE ENERGY & REGEA, 2013)

Compartimento 1 – Barragem

O Compartimento 1, conforme caracterizado acima, caracteriza-se pela formação a partir de rochas menos susceptíveis a erosão (basaltos da Formação Serra Geral), tendo como resultado vales mais encaixados (com grande vertical). Essa característica, por sua vez, resultará em menor largura do reservatório e, conseqüentemente, menor formação de pistas de vento (fetch), reduzindo o efeito da energia das ondas na formação de processos erosivos marginais.

Neste Compartimento foram identificados 56 seções/feições erosivas, cuja extensão total afetada é de 12,18 km, o que corresponde a 6,30 % da extensão total das margens deste Compartimento. Os principais usos do solo afetados por estes processos erosivos foram as matas e pastagens, ainda que em alguns pontos isolados também se verifique a ocorrência dos mesmos em áreas urbanizadas, com empreendimentos turísticos e chácaras de lazer.

No entanto, se, por um lado, fica evidente a distinção deste Compartimento em relação aos demais, internamente se nota a existência de duas partes – uma referente à parte inundada sobre o leito do rio Paranapanema e outra referente à parte inundada do rio Itararé – as quais também apresentam diferenças entre si, ainda que mais sutis.

A parte do Compartimento localizada no rio Paranapanema contribui com apenas 27% dos processos deste Compartimento e 33% do total da extensão de áreas erodidas, enquanto o restante localiza-se na parte do Compartimento sobre o rio Itararé (73% dos processos e 67% da extensão dos mesmos). Quanto à altura dos processos verifica-se que não há diferença entre as partes, sendo que em ambas as alturas são inferiores a 1 m.

Compartimento 2 – Corpo principal

Este Compartimento reflete uma configuração do reservatório resultante do alagamento de morrotes, colinas suavizadas e amplas planícies, que possibilitaram que o reservatório obtivesse uma maior amplitude. Embora o Compartimento tenha inundado áreas semelhantes do ponto de vista geomorfológico, assim como no Compartimento 1, nota-se a existência de duas partes com diferenças sutis entre si.

Verifica-se neste compartimento uma parte caracterizada pela sua porção sul (composta pelas bacias do Ribeirão Jabuticabal e de parte do Rio Itararé, à margem direita) e outra parte caracterizada por sua porção norte (composta pelas bacias do Ribeirão da Cruz e do Ribeirão da Fartura).

A parte da porção sul apresenta maior número de processos erosivos e maior densidade de processos por quilômetro de margem. Porém, a porção norte apresenta processos mais extensos e com alturas mais variáveis (enquanto na porção sul predominam alturas inferiores a 1,5m).

Compartimento 3 – Interação Reservatório-Rios

Este compartimento corresponde às áreas inundadas das cabeceiras dos rios Verde e Itararé. A elevada densidade de drenagem destas bacias resultou em um reservatório cuja forma apresenta elevada quantidade de ramificações.

Neste compartimento foram cadastradas 437 seções/feições, cuja soma das extensões apresenta um total de 102,77 km, o equivalente a 198,5 metros erodidos por quilômetro. Assim como no Compartimento 1, as alturas predominantes são inferiores a 1,0 metro e os principais usos do solo afetados por estes processos erosivos foram as matas e pastagens, embora neste compartimento também se verifique áreas ocupadas por culturas agrícolas afetadas por este tipo de processo.

6.1.1.b. Caracterização da UHE Rosana

Compartimentação do reservatório da UHE Rosana

Enquanto no reservatório da UHE Chavantes a compartimentação baseou-se na configuração do reservatório, na UHE Rosana a compartimentação do seu reservatório foi condicionada pela presença do P. E. do Morro do Diabo. A presença do P.E. do Morro do Diabo é um fator importante para se pensar a divisão do reservatório em diferentes compartimentos, pois do ponto de vista geomorfológico trata-se de um trecho de transição de montante para jusante do reservatório. Neste sentido cumpre dizer que, durante trabalho de campo, observaram-se maiores alturas dos taludes (barrancos) de montante, em relação aos de jusante. Em virtude das alturas dos taludes também se verificaram mais afloramentos rochosos de arenitos no compartimento de montante, em relação ao de jusante. Por fim, em relação aos critérios de compartimentação, vale apontar que no compartimento central, relativo ao trecho ocupado pelo P.E. do Morro do Diabo, praticamente não se observa a presença de processos denudacionais, mesmo na margem paranaense, onde os níveis de preservação são menores (neste trecho) e não há presença de unidade de conservação instituída.

A partir de tais critérios, para o reservatório da UHE Rosana, cuja área total é de 220 km², também foram delimitados três compartimentos, conforme exposto na Figura 6.1.1.a-1, assim denominados:

- Compartimento 1 – Oeste / Barragem
- Compartimento 2 – Morro do Diabo
- Compartimento 3 – Leste / Montante

Em relação à caracterização dos atributos do meio físico dos compartimentos verifica-se que os mesmos apresentam bastante homogeneidade entre si. Toda a área do reservatório da UHE Rosana encontra-se no Planalto Ocidental Paulista (Terceiro Planalto Paranaense). Tanto do lado paulista, quanto no lado paranaense, predominam as colinas amplas, com baixa dissecação vertical. Cabe uma observação importante: a de que, segundo o mapeamento geomorfológico paranaense (SANTOS et al, 2006), o Compartimento 1 encontra-se em uma unidade de relevo denominada Planalto de Paranavaí, enquanto o Compartimento 3, encontra-se em outra, denominada Planalto de Maringá; enquanto que o mapeamento geomorfológico paulista (ROSS & MOROZ, 1997) não apresenta tal distinção, classificando toda a área de influência do reservatório dentro do Planalto Centro Ocidental.

Figura 6.1.1.b-1 – Mapa de compartimentação do reservatório da UHE Chavantes

Quanto ao embasamento litológico, em todos os compartimentos predominam os arenitos da Formação Caiuá, do Grupo Bauru. Segundo IPT (1981, apud OLIVEIRA, 2014), a Formação Caiuá é constituída essencialmente por arenitos, litologicamente muito uniformes, que representam o início da deposição do Grupo Bauru sobre os basaltos da Formação Serra Geral em ambiente predominantemente aquoso. Suas características principais são: arenitos de coloração arroxeada, com marcante estratificação cruzada de grande porte.

No entanto, observa-se também, em pequenas áreas, basaltos da Formação Serra Geral e arenito Santo Anastácio no Compartimento 3, segundo PONÇANO et al (1981, apud DUKE ENERGY & FUNDUNESP, 2012), além de Formações Quaternárias ao longo do terrado do rio Paranapanema. Esta Formação Quaternária ocorre em nível baixo de terraço (junto aos rios atuais), na forma de cascalheiras de seixos de quartzo e quartzito, variedades de sílica micro e criptocristalina (ágata, calcedônia, opala, sílex) de dimensões de 0,5 a 20 cm (IPT, 1981, apud OLIVEIRA, 2014). Estas cascalheira teriam sido formadas em ambiente fluvial, sob clima mais seco que o atual, no Quaternário (OLIVEIRA, 2014).

Análise dos processos erosivos na UHE Rosana

O cadastramento dos processos erosivos existentes nas margens do reservatório da UHE Rosana identificou que 10% do perímetro destas margens possui algum tipo de degradação por processo erosivo. Estas áreas estão distribuídas em 272 seções/feições ao longo dos compartimentos do reservatório conforme mostra o Gráfico 6.1.1.b-1.

Gráfico 6.1.1.b-1 – Número de processos por compartimento do reservatório

Fonte: Adaptado de (DUKE ENERGY & REGEA, 2013)

Verifica-se também que o Compartimento 2 também é mais afetado em termos de densidade de processos erosivos por compartimento, ou seja, qual o percentual da margem de cada compartimento já foi afetada por processos erosivos, ou a relação entre a extensão em metros de margem afetada pelos quilômetros de margem de cada compartimento. Conforme pode ser observado no Gráfico 6.1.1.a-2, o Compartimento 2 é o mais afetado proporcionalmente pelos processos erosivos, em decorrência de diversos fatores, como veremos adiante.

Gráfico 6.1.1.b-2 – Densidade de processos erosivos por compartimento (metro de margem com processo / quilômetro de margem do Compartimento)

Fonte: Adaptado de (DUKE ENERGY & REGEA, 2013)

Adiante se apresenta a caracterização dos compartimentos quanto às suas características e os tipos de processos vigentes em cada um deles.

Compartimento 1 – Oeste / Barragem

Trata-se de uma região litologicamente homogênea, constituída por arenitos (Formação Caiuá) e depósitos sedimentares fluviais. Verifica-se a existência de relevo em geral aplainado, sobretudo nas margens do reservatório.

Foram cadastrados 69 processos de solapamento de margem, com alturas predominantes inferiores a 2,0 metros e extensões entre 101 e 300 metros. Os principais usos do solo afetados são as áreas de pastagem.

Compartimento 2 – Morro do Diabo

Nesse compartimento há uma ampla planície de inundação responsável por formas mais planas, sobretudo em sua margem esquerda. Na margem direita, os arenitos da Formação Caiuá são mais espessos, sendo os taludes marginais mais elevados.

Foram cadastrados 120 processos de solapamento de margem, em sua maioria com alturas entre 0,6 e 2,0 metros, e extensões inferiores a 300 metros. Os principais usos do solo afetados por estes processos erosivos foram as pastagens e matas (na margem esquerda do reservatório, fora da área do P.E. do Morro do Diabo).

Compartimento 3 – Leste / Montante

Neste compartimento ocorrem margens com relevos suaves (sobre arenitos) e relevos mais elevados (sobre basaltos), neste segundo caso, onde se formam também os vertentes mais altos e íngremes, sobretudo na margem paulista.

Foram cadastrados 83 processos de solapamento de margem, em sua maioria com alturas entre 0,6 e 2,0 metros e extensões inferiores a 100 metros. Os principais usos do solo afetados por estes processos erosivos foram as matas e pastagens, além de algumas poucas benfeitorias rurais e áreas de reflorestamento.

6.1.2. Pontos de monitoramento

6.1.2.a. Caracterização dos pontos de monitoramento

Adiante, a caracterização dos pontos de monitoramento é realizada por meio de uma ficha padrão, apresentada individualmente para cada um dos pontos. Esta ficha apresenta, inicialmente, informações gerais sobre o processo, tais como a origem do topônimo, as coordenadas UTM (um único ponto de coordenadas para cada ponto de monitoramento) e o município onde se localiza o processo. Depois desse primeiro nível de informações, apresentam-se informações específicas da feição que conferem informações sobre elas, tais como o compartimento do reservatório em que ela está inserida, as dimensões do processo (esta informação refere-se ao processo como um todo e não somente ao local monitorado) e a categoria do processo. O terceiro nível de informações refere-se às características locais das condicionantes ambientais a que os processos estão submetidos. Incluem-se neste caso informações sobre o uso do solo local, as condições geomorfológicas, as condições pedológicas e as condições geológicas da área. Por fim, quando necessário, apresentam-se informações adicionais dos processos, num campo de observações gerais; e ao final são apresentadas fotos que representem a área de inserção do ponto de monitoramento, que apresente uma noção geral da tipologia de feição existente, ou que mostrem alguma característica específica da erosão existente no ponto de monitoramento.

- **Barranco da Ilha**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco da Ilha, por se tratar do único processo monitorado a se localizar em uma ilha.
Coordenadas UTM:	634085.17 m E / 7436748.45 m S
Município:	Ribeirão Claro / PR
Compartimento do reservatório:	Compartimento 1 – Barragem
Extensão (aproximada):	190 m
Categoria do processo:	O processo principal que ocorre nesta feição é a escavação da base, porém, também se observa a presença de sulcos na área de praia, quando ocorre o rebaixamento do nível d'água do reservatório.
Uso do solo local:	Pastagem (campo sujo)
Condições geomorfológicas:	Relevo forte ondulado, com leve redução das declividades nas áreas limítrofes da cota máxima normal de operação. Vertente côncava.
Condições pedológicas:	Neossolos Litólicos
Condições geológicas:	“Área de ocorrência da Formação Pirambóia, localmente constituída por arenitos que apresentam resistência à erosão marginal, sustentando margem com grande declividade e muitos blocos. Esses arenitos, com alguns fósseis apresentam textura grossa a fina com estratificação cruzada, liberando areia para a praia. Há presença de blocos de arenito Botucatu que sofreram coluvionamento da Formação sobreposta.” (OLIVEIRA, 2014)

- **Barranco do Tayayá**

Toponímia:	Este local é denominado Barranco do Tayayá em decorrência de sua proximidade com o complexo hoteleiro Tayayá Resort, local por onde acessamos o barranco durante os monitoramentos realizados.
Coordenadas UTM:	636061.29 m E / 7434703.83 m S
Município:	Ribeirão Claro / PR
Compartimento do reservatório:	Compartimento 1 – Barragem
Extensão (aproximada):	260 m
Categoria do processo:	Solapamento (corrosão da base + queda de bloco (solo))
Uso do solo local:	Uso urbano / chácara de final de semana
Condições geomorfológicas:	Relevo suave ondulado, com baixas declividades que resultam em um talude formado pela erosão, de pequena altura (aproximadamente 1,5m). Vertente plana.
Condições pedológicas:	Podzólico Vermelho – Amarelo
Condições geológicas:	Formação Pirambóia - constituída por arenitos de textura grossa a fina
Observações gerais:	Durante o período de monitoramento os proprietários da área estenderam o muro de contenção que antes estava restrito a parte da área para toda a propriedade, incluindo a área monitorada. Essa obra dificultou o monitoramento realizado.

- **Barranco da Fazenda Paulicéia**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco da Fazenda Paulicéia, em referência à propriedade em que está localizada.
Coordenadas UTM:	633.705m E / 7.420.686m S
Município:	Ribeirão Claro/PR
Compartimento do reservatório:	Compartimento 2 – Corpo principal
Extensão (aproximada):	1.800 m (toda a porção oeste da península onde se encontra esta feição)
Categoria do processo:	Solapamento (erosão na base + queda de blocos) + alcovas de erosão
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Vertente retilínea, com comprimento de rampa longo e declividade de 2 a 3 %
Condições pedológicas:	Predominância de Argissolos, com horizontes pedológicos A, E, Bt e C bem definidos.
Condições geológicas:	Área de ocorrência de dique de rocha intrusiva básica em argilitos da formação sedimentar Teresina. “O corpo intrusivo, por ser maciço com certa homogeneidade, sofreu alteração também homogênea configurando, ao ser submetido à erosão marginal, um perfil suave, retilíneo e contínuo. Nos locais em que afloram blocos da rocha, o perfil da praia é protegido por esse enrocamento natural, formando um pontão mais resistente à erosão. Nesse local os blocos apresentam texturas diferentes, fina a grossa, do corpo intrusivo. O intemperismo e a erosão marginal liberam e segregam minerais pesados, de cor preta, que se acumulam na praia.” (OLIVEIRA, 2014)
Observações gerais:	Este processo pode ser dividido em duas partes. Em uma parte, os horizontes superficiais são mais friáveis e o horizonte Bt atua como impermeabilizante no escoamento subsuperficial, assim ocorre um processo de erosão laminar associado à presença de sulcos e ravinas e com presença de quedas e rastejos de pequenos blocos de solo. Na outra parte do processo verifica-se um processo de empastilhamento no embasamento litológico, que acarreta, após o transporte destas pastilhas, a queda dos blocos.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-1:

Vista geral do processo a partir da sua porção leste (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-2:

Detalhe de seixos na porção leste do processo (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-3:

Detalhe da estratigrafia da rocha na base do processo (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

- **Barranco das Garças**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco das Garças, pois, localiza-se em área pertencente ao Condomínio Ponta das Garças.
Coordenadas UTM:	629.248m E / 7.421.778m S
Município:	Ribeirão Claro / PR
Compartimento do reservatório:	2º. Compartimento – Corpo principal
Extensão (aproximada):	100 m
Categoria do processo:	Solapamento (erosão de base + queda de bloco)
Uso do solo local:	Uso urbano (loteamento)
Condições geomorfológicas:	Relevo suave ondulado, com vertente convexa.
Condições pedológicas:	Argissolo Vermelho - Amarelo
Condições geológicas:	Formação Teresina - formada por argilitos. Estes argilitos não apresentam o fenômeno de empastilhamento, porém, mostram deslocamento.
Observações gerais:	Este processo localiza-se em área contígua ao terreno de implantação do Condomínio Ponta das Garças, em lote com atual construção de edificação. Segundo as observações de campo, infere-se tratar-se de um processo com idade superior ao do início da construção da edificação, portanto a mesma não possui relação com sua gênese. Porém, caberá uma avaliação futura do papel da construção no desenvolvimento do mesmo.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-4:

Vista do processo a partir da sua extremidade esquerda (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-5:

Vista do processo a partir da sua extremidade direita (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-6:

Detalhe de área com registro de queda de bloco recente (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

- **Barranco do Argilito**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Argilito, pois, durante o reconhecimento da área, acreditou-se que havia grande porcentagem de argilas nas pastilhas presentes na área.
Coordenadas UTM:	638.613m E / 7.419.833m S
Município:	Ribeirão Claro / PR
Compartimento do reservatório:	2º. Compartimento – Corpo principal
Extensão (aproximada):	850 m
Categoria do processo:	Remoção de pastilhas + quedas de blocos + locas de erosão.
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo suave ondulado, com vertente retilínea.
Condições pedológicas:	Argissolo Vermelho Amarelo
Condições geológicas:	“Área de ocorrência provável da Formação Teresina, localmente com argilitos apresentando lentes silicificadas. As lentes de argilito apresentam o fenômeno do empastilhamento fornecendo sedimentos placóides para a praia. Entretanto, as lentes silicificadas, com marcas sugestivas de fósseis, quando muito fraturadas, são facilmente desestruturadas fornecendo seixos para a praia. Quando as lentes silicificadas ocorrem de forma contínua, apresentam maior resistência à erosão, mantendo patamares nas praias de abrasão que chegam a preservar terrenos mais avançados na linha da margem.” (OLIVEIRA, 2014)
Observações gerais:	Na base desta vertente verifica-se a ocorrência de empastilhamento – ocasionado pela ação da água e do calor – decorrente da grande presença de silte no material de origem. Verifica-se no local que a ação da água transporta estas pastilhas para a base do processo, principalmente na sua parte ocidental, formando bancos de cascalheira. O transporte das pastilhas ocasiona um solapamento da base responsável pelas quedas de blocos das porções mais superficiais dos solos.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-7:

Vista geral da área de monitoramento em sua porção leste e vista geral da área em sua porção oeste, com registro de banco de cascalheiras (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-8:

Vista geral da área de monitoramento em sua porção leste e vista geral da área em sua porção oeste, com registro de banco de cascalhos (Foto: Caio Felipe de Souza).

Figura 6.1.2.a-9:

Detalhe de área com ocorrência de alcovas de erosão, possivelmente causadas pela associação entre ação das ondas escoamento subsuperficial e diferenças das resistências das rochas (Foto: Pedro Amadeu Antonio da Silva).

- **Barranco do Cascalho**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Cascalho, por conta da grande presença de material cascalhento no contato entre as áreas emersas e submersas pelo reservatório.
Coordenadas UTM:	642.421m E / 7.405.479m S
Município:	Carlópolis / PR
Compartimento do reservatório:	3º. Compartimento – Interação Reservatório-Rios
Extensão (aproximada):	500 m
Categoria do processo:	Solapamento (erosão de base + quedas de blocos)
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo suave ondulado, com vertente convexa.
Condições pedológicas:	Cambissolos
Condições geológicas:	Área de ocorrência da Formação Itararé, constituída localmente por lentes de arenitos e de argilitos com estratificação plano – paralela. As lentes de argilito sofrem erosão pelo processo de empastilhamento indicando a presença de argilas expansivas. O transporte destas lentes de argilito, por sua vez, resulta na queda, por perda da base, das lentes areníticas. As lentes mais grosseiras, sem argilas expansivas, oferecem mais resistência à erosão, mantendo um patamar na praia de abrasão, mantida mais elevada em relação a um perfil de equilíbrio que se apresentaria mais abatido. Os seixos e blocos, resultado da ação erosiva nas margens, cuja litologia apresenta-se variada (apesar da predominância de granitoides), formam a praia nas imediações do processo. <i>“Estes clastos tem origem no embasamento cristalino que sofreu erosão, tendo sido transportados por icebergs no mar do período glacial”</i> (OLIVEIRA, 2014).
Observações gerais:	A princípio verificou-se neste processo um caso típico dos solapamentos em margens de reservatórios, tal como proposto por FERNANDEZ (1995), onde ocorre um processo erosivo na base do talude (principalmente horizontes C e B, nesta área), seguido de queda de blocos, com materiais dos horizontes mais superficiais do solo (horizontes A, O e H). No caso em tela verifica-se que as raízes da vegetação local atuam como retardador do processo erosivo, posto que permanecem suspensas na forma de blocos, mesmo com a perda da sua sustentação, caindo posteriormente, em geral, pela ação da gravidade, do pisoteio do gado e das chuvas/escoamento pluvial.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-10:

Vista geral da área de monitoramento
(Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-11:

Detalhe das dimensões dos processos e da presença de cascalheira no sopé do processo, vista da esquerda (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-12:

Detalhe das dimensões dos processos e da presença de cascalheira no sopé do processo, vista da direita (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-13:

Detalhe que mostra material rochoso (em formato de cascalhos) nos horizontes mais superficiais do perfil pedológico (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

- **Barranco do Ipê**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Ipê, pois, durante a chegada ao local de barco, durante o trabalho de campo para seleção de áreas, chamou muita atenção um Ipê Amarelo, a árvore localizada próxima à área em degradação.
Coordenadas UTM:	648.221m E / 7.396.046m S
Município:	Itaporanga / SP
Compartimento do reservatório:	Compartimento 3 – Remanso
Dimensões do processo:	365 m
Categoria do processo:	Solapamento (erosão na base + queda de blocos) + alcovas de erosão + formação de sulcos na área de praia.
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Vertente retilínea, com comprimento de rampa longo e declividade é de 2 a 3 %
Condições pedológicas:	Presença de Cambissolos e Neossolos Litólicos, com horizontes pedológicos bem definidos.
Condições geológicas:	Formação Itararé - constituído por argilitos heterogêneos, cinza quando estratificados (estratificação plano-paralela) e vermelhos quando maciços. Nos argilitos estratificados a expansividade causa empastilhamento (formando praia com as pastilhas geradas neste processo); enquanto nos argilitos maciços ocorrem sulcos com intersulcos arredondados, em processo semelhante ao classificado como <i>bad lands</i> .

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-14:

Vista geral da área de monitoramento
(Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-15:

Detalhe de área com processo de
formação de loca de erosão (Foto: Mauricio
Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-16:

Detalhe da vegetação (árvore de grande
porte) afetada pelo processo (Foto: Mauricio
Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-17:

Vista geral da área com argilito maciço
apresentando os sulcos formados em
processo semelhante aos *bad lands* (Foto:
Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

- **Barranco do Escorregamento Ativo**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Escorregamento Ativo, em virtude do processo denudacional ali instaurado.
Coordenadas UTM:	647546.45 m E / 7395547.83 m S
Município:	Barão de Antonina / SP
Compartimento do reservatório:	3º. Compartimento – Interação Reservatório-Rios
Extensão (aproximada):	80 m
Categoria do processo:	Escorregamento rotacional
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo forte ondulado com vertente convexa.
Condições pedológicas:	Podzólico Vermelho-Escuro
Condições geológicas:	Sem descrição de campo
Observações gerais:	O processo em tela é um escorregamento rotacional, provavelmente ocasionado pela ação da água no contato de materiais distintos, gerando uma superfície de ruptura entre eles. Nas fotos abaixo, verificam-se os degraus de abatimento e a escarpa principal em relação à superfície original. Características do processo observadas em campo permitem inferir que se trata de um processo ativo, o qual deverá apresentar movimentação em curto/médio período de tempo.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-18:

Vista geral da área de monitoramento e do seu entorno imediato (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-19:

Vista do detalhe do escorregamento ativo (Foto: Maurício Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-20:

Detalhe do degrau de abatimento do processo de escorregamento (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-21:

Detalhe de área secundária com movimento de massa (Foto: Mauricio Fava Rubio).

UHE Rosana

- **Barranco do Nova Pontal**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Nova Pontal, por localizar-se em área do Assentamento Nova Pontal.
Coordenadas UTM:	312.828m E / 7.500.520m S
Município:	Rosana / SP
Compartimento do reservatório:	Compartimento 1 – Leste / Barragem
Extensão (aproximada):	1.100 m
Categoria do processo:	Solapamento (erosão de base + quedas de blocos)
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo plano com vertente retilínea
Condições pedológicas:	Neossolos flúvicos
Condições geológicas:	Arenitos da Formação Caiuá

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-22:

Vista geral da região de ocorrência do processo (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-23:

Vista do processo, que se caracteriza pela pequena altura e grande extensão (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-24:

Detalhe de fissura no solo, onde se nota visualmente a característica arenosa do solo (Foto: Mauricio Fava Rubio).

- **Barranco da Fazenda Beira-Rio**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco da Fazenda Beira-Rio, em referência à propriedade em que está localizada.
Coordenadas UTM:	331.926m E / 7.501.683m S
Município:	Euclides da Cunha Paulista / SP
Compartimento do reservatório:	Compartimento 1 – Leste / Barragem
Extensão (aproximada):	480 m.
Categoria do processo:	Solapamento (erosão na base + queda de locos) + sulcos e ravinas formados pela ação do gado na área.
Uso do solo local:	Pastagem (até maio/2014) / Agricultura (cana-de-açúcar)
Condições geomorfológicas:	Vertentes retilíneas com amplos comprimentos de rampa e baixa declividade.
Condições pedológicas:	Predominância de Latossolos Vermelhos – LV45, segundo OLIVEIRA (1999) – muito friáveis devido à presença de areia (classe textural de média a arenosa) ao longo do seu perfil pedológico.
Condições geológicas:	Arenitos da Formação Caiuá: “(...) arenitos finos a médios, com grãos bem arredondados, com coloração arroxeada típica, apresentando abundantes estratificações cruzadas de grande a médio porte. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos” (IPT, 1981, apud DUKE ENERGY & FUNDUNESP, 2012)
Observações gerais:	<p>Trata-se de uma área interessante para estudo da evolução da erosão, uma vez que o proprietário da área possui vasto documental (levantamentos topográficos) sobre área em tela. Trata-se de material confiável (quanto a precisão), pois foi produzido para regularização do Cadastro Técnico Fundiário do Incra, por profissional habilitado. Segundo estes levantamentos, há pontos em que a regressão do talude atinge velocidade aproximada de 1m/ano, condizente com as taxas observadas nesta pesquisa.</p> <p>Verificou-se a ação do gado como intensificadora de processos erosivos marginais, sobretudo na formação de sulcos e ravinas.</p>

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-25:

Vista geral da porção leste do processo
(Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-26:

Vista geral da porção leste do processo
(Foto: Giordano Cierutte).

Figura 6.1.2.a-27:

Detalhe da porção oeste do processo
(Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-28:

Detalhe da vegetação (árvore de grande porte) afetada pelo processo, em sua porção oeste (Foto: Mauricio Fava Rubio).

- **Barranco do Machado**

Toponímia:	Este processo é chamado de Barranco do Machado, em referência à propriedade em que está localizada, de propriedade do Sr. Carlos Machado.
Coordenadas UTM:	335.474m E / 7.503.686m S
Município:	Euclides da Cunha Paulista / SP
Compartimento do reservatório:	Compartimento 1 – Leste / Barragem
Extensão (aproximada):	200 m.
Categoria do processo:	Solapamento
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo suave ondulado, com vertente convexa.
Condições pedológicas:	Neossolos Flúvicos
Condições geológicas:	Formação Caiuá - constituída por arenito de textura fina e de coloração arroxeadada. Nos sedimentos arenosos verifica-se a presença de minerais pretos na praia, provavelmente originados da alteração de rochas basálticas sotopostas.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-29:

Vista geral do processo, com visada no sentido leste - oeste (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-30:

Detalhe do talude do processo, com presença de sedimentos escuros na praia da margem do reservatório (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-31:

Arenito da Formação Caiuá, de coloração roxeada na base do talude (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

- **Barranco do Corredor do IPE**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Corredor do IPE, pois na área em tela o IPE – Instituto de Pesquisas Ecológicas – está implantando um projeto de corredor florestal.
Coordenadas UTM:	353.616m E / 7.500.429m S
Município:	Euclides da Cunha Paulista / SP
Compartimento do reservatório:	1º. Compartimento – Jusante
Extensão (aproximada):	360 m.
Categoria do processo:	Solapamento (erosão na base + queda de blocos)
Uso do solo local:	Antiga área de pastagem, com reflorestamento em implantação
Condições geomorfológicas:	Relevo plano, com vertente retilínea
Condições pedológicas:	Neossolos Flúvicos
Condições geológicas:	Área de ocorrência da Formação Caiuá, localmente constituída por arenito de textura média a grossa. Observa-se nível de saturação do solo arenoso, com cerca de 80 centímetros de altura, acima do nível d'água, reduzindo sua resistência.
Observações gerais:	Trata-se de processo típico dos solapamentos em margens de reservatórios, tal como proposto por FERNANDEZ (1995), onde ocorre um processo erosivo na base do talude (principalmente horizontes C e B, nesta área), seguido de queda de blocos, com materiais dos horizontes mais superficiais do solo (horizontes A, O e H).

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-32:

Vista geral da área de monitoramento
(Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-33:

Detalhe de porção da área de monitoramento
(Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-34:

Detalhe de área com queda de blocos
Detalhe de área em que o processo ultrapassou limite da propriedade da Duke Energy, conforme mostra marco de desapropriação (Fotos: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-35:

Detalhe de área em que a erosão ultrapassou limite da propriedade da Duke Energy, conforme mostra marco de desapropriação (Foto: Mauricio Fava Rubio).

- **Barranco do Ronaldo**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco do Ronaldo, pois localiza-se em um local chamado Chapelão do Ronaldo, que possui chalés e restaurantes, sendo muito utilizado por pescadores que utilizam o rio Paranapanema.
Coordenadas UTM:	366.927m E / 7.496.242m S
Município:	Santo Antônio do Caiuá / PR
Compartimento do reservatório:	Compartimento 2 – Morro do Diabo
Extensão (aproximada):	455 m.
Categoria do processo:	Solapamento (erosão na base + queda de blocos)
Uso do solo local:	Predominantemente pastagem – Pasto abandonado, com início de regeneração da vegetação, em propriedade utilizada para fins turísticos.
Condições geomorfológicas:	Vertentes retilíneas com amplos comprimentos de rampa e baixa declividade.
Condições pedológicas:	Predominância de Latossolos Vermelhos – LV45, segundo OLIVEIRA (1999, apud DUKE ENERGY & FUNDUNESP, 2012) – muito friáveis devido a presença de areia (classe textural de média à arenosa) ao longo do seu perfil pedológico.
Condições geológicas:	Arenitos da Formação Caiuá: arenitos finos a médios, com grãos bem arredondados, com coloração arroxeada típica, apresentando abundantes estratificações cruzadas de grande a médio porte. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos” (IPT, 1981, apud DUKE ENERGY & FUNDUNESP, 2012) Área de ocorrência do arenito Caiuá (afloramentos não observados na área) (Figuras 6.1.2.a-36 a 6.1.2.a-38)
Observações gerais:	FERNANDEZ (1995) apresenta um modelo típico de evolução das vertentes marginais de reservatórios, chamado por ele de solapamento, onde ocorre um processo erosivo na base do talude (principalmente horizontes C e B, nesta área), seguido de queda blocos, com materiais dos horizontes mais superficiais do solo (horizontes A, O e H). O processo existente nesta área experimental caracteriza-se dentro do modelo citado por este autor.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-36:

Vista de uma porção do processo, com ocupação típica das margens deste trecho do reservatório (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-37:

Detalhe de quedas de blocos de solos, por perda da base (Foto: Giordano Cierutte).

Figura 6.1.2.a-38:

Vista geral da área de monitoramento (Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

- **Barranco da Divisa do Parque**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco da Divisa do Parque, por se localizar em área de propriedade limítrofe ao P. E. do Morro do Diabo, em sua porção leste.
Coordenadas UTM:	380.410m E / 7.499.252m S
Município:	Teodoro Sampaio / SP
Compartimento do reservatório:	3º. Compartimento – Montante
Extensão (aproximada):	350 m.
Categoria do processo:	Solapamento (erosão na base + queda de blocos) + desabamento (de blocos de areia).
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo plano com vertente retilínea e talude abrupto na margem do reservatório.
Condições pedológicas:	Neossolos Fluvicos
Condições geológicas:	Arenitos da Formação Caiuá

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-39:

Vista geral da área de monitoramento
(Foto: Antonio Manoel dos Santos Oliveira).

Figura 6.1.2.a-40:

Vista geral aproximada da área de monitoramento (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-41:

Detalhe de porção lateral da área de monitoramento (Foto: Mauricio Fava Rubio).

- **Barranco da Cascalheira**

Toponímia:	A área onde se encontra esse processo é chamada de Barranco da Cascalheira, por conta da grande presença de material cascalhento no seu entorno. Como no reservatório da UHE Chavantes já havia um ponto de monitoramento chamado Barranco do Cascalho, optou-se por chamar este de Barranco da Cascalheira.
Coordenadas UTM:	383.381m E / 7.508.798m S
Município:	Mirante do Paranapanema / SP
Compartimento do reservatório:	3º. Compartimento – Montante
Extensão (aproximada):	250 m.
Categoria do processo:	Pequenos escorregamentos translacionais + desabamentos (de blocos de areia).
Uso do solo local:	Pastagem
Condições geomorfológicas:	Relevo plano com vertentes planas
Condições pedológicas:	Neossolos Flúvicos
Condições geológicas:	Formação Caiuá (IPT, 1981) - constituída de arenito de textura média a grossa de cor rosa amarelada. Formação Quaternária - composta por conglomerado (cascalheira) sobre arenitos da Formação Caiuá com estratificação cruzada, cujos cascalhos formam uma praia na margem do reservatório.

Registro fotográfico:

Figura 6.1.2.a-42:

Vista geral da área de monitoramento
(Foto: Giordano Cierutte).

Figura 6.1.2.a-43:

Vista de parcela da área de monitoramento com registro de ocorrência de escorregamento translacional com espalhamento lateral repentino (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-44:

Vista de parcela da área com representação do contato solo – rocha (Foto: Mauricio Fava Rubio).

Figura 6.1.2.a-45:

Detalhe de orientação do afloramento de arenito do Grupo Bauru – Formação Caiuá (Foto: Giordano Cierutte).

6.1.2.b. Análise quantitativa da evolução das erosões marginais monitoradas

Em Geomorfologia, muito se tem estudado sobre as técnicas disponíveis para uso em seus diferentes ramos de estudo. GOUDIE (1990) é certamente uma das principais referências sobre as técnicas em uso na Geomorfologia. Seu extenso trabalho de discussão acerca das técnicas de trabalho, resultado da organização dos trabalhos de diversos autores, divide a análise destas técnicas em aplicáveis às formas, aos materiais e aos processos, tal como os objetos da Geomorfologia propostos por Hart.

Iniciamos nossa análise deste trabalho a partir dos capítulos dedicados à cartografia aplicada ao mapeamento das formas e às técnicas aplicadas aos processos costeiros. No caso da cartografia há uma maior discussão sobre os elementos gráficos e as escalas de representação cartográfica em mapeamentos geomorfológicos de detalhe, que apresenta pequena aplicabilidade a esta pesquisa. Já no caso dos processos costeiros, o autor nos traz uma discussão muito importante acerca das erosões costeiras e sobre a necessidade de medição das taxas de erosão (citando a possibilidade de realização de comparação a partir de mapas e fotografias aéreas), além de aspectos relativos aos estudos das ondas e da sedimentação costeira.

Mais especificamente sobre erosões marginais em reservatórios, também consultamos GATTO (1988), que é uma importante referência sobre técnicas para mensuração das taxas de evolução das erosões marginais. Este autor lista uma série de técnicas para medição das erosões em margens de reservatório. Abaixo segue uma lista das técnicas apresentadas pelo autor, com nossas considerações sobre elas:

- Mudanças na face do talude: estas medidas são importantes, pois além de taxas de regressão das erosões, elas permitem a utilização dos materiais, também, para classificar a tipologia dos processos envolvidos.
 - Comparação de fotografias – O uso de fotografia é um importante meio para análise das erosões, pois seu custo de produção é baixo, o manuseio do material produzido é fácil e, conseqüentemente aos fatores anteriores, é um material muito produzido pela população que utiliza as margens de reservatórios, o que resulta em maior quantidade de registros. Apesar de não possibilitar uma análise quantitativa precisa, ela é eficaz para a análise qualitativa das erosões. Também é uma ferramenta importante para a análise de casos que estejam próximos a estruturas edificadas.
 - Análise de vídeos – Trata-se de uma situação semelhante à anterior, que possibilita, porém, um registro maior de informações.

- Interpretação de fotografias aéreas de maior detalhe – Esta técnica exige um profissional extremamente qualificado para sua realização, o que por si só já se caracteriza como uma dificuldade de uso. A atual dificuldade de obtenção destas fotografias aéreas (que foram em grande escala substituídas pelas imagens de satélite) encarece o custo destas interpretações, posto que muitas vezes exigem a realização de um sobrevôo específico para este levantamento.
- Análise da movimentação dos pinos de erosão – Método tradicional na Geomorfologia, trata-se de uma técnica importante pelo seu baixo custo de implantação e pela facilidade de manuseio da técnica (que permite o manuseio por terceiros, independentemente do acompanhamento do pesquisador).
- Elaboração de perfis do talude (a partir de métodos como nivelamento, réguas estáticas, fotografias estéreo, medidas de ângulos de inclinação, métodos eletrônicos para medição de distâncias) – É uma técnica que permite a sua realização por meio de diferentes métodos, desde mais complexos até métodos bastante simples. Trata-se de uma técnica necessária para a caracterização da erosão quanto à sua tipologia.
- Regressão da crista do talude -
 - Interpretação de fotografias aéreas – Com nível de precisão adequado para este tipo de estudo, esta técnica muito utilizada historicamente nos estudos geomorfológicos tem como restrições a dificuldade de uso (exige o manuseio por um profissional habilitado) e a atual dificuldade de obtenção destas fotografias aéreas (que foram em grande escala substituídas pelas imagens de satélite), encarecendo o custo destas interpretações.
 - Acompanhamento de estacas de referência – Assim como os pinos de erosão, as estacas de referência são de grande utilidade para o estudo das erosões marginais pela sua facilidade de execução e o baixo custo de implantação e manutenção. Além disso, trata-se de uma técnica com nível de precisão adequado para este tipo de estudo.
 - Mapas da linha da margem – Trata-se do mapeamento da regressão da crista com base em documentos secundários (mapas produzidos para outras finalidades).
- Sedimentos removidos da margem – É uma técnica indireta de mensuração da evolução dos processos, realizada pela análise dos sedimentos marginais. Como relata GATTO (1988), trata-se de uma técnica pouco precisa, pois os

movimentos do reservatório transportam grandes quantidades de sedimentos depositados nas margens interferindo nos cálculos das quantidades de volumes erodidos.

O estudo de GATTO (1988) foi utilizado como referência, também no estudo de FERNANDEZ (1995). Este autor utilizou-se de diferentes técnicas para mensuração dos processos, como a comparação da evolução da linha de crista das erosões e a análise das medidas de posicionamento dos pinos de erosão e das estacas de referência. O autor também realizou uma série de perfis dos taludes marginais com erosões instaurados, para a caracterização dos processos existentes e a classificação das erosões quanto à sua tipologia.

Atualmente, além das técnicas citadas acima, existem alternativas de sensoriamento remoto, de alta precisão, utilizadas no mapeamento de formas do relevo, em diferentes escalas de análise. Uma destas técnicas de topografia de alta resolução é o uso de imagens LIDAR – Light Detection and Ranging.

TAROLLI (2014) analisa uma série de aplicações do uso de imagens LIDAR em estudos geomorfológicos. Entre as diferentes aplicações analisadas, o autor cita o estudo de erosões marginais com este tipo de imagens. O autor cita os trabalhos de Thoma et al (2005) e De Rose & Basher (2011). TAROLLI (2014) afirma que no primeiro caso os resultados usando dados gerados com a tecnologia LIDAR estão em consonância com outros trabalhos reportados na literatura. Já no caso de De Rose & Basher (2011), TAROLLI (2014) afirma que o incremento dos dados LIDAR nos modelos digitais do terreno promoveram um aumento na acurácia das medidas das erosões marginais. O autor apresenta, ainda, um item referente ao mapeamento de formas do relevo resultantes da ação antrópica; porém cita somente casos de uso nas atividades agrícolas e em estudos sobre rodovias.

Uma das tecnologias sobre a qual se baseia esta pesquisa, o uso de escâner laser terrestre, também se insere no rol das tecnologias de topografia de alta resolução. Conforme apresentado anteriormente, esta tecnologia produz uma nuvem de pontos que carregam informações das coordenadas e da elevação dos pontos identificados, a partir da qual, comparando-se diferentes períodos, tem-se a evolução das feições erosivas. A metodologia adotada nesta pesquisa está descrita em TOMMASELLI et al (2014), pois, convém lembrar, os dados utilizados nesta pesquisa foram gerados no âmbito do Projeto de P&D, ao qual ela está vinculada.

Esta tecnologia também já foi utilizada em estudos sobre erosões marginais em canais fluviais – NASERMOADDELI & PASCHE (s.n.t.) e THOMA; GUPTA & BAUER (2001). THOMA; GUPTA & BAUER (2001) alertam sobre a necessidade de limpeza dos dados de vegetação em estudos de erosões marginais e sobre a influência desta atividade no resultado final da análise da evolução das erosões marginais. NASERMOADDELI & PASCHE (s.n.t.) concluem que esta técnica oferece alta resolução e acurácia, além de menores custos do que outras que necessitam de transporte aéreo.

Nesta pesquisa, verificamos algumas limitações no uso desta tecnologia, conforme descrito no “Capítulo 3. Metodologia”. Assim, em virtude dessas limitações, tivemos que integrar os dados gerados por diferentes técnicas de cartografia. Além das imagens do escâner, também foram integrados, na mensuração da taxa de evolução das erosões, dados gerados a partir de imagens de satélite de alta resolução e de levantamentos topográficos tradicionais.

Nas Tabelas 6.1.2.b-1 e 6.1.2.b-2, presentes nas próximas páginas, apresentamos os resultados do mapeamento das linhas de crista para os processos em estudo. Como pode ser verificado, as tabelas apresentam os levantamentos utilizados para a mensuração da evolução linear dos processos e (com base na diferença de datas de cada monitoramento) as taxas de evolução das erosões analisadas em cada ponto de monitoramento. Em cada ponto de monitoramento foram analisadas três seções, uma caracterizando as áreas com menor evolução linear, outra caracterizando as áreas médias e a terceira caracterizando as áreas com maiores evoluções lineares das erosões. A partir destas seções chegou-se às médias de erosão linear em cada ponto de monitoramento.

Pode-se observar nos dados apresentados que nos períodos menores – em geral entre os levantamentos com o escâner e os levantamentos topográficos, ou vice-versa – são encontrados maiores taxas de evolução das erosões. Para esta constatação existem duas hipóteses: (i) a primeira é de que o método de uso das imagens de satélite não apresenta o mesmo nível de detalhe dos demais, podendo resultar em redução nas taxas de evolução; e (ii) períodos mais extensos são propensos à englobar períodos mais longos de estabilidade das erosões, logo este períodos de estabilidade interfeririam sobre as taxas de evolução.

Tabela 6.1.2.b-1 – Levantamentos utilizados e taxas de evolução das erosões medidas nos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Chavantes adotados nesta pesquisa

UHE CHAVANTES						
Local dos levantamentos	Levantamento	Data	Período de diferença em relação ao levantamento seguinte (meses)	Média da evolução linear no período (m)	Média da taxa de evolução por mês no período (m/mês)	Média de evolução geral (todos os levantamentos) (m/mês)
Barranco do Tayayá	Imagem de satélite - Ikonos - Resolução 1m Color	10/12/2001	-	-	-	0,01
	Levantamento topográfico	29/11/2013	143,6	1,79	0,01	
Barranco da Ilha (área 1)	Imagem de satélite - Ikonos - Resolução 1m - Color	10/12/2001	-	-	-	0,03
	Levantamento com Scanner (1 ^a . Data)	30/08/2013	140,7	3,65	0,03	
Barranco da Ilha (área 2)	Imagem de satélite - Ikonos - Resolução 1m - Color	10/12/2001	-	-	-	0,04
	Levantamento com Scanner (2 ^a . Data)	29/11/2013	143,6	5,37	0,04	
Barranco do Argilito	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	31/08/2008	-	-	-	0,05
	Levantamento com Scanner (1 ^a . Data)	01/08/2013	59,0	2,76	0,05	

Tabela 6.1.2.b-1 – Levantamentos utilizados e taxas de evolução das erosões medidas nos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Chavantes adotados nesta pesquisa (continuação)

Barranco da Paulicéia	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	31/08/2008	-	-	-	0,24
	Levantamento topográfico	24/09/2013	60,8	1,35	0,02	
	Levantamento com Scanner (2ª Data)	29/11/2013	2,2	0,97	0,45	
	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	31/08/2008	-	-	-	0,06
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	02/08/2013	59,0	0,61	0,01	
	Levantamento topográfico	24/09/2013	1,7	0,21	0,12	
Barranco das Garças	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	03/12/2007	-	-	-	0,04
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	30/08/2013	68,9	2,45	0,04	
Barranco do Ipê	Imagem de satélite - Geoeye - Resolução 0,5m – Color	10/04/2010	-	-	-	0,57
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	30/08/2013	40,7	0,40	0,01	
	Levantamento topográfico	23/09/2013	0,8	0,89	1,13	
Barranco do Cascalho	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	03/09/2011	-	-	-	0,07
	Levantamento com Scanner (2ª Data)	29/11/2013	26,9	1,83	0,07	

Tabela 6.1.2.b-2 – Levantamentos utilizados e taxas de evolução das erosões medidas nos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Rosana adotados nesta pesquisa

UHE ROSANA						
Local dos levantamentos	Levantamento	Data	Período de diferença em relação ao levantamento seguinte (meses)	Média da evolução linear no período (m)	Média da taxa de evolução por mês no período (m/mês)	Média de evolução geral (todos os levantamentos) (m/mês)
Barranco do Nova Pontal	Imagem de satélite - Ikonos - Resolução 1m Color	15/05/2003	-	-	-	0,12
	Levantamento topográfico	02/10/2013	124,6	14,75	0,12	
Barranco da Beira-Rio	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	10/07/2008	-	-	-	0,14
	Levantamento topográfico	04/08/2012	48,8	3,20	0,07	
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	07/06/2013	10,1	2,22	0,22	
Barranco do Machado	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	10/07/2008	-	-	-	0,08
	Levantamento topográfico	30/09/2013	62,7	2,66	0,04	
	Levantamento com Scanner (2ª Data)	20/05/2014	7,7	0,96	0,13	
Barranco do Corredor do IPE	Imagem de satélite - Worldview-1 - Resolução 0,5 P&B	26/08/2008	-	-	-	0,15
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	07/06/2013	57,4	3,08	0,05	
	Levantamento com Scanner (2ª Data)	20/05/2014	11,4	2,77	0,24	

Tabela 6.1.2.b-2 – Levantamentos utilizados e taxas de evolução das erosões medidas nos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Rosana adotados nesta pesquisa (continuação)

Barranco do Ronaldo	Imagem de satélite - Geoeye - Resolução 0,5m P&B	07/06/2010	-	-	-	0,10
	Levantamento topográfico	01/10/2013	39,8	4,08	0,10	
	Imagem de satélite - Geoeye - Resolução 0,5m P&B	07/06/2010	-			0,07
	Levantamento com Scanner (2ª Data)	20/05/2014	47,4	3,54	0,07	
Barranco da Divisa Parque	Imagem de satélite - Quickbird - Resolução 0,6m - Color	03/12/2007	-	-	-	0,13
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	06/06/2013	66,1	4,89	0,07	
	Levantamento com Scanner (2ª Data)	19/05/2014	11,4	2,16	0,19	
Barranco da Cascalheira	Imagem de satélite - Quickbird - Resolução 0,6m - Color	03/12/2007	-	-	-	0,09
	Levantamento com Scanner (1ª Data)	20/05/2014	77,5	6,61	0,09	

OBS: Ao longo do período de medições os Barrancos do Tayayá e das Garças, ambos no reservatório da UHE Chavantes, foram objetos de intervenção antrópica, com a construção de muros de contenção. No caso do Barranco das Garças foi possível continuar as ações de monitoramento, a partir de uma porção lateral, onde já existiam levantamentos. No entanto, o Barranco do Tayayá deixou de ser utilizado para o acompanhamento da taxa de evolução da erosão, sendo monitorado somente para avaliação da resistência da contenção implantada.

Ao longo da pesquisa não conseguimos identificar a causa desse fenômeno e acreditamos que somente com a inclusão de mais levantamentos poderemos avaliar as causas desta discrepância nos dados com mais precisão. Seria ideal a inclusão de levantamentos realizados entre a data das imagens e o primeiro levantamento de campo utilizado (seja topografia tradicional ou escâner), mas esta alternativa já não é mais possível, sendo possível somente a inclusão de novos levantamentos no final do período de análise, com a sua extensão.

Por fim, cabe apontar que as limitações no uso do escâner também impediram a comparação dos perfis dos taludes. No entanto, apesar de não termos conseguido elaborar os perfis planejados, verificou-se que os levantamentos com escâner e os seus programas de processamento são ferramentas adequadas para a realização deste tipo de material, tanto pela rapidez com os perfis são realizados, quanto pela precisão que apresentam os resultados. Além disso, os programas utilizados no processamento realizam cálculos sobre as variações nos perfis também com rapidez e precisão.

6.2. Análise dos fatores condicionantes da gênese e do desenvolvimento dos processos

6.2.1. Operação do reservatório

Conforme exposto anteriormente, a função do reservatório definirá seu sistema operacional, o qual, por sua vez, influenciará sobre a configuração do reservatório. Nesta pesquisa a análise do sistema operacional dos reservatórios foi proposta para se entender (i) até que ponto o regime de operação (variações da lamina e da coluna d'água) interferem nas erosões e (ii) a partir de onde passam as ser as características de cada tipo de reservatório (principalmente o tamanho da área inundada e, conseqüentemente, das pistas de vento e do perímetro) que causam estas diferenças.

Uma primeira análise que nos propusemos a fazer foi comparar o percentual de margens com erosões nos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana. O resultado, de que 21% das margens do reservatório da UHE Chavantes e 10% das margens do reservatório da UHE Rosana apresentam algum tipo de feição erosiva, a princípio comprovavam as indicações da literatura, que apontam que maiores oscilações no nível dos reservatórios resultariam em maior ocorrência de processos erosivos marginais.

Para comprovar esta hipótese decidimos incluir nesta análise dados preliminares desta mesma relação para outros dois reservatórios. Assim incluímos na análise dados de estudo ainda em andamento contratado pela Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A., para os reservatórios das UHEs Jurumirim e Salto Grande. Este material é importante, pois assim como no caso dos outros reservatórios já estudados anteriormente, também se trata de um reservatório de acumulação e um a fio d'água. A inclusão destes dados, no entanto, apontou um cenário diferente daquele encontrado nos casos anteriores. Para o reservatório da UHE Jurumirim verificou-se que 12% das margens apresentam algum tipo de feição erosiva, enquanto que no reservatório da UHE Santo Grande este percentual é de 1%. Ou seja, os dados para o reservatório de acumulação da UHE Jurumirim estão mais próximos dos dados referentes ao reservatório a fio d'água da UHE Rosana do que do reservatório, também de acumulação, da UHE Chavantes.

Com base na constatação acima partimos para a identificação de outros parâmetros de operação do reservatório, ou de atributos que são consequência do sistema de operação, que pudessem contribuir para esta análise. Deste trabalho resultou a identificação dos seguintes parâmetros: perímetro (N.A. máximo normal), área do reservatório (km²), N.A. mínimo normal, N.A. máximo normal e nível de deplecionamento dos reservatórios.

Os dados referentes a cada um dos parâmetros identificados para análise encontram-se disponíveis no Quadro 6.2.1-1, apresentado abaixo:

Quadro 6.2.1-1 – Parâmetros referentes à operação de reservatórios e relações com os percentuais de margem com presença de feições erosivas

UHE	Sistema de Operação	Perímetro (n.a. máximo normal)	Área do Reservatório (km ²)	N.A. mínimo normal	N.A. máximo normal	Nível de deplecionamento	Percentual de margem erodida	Percentual de margem sem erosão
Jurumirim	Acumulação	1.286 km	448,93	559,70	568,00	8,30	12%	88%
Chavantes	Acumulação	1.085 km	400,28	465,23	474,00	8,77	21%	79%
Salto Grande	Fio D'água	81 km	11,55	383,80	384,67	0,87	1%	99%
Rosana	Fio D'água	433 km	217,66	256,00	258,00	2,00	10%	81%

Como pode ser observado nos dados apresentados, não há nenhuma indicação de parâmetro que apresente correlação direta com os dados relativos ao percentual de margem erodida no reservatório.

Outra hipótese aventada foi quanto à eventual influência da velocidade de deplecionamento dos reservatórios, em razão do padrão de operação adotado em cada empreendimento. Porém, neste caso não dispúnhamos de dados que pudessem sustentar uma análise deste tipo. Assim, recorremos à análise da equipe de Planejamento da Operação da Duke Energy para entender se havia alguma diferença no padrão de operação que pudesse representar as diferenças encontradas. O consultor da área nos informou que o padrão de operação das UHEs Chavantes e Jurumirim é muito parecido e que eventuais pequenas diferenças, resultado de questões localizadas, não justificariam as diferenças indicadas por nós.

Diante dos resultados analisados não podemos afirmar comprovadamente que os reservatórios de acumulação são mais propensos à ocorrência de erosões marginais do que os reservatórios a fio d'água. Ainda que a bibliografia forneça fundamentos embasados para tal interpretação, os dados aqui apresentados indicam que a influência da operação do reservatório é menor do que a observada em outras condicionantes ambientais que atuam sobre a gênese dos processos erosivos.

Além desta análise no nível da gênese dos processos, também se podem realizar interpretações quanto à relação da operação dos reservatórios com o desenvolvimento dos processos erosivos. Trata-se de um nível de análise muito mais refinado, para o qual se exigem dados de monitoramento da evolução das feições erosivas com grande precisão e a tabulação de dados da operação dos reservatórios nos intervalos temporais equivalentes a estes monitoramentos da evolução. A princípio era nossa expectativa abordar este nível de análise nesta pesquisa. No entanto, o detalhe dos dados e informações que dispúnhamos não permitiu tal análise.

Seria necessário para tal análise um volume de dados maior, com monitoramentos semestrais (ao final de cada período seco e cada período chuvoso) da evolução das feições erosivas, por um período superior a quatro anos. Também seriam necessários dados sobre a variação do nível do reservatório durante este período. Esta informação, no entanto, é mais fácil de ser obtida do que os dados de evolução das feições, posto que tais dados são regularmente registrados pelas concessionárias de geração, e muitas vezes são

disponibilizados para o público em geral. Quanto ao período de monitoramento estima-se este prazo, pois, como mostra a Figura 5.3.1-2, um período inferior a este pode não refletir as variações possíveis e representativas do comportamento do reservatório.

6.2.2. Condições geomorfológicas das margens

Ao longo do capítulo anterior expusemos uma série de parâmetros e indicadores passíveis de avaliação sobre relação entre as condições geomorfológicas das margens e o surgimento e a evolução das erosões marginais. Estes parâmetros vão desde parâmetros amplos que atuam na configuração territorial dos reservatórios (que definirá a relação de outras condicionantes como a operação do reservatório e a ação das ondas), até parâmetros mais específicos referentes às características das vertentes. Nesta pesquisa, adotaremos como informado no Capítulo 3. Metodologia, os seguintes parâmetros para análise das condicionantes: tipo de relevo, declividade, altura dos barrancos e extensão das praias. Abaixo seguem as observações sobre cada um destes parâmetros.

Tipos de relevo

A análise qualitativa da cartografia produzida, bem como da caracterização dos compartimentos dos reservatórios indicam situações bastante distintas nos dois reservatórios estudados.

A UHE Rosana insere em uma região mais homogênea do ponto de vista geomorfológico. O reservatório desta UHE encontra-se totalmente inserido em uma região composta predominantemente por formações areníticas, com pontos de afloramentos basálticos, formando relevos levemente ondulado, com predomínio de colinas amplas, baixas e com topos aplainados (ROSS & MOROZ, 1997). Do lado paulista ocupa a unidade morfológica do Planalto Centro Ocidental, pertencente à unidade morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista; enquanto do lado paranaense as unidades equivalentes são respectivamente o Planalto de Paranavaí e o Terceiro Planalto Paranaense.

No que tange ao reservatório esta homogeneidade se refletem em um reservatório com configuração padronizada ao longo do seu curso e em condições semelhantes das margens diminuindo o peso desta condicionante na análise das erosões marginais.

Para o caso da UHE Chavantes verifica-se uma situação totalmente distinta, posto que seu reservatório encontra-se em uma faixa de transição entre as unidades morfoesculturais do Planalto Ocidental Paulista (Terceiro Planalto Paranaense) e da Depressão Periférica Paulista (Segundo Planalto Paranaense). Esta situação reflete-se, por sua vez, em características heterogêneas de configuração do reservatório e de condições das margens.

No que se refere à configuração do reservatório enquanto a homogeneidade do relevo na região da UHE Rosana resulta em um reservatório delgado, na UHE Chavantes a heterogeneidade dos tipos de relevo da região resulta em um reservatório com três compartimentos geometricamente diferentes entre si.

No primeiro compartimento, onde o corpo do reservatório é bastante restrito à calha do rio Paranapanema (e de parte do rio Itararé) e ocorrem afloramentos de basalto com maior frequência, verifica-se um percentual de processos (números absolutos) e uma densidade de processos (relação entre extensão dos processos e extensão total das margens) menor do que nos outros compartimentos. Já nos outros compartimentos inseridos na Depressão do Paranapanema e no Planalto de Ponta Grossa há um predomínio de formações predominantemente areníticas, com a presença de vales menos dissecados. Nestes compartimentos verifica-se uma maior presença de feições erosivas e de densidade de processos.

Diante do exposto podemos dizer que de uma maneira mais geral os tipos de relevo podem influenciar na análise da gênese dos processos, se não de forma direta, mas ao menos indiretamente na conformação do reservatório e como reflexo das formas de atuação de outras condicionantes (geologia, pedologia e ação de ondas) sobre as erosões.

Declividade das margens

Para análise da influência da declividade das margens na gênese das erosões marginais, inicialmente pensamos em fazer a extração de dados de declividade de mapas produzidos a partir do sistema SRTM. No entanto, após a confecção dos mapas e a extração dos dados, verificou-se uma limitação do uso desta técnica. Como as medidas são realizadas a partir das margens (onde estão as erosões) e como o SIG atribui valor 0° para as margens os cálculos são fortemente afetados por esta condição. Ou seja, as declividades

obtidas representam mais as declividades das áreas de praias do que as declividades médias das vertentes.

Desta forma, desprezou-se o dado quantitativo e partiu-se para uma análise qualitativa da relação entre gênese e declividade das margens. Para tanto, utilizamos dados do cadastro dos processos erosivos nos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana, no qual os técnicos responsáveis pelo preenchimento dos cadastros indicavam se os relevos seriam classificados como plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso ou escarpado, segundo critérios de classificação do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007). Embora esta classificação não se refira somente à declividade das vertentes, esta variável é bastante significativa na composição da classificação, conforme verifica-se na descrição das classes abaixo. Segundo este Manual os tipos de relevo possuem as seguintes características:

Plano - superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades inferiores a 3%.

Suave Ondulado - superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas ou outeiros, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos), configurando pendentes ou encostas com declives entre 3 até 8%.

Ondulado - superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos pendentes ou encostas com declives maiores que 8% até 20%.

Forte Ondulado - superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de outeiros ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos, configurando encostas ou pendentes com declives maiores que 20 até 45%.

Montanhoso - superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente maiores de 45 até 75%.

Escarpado - áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, usualmente ultrapassando 75%, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias e vertentes de declives muito fortes.

A distribuição das erosões cadastradas com base nesta classificação, para cada reservatório analisado, encontra-se nos Gráficos 6.2.2-1 e 6.2.2-2, adiante:

Gráficos 6.2.2-1 e 6.2.2-2 – Distribuição das erosões marginais conforme o tipo de relevo (1 – UHE Chavantes) (2 – UHE Rosana)

Os gráficos refletem as condições de homogeneidade / heterogeneidade do relevo já relatadas anteriormente. Enquanto na UHE Rosana a quase totalidade dos processos ocorrem em terrenos planos; na UHE Chavantes observa-se uma situação mais diversificada. É interessante observar na UHE Chavantes que aproximadamente metade (cerca de 51%) das feições cadastradas encontra-se em relevos com declividades entre 0 e 8% (terrenos planos e suave ondulados).

Susceptibilidade à erosão

A título de curiosidade, uma vez que não se trata de uma metodologia para erosões marginais de reservatórios, mas sim para erosões de origem pluvial, também aplicou-se uma análise quantitativa da localização dos processos quanto à susceptibilidade à erosão. Para tanto utilizou-se o método de classificação da susceptibilidade à erosão baseado na proposta de ROSS (1994), porém com incremento de informações sobre dinâmica hídrica de superfície das vertentes.

Os resultados para a UHE Chavantes apresentaram maior correspondência com os resultados esperados. Neste reservatório as classes de susceptibilidade moderadamente estável / vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável apresentaram maior percentual de áreas com erosões do que os percentuais destas classes nas margens dos reservatórios; enquanto terrenos classificados como estáveis mostraram menor percentual de ocorrência nas áreas com erosões marginais.

Os resultados da UHE Rosana foram influenciadas pelo quesito uso do solo, que elevou o total de áreas classificadas como vulneráveis, em virtude da grande presença de pastagens na região. Os resultados apontaram divergências na comparação entre as classes moderadamente vulnerável e vulnerável. Esperava-se maior ocorrência de erosões nas áreas classificadas como vulneráveis, porém, houve maior ocorrência em áreas classificadas como moderadamente vulneráveis.

6.2.3. Condições geológicas das margens

Quanto às condições geológicas das margens, a análise de sua influência na gênese das erosões marginais será realizada a partir da análise da distribuição das unidades litológicas nas margens dos reservatórios e entre os processos erosivos. Já para o desenvolvimento dos processos, serão comparados dados de levantamentos de campo sobre as unidades litológicas e as características das rochas presentes em cada ponto de monitoramento, comparando tais informações com as taxas de evolução das feições erosivas, conforme exposto no item “6.1.2.b. Análise quantitativa da evolução das erosões marginais monitoradas”.

Unidades litológicas (formações)

A Tabela 6.2.3-1, adiante, mostra o perímetro total e o percentual das margens compostas por diferentes unidades litológicas e estes mesmos valores em relação às áreas com presença de feições erosivas, para os dois reservatórios em análise. As informações foram extraídas dos mapas geológicos apresentados ao final deste item.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que no reservatório da UHE Chavantes predominam três formações principais, a Formação Serra Geral, a Formação Itararé e a Formação Rio do Rasto. As demais formações presentes nas regiões marginais dos reservatórios estão circunscritas a pequenas porções do terreno.

Este material mostra que para as unidades litológicas menos representativas das margens dos reservatórios não há variações significativas quanto à sua participação no percentual das margens dos reservatórios e no percentual dos perímetros com feições erosivas. O mesmo ocorre com as áreas da Formação Itararé, a qual corresponde a 36,72% das margens e 36,16% das margens com erosão.

As variações mais significativas decorrem das Formações Serra Geral e Rio do Rasto. Enquanto a Formação Serra Geral corresponde à 24,59% do total das margens do reservatório da UHE Chavantes, apenas 8,74% das margens com feições erosivas, correspondem a esta formação. Esta informação comprova a baixa erodibilidade dos materiais desta Formação, a qual é constituída por rochas magmáticas, neste caso, basaltos. Na formação Rio do Rasto, observa-se situação contrária, o percentual de margens erodidas constituídas por esta Formação (38,78%) é maior do que o percentual dela no total das margens do reservatório (21,62%).

Tabela 6.2.3-1 – Percentual de distribuição das unidades litológicas presentes nas margens dos reservatórios e nas erosões marginais das UHEs Chavantes e Rosana

Unidades litológicas						
	Classes	Extensão das classes no total das margens (km)	% do total das margens	Extensão dos Processos (km)	% em relação ao total das margens	% em relação ao total das áreas com processos
UHE Chavantes	Formação Botucatu (J3K1bt)	4,49	0,39	1,80	0,16	0,76
	Formação Serra Geral (K1ðsg)	280,44	24,59	20,78	1,82	8,74
	Formação Itararé (C2P1i)	418,81	36,72	85,97	7,54	36,16
	Formação Palermo (P1p)	41,26	3,62	6,99	0,61	2,94
	Formação Rio Bonito (P1rb)	26,84	2,35	9,94	0,87	4,18
	Formação Serra Alta (P23sa)	60,51	5,31	7,24	0,63	3,04
	Formação Irati (P2i)	18,84	1,65	2,47	0,22	1,04
	Formação Rio do Rasto (P3T1rr)	246,60	21,62	92,19	8,08	38,78
	Formação Teresina (P3t)	42,67	3,74	10,37	0,91	4,36
	Total	1140,46	100,00	237,75	20,85	100,00
UHE Rosana	Depósitos Aluvionares (Qsa)	140,19	33,69	2,42	0,58	5,98
	Formação Caiuá (Krpá)	254,24	61,09	36,87	8,86	91,10
	Formação São Bento (Ksg)	21,74	5,22	1,18	0,28	2,92
	Total	416,17	100,00	40,47	9,72	100,00

O reservatório da UHE Rosana é mais homogêneo do ponto de vista geológico, apresentando apenas três formações em suas margens. A análise do percentual de participação de cada unidade litológica nas áreas erodidas e no total do reservatório indica maior erodibilidade das rochas da Formação Caiuá, em relação às rochas formadas por Depósitos Aluvionares. Neste caso observa-se uma situação inesperada, uma vez que a tendência seria de que os Depósitos Aluvionares apresentassem maior erodibilidade. Como são dois materiais com alta erodibilidade, talvez a justificativa para tal discrepância esteja em outras condicionantes associadas a esta, ou até mesmo na escala dos mapas de base utilizados (1:1.000.000).

Parâmetros geológicos na análise do desenvolvimento

O Quadro 6.2.3-1, adiante, apresenta dados da caracterização dos pontos de monitoramento estabelecidos nas UHEs Chavantes e Rosana e da taxa de evolução da erosão em cada um destes pontos.

Uma primeira análise a ser realizada é que a seleção dos pontos de monitoramento no reservatório da UHE Chavantes, do ponto de vista das condições geológicas, não abrangeu a diversidade existente em suas margens. Como pode ser observado, as duas principais unidades litológicas caracterizadas na análise regional (Formações Rio do Rasto e Serra Geral) não foram abrangidas com pontos de monitoramento.

Quadro 6.2.3-2 – Dados de caracterização das condições geológicas dos pontos de monitoramento nas UHEs Chavantes e Rosana

UHE	Ponto de monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Litologia	Formação
UHE Chavantes	Barranco da Ilha	0,03	Arenitos	Formação Pirambóia
	Barranco do Tayayá	0,01	Arenitos	Formação Pirambóia
	Barranco da Paulicéia	0,24	Argilitos	Formação Teresina
	Barranco das Garças	0,04	Argilitos	Formação Teresina
	Barranco do Argilito	0,05	Argilitos	Formação Teresina
	Barranco do Cascalho	0,07	Arenitos e argilitos	Formação Itararé
	Barranco do Ipê	0,57	Argilitos	Formação Itararé

Quadro 6.2.3-2 – Dados de caracterização das condições geológicas dos pontos de monitoramento nas UHEs Chavantes e Rosana (continuação)

UHE	Ponto de monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Litologia	Formação
UHE Rosana	Barranco do Nova Pontal	0,12	Arenitos	Formação Caiuá
	Barranco da Beira-rio	0,14	Arenitos	Formação Caiuá
	Barranco do Machado	0,08	Arenitos	Formação Caiuá
	Barranco do Corredor do IPE	0,15	Arenitos	Formação Caiuá
	Barranco do Ronaldo	0,10	Arenitos	Formação Caiuá
	Barranco da Divisa do Parque	0,13	Arenitos	Formação Caiuá
	Barranco da Cascalheira	0,09	Arenitos	Formação Quaternária sobreposta à Formação Caiuá

Em contrapartida, unidades menos representativas regionalmente como a Formação Teresina e a Formação Pirambóia foram contempladas com pontos de monitoramento. No caso da Formação Pirambóia, há que se constatar que sua representação na escala de análise regional sequer foi realizada, possivelmente pela pequena extensão de seus afloramentos e sua fragmentação espacial.

O cruzamento de informações sobre as condições geológicas com as taxas de evolução das erosões mostram, no entanto, pouca relação entre a litologia e as taxas de evolução. As exceções são os Barrancos do Ipê e da Fazenda Paulicéia, os quais apresentam maiores taxas de evolução (significativas em relação aos demais) e se encontram em áreas de argilitos. Neste caso, os argilitos apresentam variação nas relações com as taxas de evolução das erosões, enquanto para a UHE Chavantes, as duas áreas de arenitos são as que apresentam as menores taxas de evolução. Contudo, pode-se dizer que os resultados obtidos não são conclusivos quanto à relação entre determinado atributo geológico e a taxa de evolução do processo.

No caso da UHE Rosana, a homogeneidade das condições também se reflete nas taxas de evoluções das erosões, com velocidades médias parecidas entre os diferentes pontos de monitoramento, se comparadas aos casos observados na UHE Chavantes. Também se analisou uma eventual relação entre a granulometria dos arenitos e as taxas de evolução dos processos, porém os resultados não apresentam relação de causalidade.

Sources: Esri, USGS, NOAA

Escala 1:250.000
0 2,5 5 7,5 10 12,5 Km
Projeção Unirversal Transversal Mercator (UTM)
Datum Horizontal SIRGAS 2000 - Zona 22S

Fonte: Mapa Índice, 1:250.000 - 2010 - IBGE
Geologia, 1:1.000.000 - 1998 - Fernandes org. DUKE
ENERGY & REGEO (2013).

Legenda

Unidades Geológicas

Cenozóico

Qsa Quaternário

Mesozóico

Kgoe Grupo Caiuá

Krpa Grupo Caiuá

Ksta Grupo Caiuá

Kppr Grupo Bauru

Kvpx Grupo Bauru

Ksg Grupo São Bento

Processo erosivo

Convenções Cartográficas

Limite estadual

Corpo d'água

Curso d'Água

MAPA GEOLÓGICO DO RESERVATÓRIO DA UHE ROSANA

Título da tese: Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)
Aluno: Maurício Fava Rubio Número USP: 2947639
Orientadora: Profª. Drª. Cleide Rodrigues Outubro/2014

Diante das duas escalas de análise abordadas para a avaliação das condições geológicas como condicionantes da gênese e do desenvolvimento das erosões marginais, conclui-se que os parâmetros adotados na escala regional (para avaliação da gênese) possuem critérios com maior relação de causalidade com o fenômeno observado, do que os critérios estabelecidos para a análise em escala local (para avaliação do desenvolvimento).

6.2.4. Condições pedológicas das margens

Quanto às condições pedológicas das margens a análise de sua influência na gênese das erosões marginais será realizada a partir da análise da distribuição das unidades pedológicas (no nível das ordens e subordens, respectivamente 1º e 2º nível categóricos) nas margens dos reservatórios e entre os processos erosivos. Já para o desenvolvimento dos processos, serão comparados dados de levantamentos de campo sobre a granulometria e permeabilidade dos solos presentes em cada ponto de monitoramento, comparando tais informações com as taxas de evolução das feições erosivas, conforme exposto no item 6.1.2.b. *Análise quantitativa da evolução das erosões marginais monitoradas.*

Unidades pedológicas (ordens e subordens)

A Tabela 6.2.4-1, adiante, mostra o perímetro total e o percentual das margens compostas por diferentes unidades pedológicas e estes mesmos valores em relação às áreas com presença de feições erosivas, para os dois reservatórios em análise. As informações foram extraídas dos mapas geológicos apresentados ao final deste item.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que no reservatório da UHE Chavantes predominam Argissolos, das sub ordens Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos. Depois em proporção de solos nas margens aparecem os Neossolos Litólicos e os Latossolos Vermelhos. A análise dos dados referentes a este reservatório indicam que há uma certa proporcionalidade entre os tipos de solo nas margens e os tipos de solo nos locais de ocorrência de processos erosivos. Uma única observação refere-se a presença (relativa) de Neossolos Litólicos um pouco superior nas áreas com processos erosivos do que nas margens do reservatório. Tal diferença pode ser resultante do fato destes solos serem mais rasos e de estarem associados, principalmente, à altas declividades da porção do reservatório mais próxima da barragem.

No entanto, os dados extraídos para análise da UHE Rosana apresentam informações mais substanciais para discussão. Neste reservatório observa-se maior presença (relativa) de Argissolos

nas áreas com erosões, do que no reservatório como um todo. Isso se deve menos aos Argissolos do que aos demais tipos de solos, especialmente aos Gleissolos e aos Neossolos Flúvicos. Como pode ser verificado na Tabela, estes dois tipos de solos ocupam aproximadamente 19% das margens do reservatório, mas estão presentes em apenas 2% das áreas com processos erosivos, aproximadamente. Esta informação comprova o entendimento de que os solos originais de ambientes fluviais e lacustres (solos adaptados à frequente presença da água) são menos susceptíveis à erosão marginal dos reservatórios e que os problemas das erosões marginais decorrem da relação das águas do reservatório com os solos menos adaptados à presença periódica da água.

Tabela 6.2.4-1 – Percentual de distribuição das unidades pedológicas presentes nas margens dos reservatórios e nas erosões marginais das UHEs Chavantes e Rosana

Unidades pedológicas						
UHE	Classes	Extensão das classe no total das margens (km)	% do total das margens	Extensão dos Processos (km)	% em relação ao total das margens	% em relação ao total das áreas com processos
UHE Chavantes	Latossolos Vermelhos	48,76	4,28	7,28	0,64	3,06
	Argissolos Vermelhos	427,84	37,51	74,09	6,50	31,16
	Argissolos Vermelho-Amarelos	590,27	51,76	137,04	12,02	57,64
	Neossolos Litólicos	73,60	6,45	19,33	1,70	8,13
	Total	1140,46	100,000	237,75	20,85	100,000
UHE Rosana	Argissolos Vermelho-Amarelos	237,51	57,07	30,34	7,29	74,97
	Gleissolos	31,45	7,56	0,65	0,16	1,60
	Latossolos Vermelhos	98,71	23,72	9,31	2,24	23,00
	Neossolos Flúvicos	48,50	11,65	0,18	0,04	0,43
	Total	416,17	100,00	40,47	9,72	100,00

Granulometria e permeabilidade

A análise dos solos de ponto de monitoramento foi realizada a partir de levantamentos mais detalhados e com mais parâmetros do que os considerados na análise da escala regional. Os resultados destes levantamentos estão organizados no Quadro 6.2.4-1, apresentado adiante.

Em relação à espessura dos solos, primeiramente precisamos ressaltar que não se trata da altura dos barrancos, uma vez que parte dos barrancos possui uma camada de rocha exposta. Quanto à este parâmetro verifica-se que nos pontos de monitoramento na UHE Chavantes as maiores taxas de evolução das erosões estão associadas às menores espessuras dos solos. Porém, nos pontos de monitoramento da UHE Rosana verificou-se uma ausência de correlação entre estas informações.

A análise mais abrangente da relação entre a granulometria dos solos e as taxas de erosão indica que na UHE Chavantes, os pontos de monitoramento com maiores taxas de evolução das erosões são os que apresentam maiores teores de silte; enquanto os que apresentam as menores taxas apresentam maiores teores argila. Para a UHE Rosana, a característica predominantemente arenosa dos solos não possibilita inferências menos refinadas sobre esta relação, exigindo maiores detalhes, os quais estão além das possibilidades desta pesquisa.

De qualquer maneira esta análise da granulometria indica que um refinamento da correlação deve ser realizado para se obter melhores conclusões. Neste trabalho de refinamento exige-se uma análise dos horizontes que estão expostos à ação das águas e até mesmo uma análise da toposequência dos solos, para verificar variações ao longo da vertente, de maneira a identificar que os processos existentes na face exposta do talude possuem relação com o que ocorre ao longo da vertente.

Por fim, quanto à permeabilidade dos solos, verificou-se uma situação antagônica entre os dois reservatórios. Enquanto na UHE Chavantes os pontos de monitoramento com maior evolução das taxas de evolução das erosões são os que apresentam maiores permeabilidades; na UHE Rosana as maiores taxas ocorrem nos pontos com menores permeabilidades.

Tabela 6.2.3-2 – Parâmetros para análise dos solos nos pontos de monitoramento

Reservatório da UHE Chavantes										
Ponto de Monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Profundidade do solo aparente	Horizontes	Profundidade (cm)	% de argila	% de areia	% de silte	Classificação textural	Kfs – condutibilidade hidráulica saturada em campo (cm/s)	Classe de permeabilidade*
Barranco do Tayaya	0,01	dados indisponíveis (coleta não realizada)								
Barranco da Ilha	0,04	217	A	16	5,5	83,6	10,9	franco-arenoso		
			E	40	8,6	82,4	9	franco-arenoso		
			Bt	70	22,7	70,6	6,7	franco-argilo-arenoso		
			C	91	21,7	74,1	4,2	franco-argilo-arenoso		
Barranco do Argilito	0,05	150	A	15	29,9	29,3	40,8	franco-argilo-limoso	5,33 ⁻⁶	Muito lenta
			B1	50	75,7	2,9	21,4	argiloso		
			B2	85	67,7	4,4	27,9	argiloso		
Barranco da Paulicéia	0,24	100	A	20	18,2	35,12	46,37	franco-limoso	4,19 ⁻⁵	Lenta
			B	80	52,4	9,25	38,34	argilo-limoso		
Barranco das Garças	0,04	315	A	18	18,4	38	43,6	franco-limoso	3,38 ⁻⁷	Muito lenta
			B1	68	29,6	31,4	39,1	franco-argilo-limoso		
			B2	102	56,9	21,2	21,8	argilo-limoso/argiloso		
			C	127	56,1	17	26,9	argilo-limoso		
Barranco do Ipe	0,57	dato indisponível	A1	dados indisponíveis	11,8	5,028	83,172	franco-limoso	4,57 ⁻⁵	Lenta
			A2		19	9,48	51,5015	franco-limoso		
			C1		25,6	8,334	65,716	franco-limoso		
			C2		44	3,775	52,223	argilo-limoso		

Tabela 6.2.3-2 – Parâmetros para análise dos solos nos pontos de monitoramento (continuação)

Reservatório da UHE Chavantes										
Ponto de Monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Profundidade do solo aparente	Horizontes	Profundidade (cm)	% de argila	% de areia	% de silte	Classificação textural	Kfs – condutibilidade hidráulica saturada em campo (cm/s)	Classe de permeabilidade*
Barranco do Escorregamento Ativo	dado não mensurado	85	A	15	8,9	17,4	73,7	limoso		
			C	70	não coletado	não coletado	não coletado			
Cascalheira	0,07	56	A	18	15,2	40,6	44,2	franco-limoso	4,20 ⁻⁵	Lenta
			C	38	28,1	34,2	37,7	franco-argilo-limoso		
Reservatório da UHE Rosana										
Ponto de Monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Profundidade do solo aparente	Horizontes	Profundidade (cm)	% de argila	% de areia	% de silte	Classificação textural	Kfs – condutibilidade hidráulica saturada em campo (cm/s)	Classe de permeabilidade*
Barranco do Nova Pontal	0,12	190	A	20	15,8	77,29	6,86	Franco - arenoso	3,24 ⁻⁴	Moderada
			BW1	60	31,9	60,98	7,1	Franco - argilo - arenoso		
			BW2	110	29,93	60,73	9,32	Franco - argilo - arenoso		
Barranco da Beira-Rio	0,14	195	AP	30	18,2	71,848	9,952	franco-arenoso	3,28 ⁻⁶	Muito lenta
			BW1	70	37,6	53,948	8,452	argilo-arenoso		
			BW2	95	43,2	51,319	5,481	argilo-arenoso		
Barranco do Machado	0,08	192	A	22	12,6	86,1	1,28	arenoso-franco	9,38 ⁻³	Rápida
			BW1	95	14,2	85,5	0,28	arenoso-franco		
			BW2	75	16	82,67	1,32	franco-arenoso		

Tabela 6.2.3-2 – Parâmetros para análise dos solos nos pontos de monitoramento (continuação)

Reservatório da UHE Rosana										
Ponto de Monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Profundidade do solo aparente	Horizontes	Profundidade (cm)	% de argila	% de areia	% de silte	Classificação textural	Kfs – condutibilidade hidráulica saturada em campo (cm/s)	Classe de permeabilidade*
Barranco do Corredor do IPE	0,15	50,7	A	25	9,2	86,47	4,29	arenoso-franco	1,25 ⁻⁵	Lenta
			BW1	80	18,7	72,36	9,11	franco-arenoso		
			BW2	65	22,8	71,55	5,64	franco-argilo-arenoso		
Barranco do Ronaldo	0,10	85,42	AP	25	5,42	89,86	4,72	arenoso-franco	2,16 ⁻³	Rápida
			E	35	9,2	83,6	7,2	franco-arenoso		
			Bt1	30	31,4	62,236	6,364	franco-argilo-arenoso		
			Bt2	40	39,4	58,651	1,949	argilo-arenoso		
Barranco da Divisa do Parque	0,13	dados indisponíveis (coleta não realizada)							1,45 ⁻⁴	Lenta a Moderada
Barranco da Cascalheira	0,09	dados indisponíveis (coleta não realizada)							4,17 ⁻⁴	Moderada a Rápida

Fonte: Resultados de campo de atividade do Projeto de P&D (dados não publicados)

OBS: * Referência: Soil Survey Staff, 1993

0 2,5 5 7,5 10 12,5 Km

Projeção Unirversal Transversal Mercator (UTM)
Datum Horizontal SIRGAS 2000 - Zona 22S

Fonte: Mapa Índice, 1:250.000 - 2010 - IBGE
Pedologia, 1:500.000 - 1999 - IAC
Pedologia, 1:650.000 - 1981 - Iapar org. DUKE
ENERGY & REGEO (2013)

Legenda

Pedologia

Classificação

	Latosolos Vermelhos		Processo erosivo
	Neossolos Litólicos		Limite estadual
	Argissolos Vemelho-Amarelos		Corpo d'água
	Gleissolos		Curso d'Água
	Neossolos flúvicos		
	Nitossolos		

Convenções Cartográficas

	Limite estadual
	Corpo d'água
	Curso d'Água

MAPA PEDOLÓGICO DO RESERVATÓRIO DA UHE ROSANA

Título da tese: Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)

Aluno: Maurício Fava Rubio Número USP: 2947639

Orientadora: Profª. Drª. Cleide Rodrigues Outubro/2014

6.2.5. Condições climáticas e ondas em reservatórios

A análise das condições climáticas e das ações das ondas realizada nesta pesquisa baseou-se no trabalho de FEPISA (2014). Este, para tanto, utilizou-se dados coletados pelo Projeto de P&D sobre os ventos registrados pelas estações meteorológicas mais próximas dos reservatórios em questão.

Para análise das condições dos ventos na UHE Chavantes foram utilizados dados de anemômetros localizados nas estações meteorológicas de Joaquim Távora e Ourinhos que se localizam a esquerda do eixo de direção N-S, próximos a este reservatório. Tais dados produziram informações para caracterização e análise dos ventos reinantes neste reservatório.

Abaixo seguem informações sobre os ventos reinantes estabelecidos a partir de cada uma das estações utilizadas, para o período entre junho e setembro de 2013.

Quadro 6.2.5-1 – Direções (graus) e intensidades (m/s) dos ventos reinantes no reservatório da UHE Chavantes

Estação Joaquim Távora							
Reinância: 25,00%		Reinância: 34,02%		Reinância: 34,19%		Reinância: 49,00%	
Junho		Julho		Agosto		Setembro	
Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção
3.5	E	4.1	E	5.7	E	4.9	E
10.8	E	16.1	E	20.3	E	19.5	E
10.8	ENE					19.5	SSE
Estação Ourinhos							
Reinância: 27,47%		Reinância: 15,74%		Reinância: 19,48%		Reinância: 23,68%	
Junho		Julho		Agosto		Setembro	
Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção
0.4	NE	0.7	NE	0.9	ENE	0.8	ENE
13.5	NE	10.8	NE	11.3	ENE	12.7	ENE
13.5	NNE	10.8	SO	11.3	E	12.7	S
				11.3	SE		

OBS: em **vermelho** ventos máximos

FEPISA (2014) em análise dos dados do Quadro 6.2.5-1, em relação à Estação Joaquim Távora identifica:

[...] uma maior ocorrência de ventos procedentes de Leste (E), nos quatro meses registrados. A maior intensidade média de vento produzido ocorreu no mês de agosto, com uma velocidade de 5,7 m/s e a menor velocidade média no mês de

junho, atingindo 3,5 m/s. Nota-se que o percentual de ocorrência dos ventos vai aumentando de junho (25%) até setembro (49%), o que poderia estar associado ao fato que a mTa (massa tropical atlântica) estivesse ganhando força com relação a mPa (massa polar atlântica). Isso poderia ser explicado pela mudança de estação, ou seja, do inverno, entre os meses de junho a agosto, para a primavera, de setembro a dezembro.

Na análise dos dados da Estação Ourinhos, FEPISA (2014) identifica que:

[...] o comportamento dos ventos de reinância apresentou-se de forma heterogênea. Nos meses de junho e julho a maior ocorrência foram os ventos procedentes da direção Nordeste (NE) e nos meses de agosto e setembro de direção Leste/Nordeste (ENE). Nessa estação o mês de junho apresentou o vento máximo do período (13.5 m/s), procedente da direção Norte/Nordeste (NNE). A mínima velocidade média registrou 0,4 m/s da direção Nordeste (NE). Observa-se que a porcentagem de ocorrências de ventos é oscilante, pois no mês de junho abrangeu 27,47%, caindo para 15,74%, no mês de julho, subindo em agosto para 19,48% e depois para 23,68% no mês de setembro. Essa variação percentual indicaria uma dinâmica climática mais diversificada, ainda com possíveis influências dominantes das massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica [...].

Quanto à análise das condições dos ventos no reservatório da UHE Rosana foram utilizados dados de anemômetros localizados nas estações meteorológicas de Diamante do Norte e Paranapoema que se localizam ao sul do eixo de direção L-O deste reservatório. Tais dados produziram informações para caracterização e análise dos ventos reinantes neste reservatório.

Abaixo seguem informações sobre os ventos reinantes estabelecidos a partir de cada uma das estações utilizadas, para o período entre junho e setembro de 2013.

Quadro 6.2.5-2 – Direções (graus) e intensidades (m/s) dos ventos reinantes no reservatório da UHE Rosana

Estação Diamante do Norte							
Reinância: 46,88%		Reinância: 47,49%		Reinância: 32,56%		Reinância: 31,67%	
Junho		Julho		Agosto		Setembro	
Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção
1.51	E	3.1	E	3.0	E	3.7	E
11.5	E	16.3	E	14.3	E	19.8	E
11.5	SO	16.3	SSE	14.3	SSO	19.8	O
		16.3	SSO				
Estação Paranapoema							
Reinância: 25,23%		Reinância: 32,75%		Reinância: 21,86%		Reinância: 21,86%	
Junho		Julho		Agosto		Setembro	
Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção	Intensidade	Direção
2.2	ONO	3.2	ONO	3.2	ONO	3.5	ONO
11.1	ONO	21.3	ONO	15.9	ONO	21.4	ONO
11.1	NE	21.3	NO	15.9	NNE	21.4	NNE

OBS: em **vermelho** ventos máximos

Analisando os dados apresentados no Quadro 6.2.5-1, FEPISA (2014) identificou que a Diamante do Norte:

[...] expressou um comportamento mais homogêneo de ventos reinantes, procedentes de Leste (E), para os quatro meses de análise. Dentre as velocidades médias a menor registrada ocorreu em junho, atingindo 1,51 m/s e a maior no mês de setembro, com 3,7 m/s. A velocidade máxima registrada nessa estação meteorológica foi de 19,8 m/s, no mês de setembro, e a menor, no mês de junho, registrando 11,5m/s. Os ventos máximos também migraram de outras direções, como por exemplo, os advindos de SO em junho, de SSE e SSO em julho, de SSO no mês de agosto e de O no último mês. Entre os dois primeiros meses houve um aumento de velocidades médias reinantes e máximas. O mesmo não aconteceu entre julho e agosto, onde ocorreu uma queda. Nos meses seguintes, agosto e setembro, um novo aumento de velocidades. A partir da análise de ventos seria possível perceber ainda forte influência das massas de ar Tropical Atlântica e Polar no clima local.

Na análise dos dados da Estação Paranapoema, FEPISA (2014) identifica que:

[...] os ventos reinantes advêm com maior frequência da direção Oeste/Noroeste (ONO) em todos os meses. Temos também ventos mais intensos (máximos) vindos de NNE, NO e NNE. A menor velocidade média foi registrada no mês de junho (2.2m/s) e a maior no mês de setembro (3.5m/s). Com relação às velocidades máximas assinaladas, em junho verifica-se a menor que foi de 11.1m/s e em setembro a maior com 21,4 m/s. Esse comportamento traduziria uma maior contribuição climática relacionada aos ventos advindos da direção Oeste/Noroeste, o que possibilitaria dizer que na região as massas continentais teriam predominado naqueles meses.

Após esta análise dos dados das estações meteorológicas, FEPISA (2014) realizou i) o georeferenciamento dos lagos adaptado ao tipo de leitura do modelo OndisaCad, ii) a confecção das Rosas de Ventos, iii) a elaboração das malhas das Represas de Rosana e Chavantes e finalmente a elaboração dos iv) mapas de pistas de ventos e v) das alturas significativas de ondas.

Influência das pistas de vento

Para cada um dos reservatórios em análise foram geradas três modelos de pistas de vento, considerando-se as análises de ventos apresentadas acima. Com base nas interpretações de FEPISA (2014) e nos conhecimentos do autor sobre este reservatório, foram selecionados para análise uma alternativa para a UHE Chavantes e duas para a UHE Rosana.

Como pode ser observado na Figura 6.2.5-1, a pistas de vento modelados para o reservatório da UHE Chavantes, na direção S-N apresentam grande correlação com os dados sobre o cadastro de erosões neste reservatório. Verifica-se que o Compartimento 2, onde há maior densidade de feições erosivas, em relação às margens, é também o trecho do reservatório com as

maiores pistas de vento. Na sequência aparecem os Compartimentos 3 e 1, respectivamente, com as maiores pistas de vento e as maiores densidades de feições erosivas nas margens.

Figura 6.2.5-1 – Pistas de ventos modeladas para o reservatório da UHE Chavantes, no sentido S-N.

Fonte: FEPISA (2014)

Para o reservatório da UHE Rosana, optamos por analisar as modelagens elaboradas para duas direções de ventos, na direção E-O e O-E. Por tratar-se de um reservatório delgado, entendeu-se que as influências ocorrem nas duas direções. Adiante, a Figura 6.2.5-2 apresenta os resultados destas modelagens.

Pode ser observado na figura apresentada adiante que também há uma correlação entre a incidência de feições erosivas e as pistas de vento. No entanto esta correlação é condicionada pela direção dos ventos. Parte das feições cadastradas apresenta-se nas maiores pistas de vento na direção E-O e parte nas maiores pistas de vento na direção O-E.

Figura 6.2.5-2 – Pistas de ventos modeladas para o reservatório da UHE Rosana, nas direções E-O e O-E.

Fonte: FEPISA (2014)

Quanto à evolução das feições monitoradas verifica-se uma dependência relativa na comparação entre as taxas de evolução das feições e as pistas de vento. No caso da UHE Chavantes, verifica-se, por exemplo, que Barranco do Ipê, onde foi registrada a maior taxa de evolução do processo é um trecho da margem com pista de vento reduzida. Já dois outros pontos de monitoramento (Barranco do Argilito e Barranco da Fazenda Paulicéia), expostos à condições semelhantes de pistas de ventos, apresentam taxas de evolução distintas – sendo da taxa de

evolução da feição no Barranco da Fazenda Paulicéia alta e a taxa de evolução da feição no Barranco do Argilito baixa.

Na UHE Rosana, há uma taxa de evolução das feições erosivas bastante semelhantes entre os pontos de monitoramento, assim como as condições de pistas de vento também são parecidas. Desta forma não podemos afirmar nenhuma relação entre as duas medidas.

Influência das alturas de ondas

Assim como na análise das pistas de vento, com base nas interpretações de FEPISA (2014) e nos conhecimentos do autor sobre este reservatório, foram selecionados para análise uma alternativa para a UHE Chavantes e duas para a UHE Rosana. A Figura 6.2.5-3, apresenta as alturas máximas de ondas modeladas para a situação de ventos do mês de setembro, com velocidade máxima de 19,5 m/s, com a direção SSE, a partir de dados extraídos produzidos pela Estação Joaquim Távora.

Figura 6.2.5-3 – Pistas de ventos modeladas para o reservatório da UHE Chavantes, no sentido S-N.

Fonte: FEPISA (2014)

Pode-se inferir uma relação entre as alturas máximas de ondas e a ocorrência de feições erosivas no reservatório da UHE Chavantes. Pois novamente o Compartimento 2, onde há maior densidade de feições erosivas é também o que apresenta maiores alturas máximas de ondas. Na sequência aparecem os Compartimentos 3 e 1, respectivamente, com as maiores pistas de vento e as maiores densidades de feições erosivas nas margens.

No reservatório da UHE Rosana foram analisadas modelagens elaboradas para duas condições de ventos, sendo uma para cada estação meteorológica utilizada. Para a estação meteorológica de Diamante do Norte foram utilizados ventos máximos de setembro, com velocidades de 19,8 m/s, no sentido E. Para a estação meteorológica de Paranapoema foram utilizados ventos máximos de setembro, com velocidades de 21,4 m/s, no sentido ONO. Adiante, a Figura 6.2.5-2 apresenta os resultados destas modelagens.

Figura 6.2.5-2 – Alturas máximas de ondas no reservatório da UHE Rosana, a partir de duas condições de ventos distintas

Fonte: FEPISA (2014)

Pode ser observado na figura apresentada que também há uma correlação entre a incidência de feições erosivas e as alturas máximas de ondas. Isto porque observa-se maiores alturas de ondas nos compartimentos 1 e 2, onde também se verifica maior densidade de feições erosivas. No entanto há que se apontar que esta relação é parcial, pois o Compartimento 2 apresenta maior densidade de feições erosivas, porém o Compartimento 1 é que apresenta as maiores ondas, em virtude da largura do reservatório neste trecho, decorrente da proximidade com a barragem da UHE Rosana.

Quanto à evolução das feições monitoradas verifica-se situação semelhante ao caso das pistas de vento, onde a análise mostrou que a correção é parcial, não podendo-se fazer maiores relações entre estas medidas.

Por fim, cabe ressaltar a importância da análise dos compartimentos geoambientais dos reservatórios, sobretudo nos casos em a configuração do reservatório apresenta-se de forma irregular. Como se observou no caso da UHE Chavantes, dadas as características da configuração do reservatório e a compartimentação realizada, foi possível identificar algumas relações entre estas características e os dados produzidos para a caracterização das pistas de vento e das alturas máximas das ondas.

6.2.6. Influência do uso e da ocupação das margens

Neste item faremos uma análise sobre a relação dos tipos de uso e ocupação do solo com as erosões marginais. Diferente de outros itens trabalhados neste capítulo, neste caso o mesmo tipo de informação será utilizado para se trabalhar tanto a gênese quanto o desenvolvimento das erosões. No entanto, para o desenvolvimento das erosões apresentaremos algumas informações complementares sobre a ocupação atual das margens.

A Tabela 6.2.6-1, apresenta em uma escala regional as informações sobre o uso e ocupação do solo nas margens de todo o reservatório, com os percentuais ocupados por cada tipo de uso e os dados sobre o tipos de uso presentes nos pontos com erosões marginais. As informações foram extraídas dos mapas de uso e ocupação do solo apresentados ao final deste item.

Chama atenção, para o caso da UHE Chavantes o percentual de processos erosivos que ocorrem em áreas com matas. Este percentual é muito superior ao percentual de matas no entorno do reservatório. O que à princípio possibilita o entendimento de que as áreas com matas são mais

susceptíveis à ocorrência de erosões, no caso das margens de reservatórios. Esta informação inclusive está de acordo com o que aponta a literatura consultada (principalmente FERNANDEZ, 1995 e HIROSE, 2013), no que se refere às margens de reservatório.

No entanto, em que pese indicação inicial, uma conclusão mais assertiva dependeria de análises que não conseguimos realizar nesta pesquisa. Por exemplo, no caso da UHE Chavantes há uma associação grande entre as áreas com matas e a ocorrência das maiores declividades. Isso pode ser um indicativo que as áreas de mata são mais susceptíveis à erosão marginal, mas desde que associadas à outras condicionantes ambientais.

Para o caso da UHE Rosana não se verifica esta proporção, ao contrário, a extensão das erosões em áreas de mata é proporcionalmente menor do que a participação das áreas de matas no total do reservatório. Neste caso deve-se considerar a presença do P. E. do Morro do Diabo, com grande extensão na margem do reservatório e onde não se verifica a presença significativa de erosões marginais. Trata-se de uma área mais plana nas margens, inclusive com a presença de lagoas marginais, e protegida por Lei, o que diminui o seu uso, contribuindo para a preservação das margens.

Tabela 6.2.6-1 – Percentual de distribuição dos tipos de uso e ocupação do solo presentes nas margens dos reservatórios e nas erosões marginais das UHEs Chavantes e Rosana

Unidades pedológicas						
UHE	Classes	Extensão das classe no total das margens (km)	% do total das margens	Extensão dos Processos (km)	% em relação ao total das margens	% em relação ao total das áreas com processos
UHE Chavantes	Cultura	40,131	3,52	10,88	0,95	4,58
	Mata	555,47	48,71	193,07	16,93	81,21
	Solo Exposto	4,519	0,40	1,88	0,16	0,79
	Vegetação Rasteira	540,343	47,38	31,91	2,80	13,42
	Total	1140,46	100,00	237,75	20,85	100,00
UHE Rosana	Cultura	25,19	6,05			
	Mata	110,35	26,52			
	Solo Exposto	1,71	0,41			
	Vegetação Rasteira	278,92	67,02			
	Total	416,17	100	40,47	9,72	100,00

Antes de iniciarmos a discussão sobre o desenvolvimento dos processos e sua relação com o uso do solo, faz-se necessária uma ressalva importante tanto para a discussão que se iniciará (desenvolvimento), quanto para a que se encerra (gênese). Diferentemente das outras condicionantes discutidas até o momento, esta condicionante apresenta parâmetros de análise que exigem uma interpretação histórica. Isto porque as condições de uso e ocupação do solo vão se alterando ao longo dos anos, muito em razão de questões econômicas de cada período.

Ou seja, no caso da gênese, a análise realizada a partir da situação atual, não reflete a totalmente a realidade do momento em que os processos se iniciaram. Assim, devemos lembrar que a região de inserção da UHE Chavantes era uma região agrícola com forte produção cafeeira, a qual possibilita o uso para agricultura de terrenos com grandes declividades. Quando da implantação do empreendimento, possivelmente, muitas áreas hoje ocupadas por matas (resultado do aumento das exigências legais de preservação ambiental, das ações da concessionária do reservatório para recuperação das margens e até mesmo do declínio da atividade cafeeira na região), não apresentavam este tipo de cobertura vegetal. Assim, ainda que em pequena quantidade, algumas feições erosivas registradas atualmente, ainda podem ser resquícios de processos erosivos daquele momento da implantação.

O mesmo entendimento vale para os pontos de monitoramento, no que se refere ao desenvolvimento dos processos. Tanto para o entorno da UHE Chavantes, quanto para a UHE Rosana, ao longo dos últimos 4 anos (que temos acompanhado a situação destas áreas), houve uma mudança no padrão de ocupação regional que interferiu diretamente nos pontos de monitoramento. Citamos como exemplo destas mudanças o aumento do uso turístico do reservatório da UHE Chavantes, no qual houve uma intensificação do uso das margens. Esta mudança resultou, especificamente nos pontos de monitoramento, no início da construção de uma residência no Barranco das Garças (que nos levou a mudar o local de monitoramento, conforme já relatado anteriormente) e na construção de um muro de contenção (decorrente do processo de implantação de melhorias na propriedade de uso turístico) no Barranco do Tayayá. Na UHE Rosana, citamos dois casos de mudanças de uso do solo, uma recente e outra mais antiga. A mudança mais antiga ocorre na área do Barranco da Nova Pontal, onde (especificamente no ponto da erosão em análise) houve uma mudança do uso do solo de pastagem para cultura de ciclo longo e mais recentemente foi implantado o reflorestamento das margens com espécies arbóreas nativas. Na Fazenda Beira-rio, onde se localiza uma erosão monitorada, também houve uma mudança de pastagem para uso agrícola, neste caso cultura de ciclo curto. Esta mudança muito recente (há cerca de um ano) reflete um processo que tem se intensificado nos últimos anos, de substituição de pastagens por plantios de cana-de-açúcar.

Os exemplos citados acima visam ilustrar como ocorrem as mudanças de uso e ocupação do solo e como tais mudanças podem influenciar nos dados sobre as erosões marginais. Portanto, qualquer análise sobre a relação entre estes dois fatores deve ser relativizada, pois também deve incluir o fator de mudança histórica dos usos do solo.

A seguir, o Quadro 6.2.6-1 apresenta dados sobre o uso e a ocupação do solo relacionados ao desenvolvimento dos processos erosivos. Nele é apresentado um panorama atual de cada ponto de monitoramento com alguns detalhes sobre usos pretéritos, quando cabível.

Quadro 6.2.6-1 – Condições de uso e ocupação do solo nos pontos de monitoramento

UHE	Ponto de monitoramento	Taxa de evolução da erosão (m/mês)	Uso do solo	Presença de gado?	Proteção da APP?
UHE Chavantes	Barranco da Ilha	0,04	Pecuária (pasto sujo)	Sim	Não
	Barranco do Tayayá	0,01	Urbano / Turístico	Não	Não
	Barranco da Paulicéia	0,24	Pecuária (pastagem plantada)	Sim	Não
	Barranco das Garças	0,04	Urbano	Não	Não
	Barranco do Argilito	0,05	Pecuária (pastagem plantada)	Sim	Não
	Barranco do Cascalho	0,07	Pecuária (pastagem plantada)	Sim	Não
	Barranco do Ipê	0,57	Agricultura (cultura de ciclo curto)	Não	Sim, recente (área abandonada)
UHE Rosana	Barranco do Nova Pontal	0,12	Agricultura (cultura de ciclo longo)	Não	Sim, recente (com implantação de reflorestamento)
	Barranco da Beira-rio	0,14	Pecuária (pastagem plantada)	Sim	Sim, recente (área abandonada)
	Barranco do Machado	0,08	Pecuária (pastagem plantada)	Não	Sim, recente (área abandonada)
	Barranco do Corredor do IPE	0,15	Vegetação arbórea (recente) / Agricultura (cultura de ciclo curto)	Não	Sim, recente (com implantação de reflorestamento)
	Barranco do Ronaldo	0,10	Urbano / Turístico	Não	Não
	Barranco da Divisa do Parque	0,13	Urbano / Pecuária (pastagem plantada)	Não	Não
	Barranco da Cascalheira	0,09	Pecuária (pastagem plantada)	Não	Não (área sem uso em virtude da declividade)

O que se observa no Quadro acima é que o uso do solo não possui uma relação direta com o desenvolvimento dos processos, ainda que na UHE Chavantes os pontos de monitoramento com uso urbano / turístico sejam os que apresentam as menores taxas de evolução dos processos. A presença de gado também não interfere significativamente nas taxas de evolução dos processos, no entanto, nossas observações de campo indicam que a presença do gado contribui para o desenvolvimento acelerado de processos erosivos de origem pluvial que se estabelecem nas margens dos reservatórios. Porém, as feições formadas a partir da erosão de origem pluvial, em termos de produção de sedimentos, são menos significativas que as demais feições erosivas encontradas nas margens dos reservatórios.

Convenções Cartográficas

- Limite estadual
- Corpo d'água
- Curso d'água

Legenda

- Processo erosivo

Uso do solo

Classes

- Cultura
- Mata
- Solo exposto
- Vegetação rasteira

Escala 1:200.000

0 2 4 6 8 10 Km

Projeção Universal Transversal Mercator (UTM)
Datum Horizontal SIRGAS 2000 - Zona 22S

MAPA DE USO DO SOLO DO RESERVATÓRIO DA UHE CHAVANTES

Fonte: Mapa Índice, 1:250.000 - 2010 - IBGE
Mapeamento Contínuo, 1:250.000 - IBGE
Mapeamento Uso do Solo, 1:10.000 - Para uso
interno, sem publicação - Duke Energy International,
Geração Paranapanema

Título da tese: Gênese e dinâmica de erosões em margens de
reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas
UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)
Aluno: Maurício Fava Rubio Número USP: 2947639
Orientadora: Profª. Drª. Cleide Rodrigues Outubro/2014

Sources: Esri, USGS, NOAA

Escala 1:250.000

Projeção Unirversal Transversal Mercator (UTM)
Datum Horizontal SIRGAS 2000 - Zona 22S

Fonte: Mapa Índice, 1:250.000 - 2010 - IBGE
Mapeamento Uso do Solo, 1:10.000 - Para uso interno,
sem publicação. - Duke Energy International, Geração
Paranapanema

Legenda

Uso do Solo

Classes

- Cultura
- Mata
- Solo exposto
- Vegetação rasteira

Processo erosivo

Convenções Cartográficas

- Limite estadual
- Corpo d'água
- Curso d'Água

MAPA DE USO DO SOLO DO RESERVATÓRIO DA UHE ROSANA

Título da tese: Gênese e dinâmica de erosões em margens de
reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas
UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR)
Aluno: Maurício Fava Rubio Número USP: 2947639
Orientadora: Profª. Drª. Cleide Rodrigues Outubro/2014

Capítulo 7

+ Propostas de sistemas de classificação da tipologia e dos níveis de criticidade

7. Propostas de sistemas de classificação da tipologia e dos níveis de criticidade

Neste capítulo discutiremos duas propostas de classificação, para tipologia dos processos erosivos em margens de reservatórios e para estabelecimento dos níveis de criticidade dos mesmos, com vistas à sua gestão por parte das concessionárias responsáveis pela operação dos empreendimentos.

Antes de passarmos à apresentação e explicação dos sistemas de classificação, entendemos que é importante discorrer sobre as bases metodológicas que sustentam as propostas e seus processos de criação. PIEDADE (1977, apud NUNES, 2007, p. 40) aponta que classificar é “dividir em grupos ou classes, segundo as diferenças e semelhanças. É dispor os conceitos, segundo suas semelhanças e diferenças, em certo número de grupos metodicamente distribuídos”. NUNES (2007, p. 40) complementa dizendo que “é a ordenação de um conjunto de seres em pequenos agrupamentos, de acordo com as características que os unem ou diferem de outros grupos”.

NUNES (2007), em seu trabalho, faz uma sucinta, porém rica, contextualização da classificação como um princípio do desenvolvimento das ciências. A autora traça uma linha do tempo no desenvolvimento da estruturação do conhecimento, desde a civilização grega, conceituando seu desenvolvimento ao longo da Idade Média, do Humanismo, da Revolução Científica, do Iluminismo, do Enciclopedismo e das Revoluções Industrial e Francesa, até os tempos atuais, onde se verifica uma sofisticação no desenvolvimento da ciência.

Assim como há uma sofisticação da ciência ao longo do tempo, os meios de classificação também foram se desenvolvendo ao longo do tempo, posto que o desenvolvimento do segundo confunde-se com o próprio desenvolvimento da ciência. Desde o modelo de classificação da natureza proposto por Aristóteles, muitos outros sistemas de classificação foram criados, nos diferentes campos da ciência, para a explicação dos fatos observados ou de elementos. Ao longo do tempo, a própria finalidade dos sistemas de classificação foi se modificando, com a uma intensificação do volume de sistemas de classificação aplicados à resolução de problemas da produção técnica da sociedade.

Quanto a esta pesquisa, os dois sistemas propostos também apresentam diferenças. Trata-se de duas propostas distintas tanto em relação aos seus meios de realização, quanto às suas

finalidades. Segundo a classificação de LAKATOS & MARCONI (1985), quanto aos meios e técnicas empregados, a proposta do sistema de classificação das tipologias pode ser considerada uma pesquisa bibliográfica, posto que existe uma série de sistemas consultados para a composição deste, ainda que não destinados às margens de reservatórios. A partir dos sistemas elaborados por diversos autores para a classificação dos processos erosivos com ocorrência em vertentes emersas em geral, verificaremos as possibilidades de adequação destas terminologias ao caso dos processos em margens reservatórios, os quais estão sujeitos a outros tipos de forças atuantes.

Já a proposta de classificação para o nível de criticidade dos processos pode ser classificada como uma pesquisa de laboratório, uma vez que se trata de uma pesquisa cujos elementos e seus pesos são estabelecidos em escritório, visando uma simulação por meio de computador.

Quanto aos seus fins, também se tratam de propostas diferentes. A proposta do sistema de classificação das tipologias configura-se, segundo LAKATOS & MARCONI (1985), como uma pesquisa descritiva; enquanto a proposta de classificação para os níveis de criticidade poderia ser classificada como uma pesquisa exploratória. Segundo VERGARA (2000, apud FERNANDES & GOMES, 2003) a pesquisa exploratória é desenvolvida em campos ou com objetos sobre os quais há pouco conhecimento acumulado ou sistematizado, como se trata neste caso.

Segundo BURKE (2003, apud NUNES, 2007, p.20), “passar da intuição para o estudo organizado e sistematizado é muitas vezes um movimento difícil, que pode levar séculos para se consumir”.

Este processo de organização e sistematização do conhecimento, o qual pode ser estruturado, por exemplo, por meio de um sistema de classificação, sobretudo quando se trata de uma pesquisa exploratória, é altamente susceptível a imperfeições. Por este motivo, sua proposição, e também a sua análise, não devem considerá-lo como algo finalizado; mas sim como o processo de desenvolvimento das ciências. As propostas apresentadas adiante são, portanto, o início de uma discussão e não o seu fim; pois, como já dito anteriormente, o assunto em questão se torna cada vez mais importante para a sociedade e suscitará novas pesquisas, as quais reformularão estes sistemas, incrementando dados, informações e análises, seja porque os sistemas propostos se mostraram ineficientes, seja porque não atendem aos novos contextos científicos e sociais.

Assim, achamos de extrema importância recorrer a RONAN (2001, apud NUNES, 2007, p. 37), para o qual “nenhuma teoria sobrevive para sempre e [...] muitas vezes, quando as coisas parecem solidificadas, novas observações e novas ideias a substituem por novos conceitos atualizados”.

A partir destas breves considerações iniciais, adiante apresentamos as propostas de classificação em discussão.

7.1. Proposta de tipificação dos processos erosivos marginais

7.1.1. Sistemas existentes para classificação dos processos erosivos

A primeira etapa do trabalho de proposição do sistema para classificação dos processos erosivos foi a revisão da bibliografia sobre processos erosivos em geral. Foram consultados diversos autores (ver Quadro 7.1.1-1 adiante) para a identificação das classificações utilizadas por eles e para o entendimento de quais são os mecanismos envolvidos na geração de cada tipo de feição erosiva, segundo estes autores.

No campo das Geociências foram analisados autores da área da Geografia e da Geotecnia. Entre os autores da Geografia (principalmente CHRISTOFOLETTI, 1974; SELBY, 1982 e OLIVEIRA, 1999) verificou-se uma maior adesão ao entendimento de que os processos erosivos abrangem tanto os processos originados pela ação das águas pluviais sobre a superfície, quanto os originados pela dinâmica da água subsuperficial associada à força da gravidade. Na área da Geotecnia (em GUIDICINI & NIEBLE, 1983 e AHRENDT, 2005) este conceito não é amplamente adotado, tratando-se os movimentos de massa como uma categoria de processo geomorfológico (ou geológico) distinta dos processos erosivos. Devido à possibilidade de impacto e à magnitude destes movimentos de massa sobre as estruturas edificadas, os estudos da Geotecnia concentram-se nos movimentos de massa.

Adiante apresenta-se o Quadro 7.1.1-1 – Sistemas de classificação de processos erosivos adotados por diferentes autores.

Quadro 7.1.1-1 – Sistemas de classificação de processos erosivos adotados por diferentes autores

Autor	Tipos de Processos Erosivos
CHRISTOFOLETTI (1974)	<ul style="list-style-type: none"> • Sulcos • Ravinas • Voçorocas • Rastejamento (creep ou reptação) • Solifluxão e fluxos de lama • Avalanche • Deslizamentos • Desmoronamentos
SELBY (1982)	<ul style="list-style-type: none"> • Processos com solo <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rastejos ▪ Quedas ▪ Espalhamento lateral ▪ Deslizamento de blocos ▪ Escorregamentos translacionais ▪ Fluxos ▪ Fluxos de detritos • Processos com rocha <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quedas <ul style="list-style-type: none"> – Quedas de rocha – Quedas por falhas em placas – Quedas por tombamento – Avalanches de rochas ▪ Escorregamentos <ul style="list-style-type: none"> – Escorregamentos em cunha (rotacionais) ▪ Rastejo de massa rochosa
GUIDICINI & NIEBLE (1983)	<ul style="list-style-type: none"> • Escoamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rastejos ▪ Corridas <ul style="list-style-type: none"> – Corrida de terra – Corrida de areia ou silte – Corrida de lama – Avalanche de detritos • Escorregamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escorregamentos rotacionais ▪ Escorregamentos translacionais <ul style="list-style-type: none"> – Escorregamentos translacionais de rocha – Escorregamentos translacionais de solo – Escorregamentos translacionais de solo e de rocha – Escorregamentos translacionais remontantes • Subsidências <ul style="list-style-type: none"> ▪ Subsidências (propriamente ditas) ▪ Recalques ▪ Desabamentos

Quadro 7.1.1-1 – Sistema de classificação de processos erosivos adotados por diferentes autores (continuação)

Autor	Tipos de processos erosivos
WPWLI (1994)	<ul style="list-style-type: none"> • Quedas • Escorregamentos • Corridas • Tombamentos • Espraiaamentos
FERNANDES & AMARAL (1996)	<ul style="list-style-type: none"> • Corridas • Escorregamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escorregamentos rotacionais ▪ Escorregamentos translacionais • Quedas de blocos
OLIVEIRA (1999)	<ul style="list-style-type: none"> • Pedestais (demoiselles) • Sulcos • Ravinas • Alcovas de regressão • Filetes subverticais • Dutos de convergência e caneluras • Marmitas ou panelas • Quedas de areias • Quedas de torrões • Costelas e depressões • Fendas e dutos (pipping) • Movimentos de massa • Poços de ressurgência
AHRENDT (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Quedas <ul style="list-style-type: none"> ▪ Primárias ▪ Secundárias • Tombamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Simples ▪ Múltiplos • Escorregamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escorregamentos rotacionais ▪ Escorregamentos translacionais • Rastejos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficiais ▪ Pré-ruptura ▪ Pós-ruptura • Escoamentos ou fluxos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escoamentos em substrato rochoso ▪ Escoamentos em materiais inconsolidados • Movimentos de massa complexos

Quadro 7.1.1-1 – Sistema de classificação de processos erosivos adotados por diferentes autores (continuação)

Autor	Tipos de processos erosivos
GERSCOVICH (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Subsidências <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quedas (descalçamentos e tombamentos) ▪ Afundamento de camadas e recalques • Escoamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rastejos ▪ Corridas • Erosões • Escorregamentos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rotacionais ▪ Translacionais

O Quadro acima demonstra que os sistemas propostos podem basear-se em critérios distintos para o estabelecimento de suas classes. Verifica-se, no entanto, que, a princípio, os sistemas de classificação baseiam-se no critério de classificação a partir dos mecanismos envolvidos com os agentes atuantes. Depois, outros critérios de diferenciação dos processos, nos níveis subsequentes, são, por exemplo, a velocidade dos processos, a feição resultante do processo e o tipo de material envolvido.

Para estes critérios subsequentes de classificação os autores também apresentam classes de distinção dos elementos. Podemos citar nestes casos as distinções de velocidade dos processos e os tipos de material envolvido. Quanto à velocidade dos processos, alguns autores diferenciam os elementos de classificação segunda uma proposta de D. J. Varnes, de 1978 (GUIDICINI & NIEBLE, 1983 e GERSCOVICH, 2012) que é apresentada adiante, no Quadro 7.1.1-2.

Quanto aos materiais, GUIDICINI & NIEBLE, 1983, por exemplo, fazem distinções sobre o grau de evolução dos materiais envolvidos, entre rochas, solos e solos com detritos; além de distinções quando à granulometria dos materiais.

Por fim, também é interessante observar a classificação dos processos, quanto à profundidade da remoção dos materiais. As classes – apresentadas no Quadro 7.1.1-3, adiante - foram estabelecidas para trabalhos executados pela Fundação Instituto de Geotécnica – GeoRio (GERSCOVICH, 2012).

Quadro 7.1.1-2 – Classificação da velocidade dos processos, segundo D. J. Varnes

Nomeclatura	Velocidade
Extremamente rápido	> 3 m/s
Muito rápido	0,3 m/min a 3 m/s
Rápido	1,5 m/dia a 0,3 m/min
Moderado	1,5 m/mês a 1,6 m/dia
Lento	1,5 m/ano a 1,6 m/mês
Muito Lento	0,06 m/ano a 1,6 m/ano
Extremamente Lento	< 0,06 m/ano

Fonte: GERSCOVICH (2012, p. 18)

Quadro 7.1.1-3 – Classificação da profundidade dos processos, segundo GeoRio

Nomeclatura	Velocidade
Superficial	< 1,5 m
Raso	1,5 m a 5 m
Profundo	5 m a 20 m
Muito Profundo	> 20 m

Fonte: GERSCOVICH (2012, p. 18)

As propostas analisadas utilizaram-se em suas composições de um grande volume de referências. No entanto, algumas referências especialmente, como o trabalho “Lanslides and related phenomena”, de C. F. S. Sharpe, de 1938; o trabalho “Landslides types and process”, de D. J. Varnes, de 1958, o livro *Landslides, analysis and process*, também de D. J. Varnes, de 1978; o trabalho “Mass moviment”, de J. N. Hutchinson, de 1968; e o livro *Hillslope materials and process*, de M. J. Selby, de 1982, são referências importantes presentes em parte significativa desta bibliografia consultada, o que resulta nas semelhanças entre as propostas que consultamos.

Não cabe nesta pesquisa a discussão dos detalhes presentes nas diferenças entre as classificações dos processos pelos diferentes autores, até porque a revisão realizada não tinha este objetivo. Mas é importante destacar que, do ponto de vista teórico, esta revisão foi importante para verificar, primeiro, a estrutura de classificação adotada por cada autor, e, também, identificar a origem das terminologias empregadas em cada caso. Essa base é de fundamental importância para a classificação que se apresenta adiante.

7.1.2. Feições e processos erosivos estudados em reservatórios

Embora possamos adotar muitos dos princípios apresentados nos trabalhos citados acima, entendemos que em reservatórios há outra dinâmica de processos erosivos, que não pode ser desprezada. Portanto, cabe também uma revisão de como os estudiosos dos processos erosivos marginais trabalham estes conceitos.

Conforme já exposto anteriormente, DE JORGE (1984) e COLÂNGELO (1990) trabalham com o estudo de escorregamentos marginais; enquanto FERNANDEZ (1995) estuda processos classificados por ele como solapamentos. Como pudemos observar em capítulo anterior (“Capítulo 5. Empreendimentos hidrelétricos, processos erosivos marginais em reservatórios e seus fatores influência”), os autores utilizam tais terminologias com base nos processos e feições erosivas preponderantes em suas áreas de estudos. Os terrenos mais íngremes da região de São Luis do Paraitinga e de Paraibuna refletem no tipo de processo preponderante no reservatório instalado naquela região. As condições geológicas e geomorfológicas locais também refletem uma maior preocupação quanto à alteração do nível de base das águas subterrâneas naquela região, conforme apresentado por DE JORGE (1984) e COLÂNGELO (1990). Já na região da UHE Itaipu, com terrenos mais planos nas margens, outros processos se evidenciam – principalmente decorrentes da ação das ondas, que resultarão em solapamentos como as feições mais presentes –, conforme exposto por FERNANDEZ (1995).

GUIDICINI & NIEBLE (1983, p.27) definem escorregamentos (stricto sensu) como “movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude”. Em regiões com as condições ambientais semelhantes às da região de São Luis do Paraitinga e de Paraibuna, pode se tratar de um processo importante, porém, não se pode dizer que em outras regiões predominem feições semelhantes. Nos reservatórios do rio Paranapanema, predominam processos de longa duração e com volumes indefinidos de materiais susceptíveis ao transporte ao longo dos processos. Portanto, podemos dizer que este tipo de feição com os processos geradores que lhe são inerentes compõe o rol de feições possíveis de ocorrer em margens de reservatórios, mas não podem ser utilizados para designar o conjunto de processos erosivos marginais.

FERNANDEZ (1995) adota um modelo de evolução das áreas marginais do reservatório da UHE Itaipu semelhante ao das falésias litorâneas, adotado pela geomorfologia costeira. Ainda segundo o autor os processos atuantes neste ciclo seriam, via de regra, a corrosão da base e o

desmoronamento da face e no topo dos taludes. Este ciclo é popularmente designado pelas populações ribeirinhas e pelos agentes do setor elétrico como solapamento.

Segundo nossas observações de campo, nos diversos reservatórios localizados no rio Paranapanema, bem como em outros reservatórios brasileiros, trata-se, sem dúvida, de uma feição erosiva de grande importância nas margens dos reservatórios situados em meio tropical úmido, dada a sua representatividade no conjunto de processos erosivos marginais. Porém, apesar da sua representatividade este tipo de feição erosiva, não corresponde à totalidade dos processos, não sendo, portanto, também uma terminologia adequada para a referência aos processos erosivos marginais.

Estes exemplos evidenciam que cada região, em virtude de suas condições ambientais, apresentará a predominância de determinados tipos de processos, que resultarão em feições erosivas distintas. Também fica evidente que as terminologias utilizadas por diferentes autores são determinadas pelo tipo de processo dominante em suas regiões de estudo e não por uma análise do conjunto de feições possíveis.

Esta questão da variabilidade das condições ambientais relacionada à diferença dos processos e feições erosivas marginais nos parecia evidente desde o início da pesquisa, ainda que, naquele momento, sem uma análise mais aprofundada da bibliografia sobre o tema. Este entendimento manifestou-se inclusive na seleção da área de estudo. A opção pelos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana se deu por dois fatores principais, (i) serem reservatórios com sistemas de operação diferentes (um de acumulação e outro a fio d'água) e (ii) por estarem inseridos em regiões ambientalmente diferentes (principalmente no que se refere às condições geológicas e geomorfológicas).

Tais diferenças entre processos, provocadas por diferenças das condições ambientais, também podem ser extrapoladas para uma escala global. Espera-se a ocorrência de diferenças entre processos erosivos marginais conforme o domínio climático em que o mesmo se encontra. Por exemplo, em meio tropical úmido, com maior presença de água no solo e camadas de solo mais espessas haverá um comportamento das margens, enquanto em meio subtropical ou temperado, haverá outros comportamentos, em virtude das diferenças dos solos decorrentes da menor ação da água como elemento pedogenético. Ou, ainda, em clima temperado ou polar existe a ação do gelo como fator de interferência nos processos erosivos, o que não ocorre no clima tropical.

Essa noção da diferença de comportamento dos ambientes pode ser comprovada com a análise dos estudos coordenados por WANG & LI (2009) sobre a UHE Três Gargantas (rio Yangtzé, China). Este trabalho não se restringe às margens do reservatório, pois também considera os processos erosivos existentes em áreas distantes do reservatório, mas que possam ter sua causa relacionada a ele.

Adiante segue o Gráfico 7.1.2-1, que mostra a distribuição em porcentagem dos tipos de processos ocorridos na região deste empreendimento.

Gráfico 7.1.2-1 – Distribuição dos tipos de processos registrados na região do reservatório da UHE Três Gargantas

Fonte: Adaptado de WANG & LI (2009)

A leitura do trabalho de WANG & LI (2009) revela que a região de inserção do reservatório da UHE Três Gargantas possui solos com pequena espessura e que a maioria dos processos erosivos se dá com o envolvimento de rochas. Também se verifica nesta leitura que os processos erosivos envolvem a presença de água e alterações nas rochas, gerando prioritariamente feições erosivas formadas a partir de movimentos mais rápidos e com volume de material mais delimitado. Tal condição pode ser comprovada pelo modelo de monitoramento dos processos erosivos implantado para este empreendimento. O monitoramento das erosões proposto para este empreendimento consiste basicamente em medições sobre as condições dos maciços rochosos. A situação é diferente da observada, por exemplo, na bacia do rio Paranapamena, onde os monitoramentos são realizados sobre as características e o desenvolvimento das feições erosivas. Desta maneira, os monitoramentos propostos para estes dois casos, em virtude das velocidades

dos processos – processos erosivos desenvolvidos sobre os solos e sob a ação das ondas são mais frequentes do que os desenvolvidos sobre rochas, cujo agente principal são as águas subsuperficiais – também apresentam características diferentes, quanto à forma, aos recursos adotados e a periodicidade dos monitoramentos.

Por fim, cabe uma observação referente aos estudos realizados em reservatórios localizados nos Estados Unidos. Autores como GATTO (1988), GATTO & DOE III (1987), LAWLER (1992) e HOLMSTEAD (2003) utilizam o termo erosão marginal (bank erosion), eventualmente identificando processos e feições específicos, porém, sem a preocupação com um maior rigor na caracterização das feições. O mesmo ocorre em autores como ALLEN & WADE (1991), ALLEN & TINGLE (1992) e KYRK et al (2000), que adotam o termo erosão em linha de costa (shoreline erosion).

Em termos de caracterização dos processos, todos os autores citados são rigorosos na descrição dos seus estudos de caso e os mecanismos citados não divergem daqueles citados pelos autores brasileiros. Apenas verifica-se uma recorrência maior de citações e de casos envolvendo processos erosivos causados pela ação do gelo.

Quanto à classificação das feições erosivas, observa-se maior rigor na caracterização no estudo de REID (1992) e, sobretudo, no de SCHUSTER (1979). REID (1992), em trabalho sobre o conjunto de reservatórios da USACE, utiliza o termo deslizamentos de forma genérica e aponta que os processos por ele estudados podem ser divididos em quedas, escorregamentos planares e escorregamentos rotacionais.

Por fim, SCHUSTER (1979) é, dentre os autores estudunidenses consultados, aquele que mais se dedica à classificação das feições erosivas, ainda que de forma restrita aos movimentos de massa. Para este autor, cuja referência nos estudos de classificação dos processos erosivos é o estudo de D. J. Varnes, de 1978, os processos erosivos podem ser caracterizados pelo tipo de movimento ou pelas características do material envolvido.

SCHUSTER (1979), utilizando a classificação proposta por Varnes (1978), indica a ocorrência dos seguintes processos nos reservatórios por ele estudados:

- ✓ Processos com rocha
 - Rotacionais
 - Escorregamentos de rocha
 - Translacionais
 - Deslizamentos de blocos de rocha
 - Quedas de rochas
- ✓ Processos com materiais superficiais
 - Materiais grosseiros
 - Escorregamentos de detritos
 - Fluxos de detritos
 - Avalanches de detritos (um tipo de fluxo de detritos)
 - Materiais finos
 - Quedas de terra
 - Deslizamentos de terra
 - Spreads da terra
 - Fluxos de terra
 - Corridas de argila e silte

O autor faz uma série de explanações sobre cada tipo de feição erosiva e analisa os casos de alguns dos reservatórios localizados nos Estados Unidos e no Canadá. Entre as observações realizadas, o autor cita que os processos induzidos por reservatórios mais comuns são as corridas de silte e argila.

Este é o panorama geral dos conceitos e terminologias de processos erosivos em margens de reservatórios adotados na bibliografia consultada por esta pesquisa. Achamos pertinente encerrar esta compilação com a análise de que, de maneira geral, nota-se uma simplificação das terminologias adotadas para os processos erosivos em margens de reservatório, quando comparadas aos sistemas de classificação existentes para as áreas emersas em geral já existentes na literatura de Geociências. Nosso entendimento é de que a razão deste descompasso encontra-se no volume de estudos produzidos para cada uma das situações: enquanto as primeiras proposições de sistemas de classificação dos processos erosivos datam do final do século XIX – mais precisamente das décadas de 1870, com Baltzer; 1880, com Heim; e 1890, com Penck e Molitor (GUIDICINI & NIEBLE, 1983) –, para o caso dos processos erosivos marginais os estudos

se concentraram a partir da década de 1960, sobretudo após o incidente ocorrido no reservatório de Vajont, nos Alpes Italianos. Este processo de grandes magnitudes, cujo único evento foi capaz de lançar tal volume de material sobre o reservatório, que gerou uma onda que transpos a barragem a uma altura acima de sua crista de mais de 150 m (na margem direita a altura chegou a 250 m), causou inúmeros danos materiais e resultou na morte de cerca de 3000 pessoas. A partir de então, diversos estudos sobre este fenômeno nas margens de reservatório passaram a ser realizados, como mostra DE JORGE (1984) e SCHUSTER (1979), inclusive uma série de levantamentos realizados pela USACE em grandes reservatórios federais estadunidenses, presentes em diversas bibliografias utilizadas nesta pesquisa.

7.1.3. Proposta de sistemas para classificação dos processos erosivos em margens de reservatórios

Em lagos e reservatórios existem vários processos físicos atuando nas margens, de maneira a influenciar as taxas de erosão. Tais processos incluem o escoamento superficial, os fluxos de água subterrânea, o movimento do gelo no lago, as correntes existentes no lago, a ação dos ventos e das ondas e a declividades das vertentes íngremes (ELÇI & WORK, 2003).

Ao longo de nossas atividades em campo verificamos que estes processos (exceto os movimentos de gelo, que obviamente não ocorrem nos reservatórios estudados), bem como outros processos e condicionantes ambientais apresentados no Capítulo 5, influenciam os processos erosivos marginais. Esta influência, no entanto, está condicionada a dois fatores morfológicos dos terrenos, muito importantes.

O primeiro refere-se à sua localização topográfica na vertente, conforme destacado por COLÂNGELO (1990). Este autor afirma que há três subsistemas hidrodinâmicos nas margens de reservatórios: **(I)** porção permanentemente inundada, na qual os materiais inconsolidados encontram-se saturados e, conseqüentemente, com alto risco de instabilização; **(II)** porção submetida à saturação e dessecação em virtude do deplecionamento do reservatório (chamada pelo autor de “Cinturão de Oscilação Hidrodinâmica”), onde se verifica aumento do risco de ocorrência de colapso dos materiais inconsolidados, decorrente das pressões (neutras) da ação da água anularem as forças coesivas, causando alívio de carga nos materiais inconsolidados submersos; e **(III)** porção permanentemente emersa, na qual os solos apresentam condições normais de drenagem, com forças coesivas suficientemente fortes para anular as forças de cisalhamento.

O segundo fator refere-se ao contato da água com o tipo de material da margem. Neste caso, pode-se considerar a existência de contatos **(i)** entre água e solo protegido (principalmente por cobertura vegetal, mas também por outros materiais); **(ii)** entre água e solo exposto (ou desprovido de cobertura que contribua para o aumento da resistência); **(iii)** entre água e rocha pouco resistente; e **(iv)** entre água e rocha muito resistente. Em cada uma dessas situações se verificará um comportamento diferente para os processos erosivos.

Adiante se apresenta um quadro (Quadro 7.1.3-1) com uma síntese dos processos geradores e condicionantes de erosões em margens de reservatórios, compilados a partir da literatura consultada na pesquisa, com especial distinção aos trabalhos de GUIDICINI & NIEBLE (1983) e OLIVEIRA (1999). O quadro situa estes processos quanto à sua possibilidade de ocorrência nos diferentes subsistemas hidrodinâmicos e quanto aos tipos de contato – água X material – possíveis. Trata-se de uma primeira atividade de compreensão e distinção dos processos atuantes nas erosões em margens de reservatório.

Quadro 7.1.3-1 – Classificação dos principais processos geradores/condicionantes de erosões em margens de reservatórios quanto à sua ocorrência nos sistemas hidrodinâmicos e aos tipos de contatos existentes

<i>Processos geradores / condicionantes de erosões em margens de reservatórios.</i>	<i>Subsistema hidrodinâmico</i>			<i>Tipo de contato</i>			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>i</i>	<i>ii</i>	<i>iii</i>	<i>iv</i>
- Deslocamento de partículas por impacto das gotas de chuva							
- Transporte de partículas de solo pelo escoamento superficial difuso							
- Transporte de partículas por fluxos concentrados							
- Erosão por quedas d'água							
- Liquefação dos materiais do solo							
- Arraste de partículas pela ação de ondas							
- Mudanças na geometria do sistema				n.a	n.a	n.a	n.a
- Mudanças naturais na inclinação das encostas				n.a	n.a	n.a	n.a
- Movimentos de massa localizados							
- Movimentos de massa ocasionados por alívio de tensão							
- Efeitos de vibrações							
- Diminuição do efeito de coesão aparente							
- Arraste de partículas por percolação							
- Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas							
- Elevação da coluna d'água em descontinuidades							

Quadro 7.1.3-1 – Classificação dos principais processos geradores/condicionantes de erosões em margens de reservatórios quanto à sua ocorrência nos sistemas hidrodinâmicos e aos tipos de contatos existentes

<i>Processos geradores / condicionantes de erosões em margens de reservatórios.</i>	<i>Subsistema hidrodinâmico</i>			<i>Tipo de contato</i>			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>i</i>	<i>ii</i>	<i>iii</i>	<i>iv</i>
- Rebaixamento rápido do lençol freático							
- Arraste de partículas por fluxos concentrados em túneis e dutos							
- Movimentos de massa ocasionados pela saturação do contato entre solos e rocha							
- Efeito de oscilações térmicas							
- Expansão e retração do solo pela ação de umedecimento/secamento							
- Diminuição dos parâmetros de resistência por intemperismo							

A partir da compilação apresentada acima, no Quadro 7.1.3-1, verificou-se que os processos identificados eram condicionados por quatro agentes deflagradores principais: (i) ação das águas pluviais superficiais (incluindo fluxo concentrado), (ii) ação das águas e de outros mecanismos em subsuperfície, (iii) ação da gravidade e de alívios de tensão e (iv) ação das ondas dos reservatórios.

Na sequência, partiu-se para a proposição propriamente dita de uma sistema de classificação das erosões marginais. A proposta é apresentada no Quadro 7.1.3-2, apresentado nas próximas páginas. Como pode ser observado no material, o quadro apresenta, ainda, as seguintes informações:

- Classe (tipologia das feições) (nome da classe da feição erosiva considerada na tipologia de feições proposta)
- Agente / processo dominante (identificação dos agentes dominantes em cada feição)
- Caracterização do processo
- Relevância (quanto à ocorrência em reservatórios estudados durante esta pesquisa e quanto ao impacto na análise geral das erosões em reservatórios hidrelétricos)
- Material envolvido
- Velocidade do processo
- Volume de material envolvido (volume remobilizado durante a atividade do processo erosivo)
- Volume final do processo (volume final envolvido no processo até sua estabilização por um período de maior duração)
- Referências (bibliografia utilizada para embasar a classe na tipologia das feições)

Quadro 7.1.3-2 – Proposta de classificação das erosões marginais por tipologia

Classe (tipologia das feições)	Agente / processo dominante				Caracterização do processo	Relevância	Material envolvido	Velocidade do processo	Volume de material envolvido	Volume final do processo	Referências
	1	2	3	4							
• Sulcos					Incisões de pequena profundidade (até 10 cm de profundidade) formadas pelo escoamento, em geral, das águas pluviais.	Média	Solo	Lenta	Pequeno	Pequeno	OLIVEIRA (1999), CHRISTOFOLETTI (1974), GERSCOVICH (2012)
• Ravinas					Incisões de pequena profundidade (até 10 cm de profundidade) formadas pelo escoamento, em geral, das águas pluviais.	Média	Solo	Lenta	Pequeno	Pequeno a médio	OLIVEIRA (1999), CHRISTOFOLETTI (1974), GERSCOVICH (2012)
• Voçorocas					Incisões de grandes dimensões (superiores à 50 cm de profundidade) formadas pelo escoamento, em geral, das águas pluviais, podendo também estar associados à afloramento do lençol freático.	Média	Solo	Lenta	Pequeno a médio	Grande a muito grande	OLIVEIRA (1999), CHRISTOFOLETTI (1974), GERSCOVICH (2012)
• Pedestais (demoiselles) e filetes subverticais					Micro feições erosivas que resultam em pequenos movimentos das partículas do solo, causadas pelo salpicamento das gotas de chuva (pedestais) e por micro fluxos concentrados d'água (filetes subverticais).	Baixa	Solo	Lenta	Muito pequeno	Muito pequeno	OLIVEIRA (1999)
• Marmitas ou panelas					São feições dissimétricas (em geral arredondadas ou ovaladas) e pequenas formadas pela queda de água na base dos taludes ou nos degraus interiores de voçorocas.	Baixa	Solo	Lenta	Pequeno	Pequeno	OLIVEIRA (1999)
• Escoamentos					Terminologia geral para os movimentos que podem ser classificados como rastejos (lentos) ou corridas (rápidos)						
▪ Rastejos					São movimentos lentos e contínuos ao longo da vertente, que podem transportar volumes variados de material. Tem como agente principal a gravidade, mas também decorrem de variações de temperatura e umidade.	Baixa	Solo e detritos	Lenta	Média a grande	Média a grande	GUIDICINI & NIEBLE (1983), CHRISTOFOLETTI (1974), GERSCOVICH (2012), SELBY (1982)
▪ Corridas					São movimentos rápidos causados pela presença de excesso de água, que tornam os materiais em fluidos.	Baixa	Solo e detritos	Rápida	Média a grande	Média a grande	GUIDICINI & NIEBLE (1983), FERNANDES & AMARAL (1996), WP/WLI (1994), GERSCOVICH (2012)
• Dutos (piping)					São feições formadas em subsuperfície causadas pelo transporte (dissolução e carreamento) de minerais, apresentando largura e extensão variável.	Média	Solo	Lenta	Pequena	Pequena à muito grande	OLIVEIRA (1999)
• Escorregamentos					São movimentos rápidos, de curta duração, envolvendo volumes bem definidos de massas do terreno, com deslocamento no sentido para baixo e para fora do talude.						
▪ Escorregamentos rotacionais					São escorregamentos em forma de cunha, que em geral envolvendo material da superfície até o manto de alteração. Em geral ocorrem em taludes mais íngremes e possuem extensão mais limitada.	Alta	Solo e detritos	Rápida	Grande a muito grande	Grande a muito grande	GUIDICINI & NIEBLE (1983), AHRENDT (2005), FERNANDES & AMARAL (1996), GERSCOVICH (2012), SELBY (1982)
▪ Escorregamentos translacionais					São movimentos realizados sobre um plano de movimentação estabelecido, em geral, a partir do contato entre estruturas subsuperficiais. Pode atingir taludes mais planos e se movimentar por longas distâncias.	Alta	Solo, detritos e rochas	Rápida	Grande a muito grande	Grande a muito grande	GUIDICINI & NIEBLE (1983), AHRENDT (2005), FERNANDES & AMARAL (1996), GERSCOVICH (2012), SELBY (1982)

Quadro 7.1.3-2 – Proposta de classificação das erosões marginais por tipologia (continuação)

Classe (tipologia das feições)	Agente / processo dominante				Caracterização do processo	Relevância	Material envolvido	Velocidade do processo	Volume de material envolvido	Volume final do processo	Referências
	1	2	3	4							
• Quedas					Movimentos gerados pela ação da gravidade. Podem ser classificados pelo sentido de deslocamento e pelos materiais envolvidos.						
▪ Descalçamentos					São movimentos verticais instantâneos, ocasionados pela perda da base de sustentação. Diferentemente dos recalques e subsidências, não mantêm a estrutura das camadas internas.	Alta	Solo, detritos e rochas	Rápida	Pequena a Muito grande	Média a muito grande	GERSCOVICH (2012)
▪ Desabamentos					Movimentos rotacionais ou translacionais ocasionados causados pela perda da sustentação ou pela perda de coesão do solo (por exemplo, pela ação de ressecamento, no caso de solos muito arenosos), que provocam a queda de blocos de solo, com detritos misturados.	Alta	Solo e detritos	Rápida	Pequena a Muito grande	Média a muito grande	
▪ Tombamentos					Movimentos rotacionais ou translacionais ocasionados causados pela perda da sustentação ou pela perda de coesão do solo (por exemplo, pela ação de ressecamento, no caso de solos muito arenosos), que provocam a queda de blocos de rocha.	Média	Rocha	Rápida	Pequena a Muito grande	Média a muito grande	AHRENDT (2005), WP/WLI (1994), GERSCOVICH (2012)
▪ Empastilhamento					Perda de material rochoso na base do talude por escamação resultante do intemperismo causado pelo umedecimento / ressecamento da rocha exposta ao intemperismo das águas do reservatório.	Pequena a média	Rocha	Lenta	Pequena	Média	
• Subsidências					São movimentos verticais gerados pelo adensamento ou afundamento das camadas, em consequência da diminuição do volume da fase sólida, ou remoção das fases líquida e gasosa do substrato.	Média	Solo	Lenta	Grande	Grande	GUIDICINI & NIEBLE (1983), GERSCOVICH (2012)
• Recalques					Movimentos verticais causados pelo peso das camadas superficiais, remoção do confinamento lateral, efeito do rebaixamento do lençol freático, entre outras. Em termos das feições geradas, diferem-se das subsidências pela área envolvida no processo, em geral menores do que as das subsidências.	Alta	Solo	Lenta	Muito pequena à média	Muito pequena à média	GUIDICINI & NIEBLE (1983), GERSCOVICH (2012)
• Escavação da base					São feições formadas a partir da ação corrosiva das ondas e das mudanças de nível no reservatório. São forma pelo embate da água e podem, com sua evolução, se transformar em outras feições de maior porte, como por exemplo, as alcovas de regressão.	Alta	Solo, detritos e rochas	Rápida	Pequeno	Pequeno	FERNANDEZ (1995)
• Alcovas de regressão					São feições erosivas formadas a partir da ação das ondas na remoção das partículas dos solos. Diferenciamos das escavações da base pelo volume de material final envolvido e pelas dimensões. Em geral estas formas se desenvolvem mais na altura do que na profundidade.	Média	Solo e detritos	Lento	Pequeno à Médio	Pequeno a Médio	OLIVEIRA (1999)

Agente / processo dominante:

1	Ação das águas pluviais superficiais (incluindo fluxo concentrado)
2	Ação das águas e de outros mecanismos de subsuperfície

3	Ação da gravidade e de alívios de tensão
4	Ação das ondas dos reservatórios

Pode ser observado no Quadro 7.1.3-2 que a organização da tipologia de classificação das erosões marginais parte da seguinte sequência de critérios: 1º - agente principal envolvido; 2º - mecanismo de ocorrência de processo; e 3º - dimensões e volume de material envolvido.

Por fim, apresentamos adiante observações acerca das feições propostas nos sistemas de classificação. Tais observações referem-se à forma de ocorrência, aos materiais envolvidos e a outras observações realizadas ao longo desta pesquisa e de nossa experiência profissional sobre o assunto. Tais observações encontram-se dispostas no Quadro 7.1.3-2.

Quadro 7.1.3-2 – Observações acerca das classes que compõem a tipologia proposta para erosões em reservatórios

Classe (tipologia das feições)	Foram observadas na área de estudo?	Observações
Sulcos	Sim	Foi observada a presença de sulcos em praticamente todas as erosões monitoradas por esta pesquisa. Trata-se de um processo intensificado pela presença de gado e pela utilização de técnicas agrícolas inadequadas nas margens dos reservatórios.
Ravinas	Sim	Situação semelhante à relatada para os sulcos.
Voçorocas	Não	Não identificamos na área de estudo nenhuma voçoroca existente na margem do reservatório que possa ter sido gerada por ação do reservatório, por exemplo, pela ação da elevação do nível de base, ou que influencie processos erosivos nas margens destes reservatórios. Contudo, em situações específicas podem ocorrer relações entre estas feições e os reservatórios.
Pedestais (demoiselles) e filetes subverticais	Sim	São processos comuns em áreas onde o solo está exposto e podem ser observadas em diversos locais das margens de reservatórios. Estas feições podem ser mais facilmente observadas em solos muito arenosos e logo após a ocorrência de eventos chuvosos.
Marmitas ou panelas	Não	Não identificamos nos pontos de monitoramento e nos demais locais dos reservatórios das UHE Chavantes e Rosana. No entanto, tais feições foram identificadas no reservatório da UHE Jurumirim.
Escoamentos	Não	Tais feições/processos não foram identificados nos reservatórios em estudo. No entanto, eles podem ocorrer em outras condições de terreno e sob efeito intenso da ação de chuvas. É importante destacar que usamos o conceito de corrida de maneira diferente daquele usado por SCHUSTER (1979). O processo descrito por este autor assemelha-se mais ao que caracterizamos como corrosão da base, enquanto as corridas são utilizadas para caracterizar processos com maior volume de material envolvido.
Rastejos	Não	
Corridas	Não	

Quadro 7.1.3-2 – Observações acerca das classes que compõem a tipologia proposta para erosões em reservatórios (continuação)

Classe (tipologia das feições)	Foram observadas na área de estudo?	Observações
Fendas e dutos (piping)	Não	Não identificamos este tipo de feição nos reservatórios no rio Paranapanema. No entanto, temos conhecimento de casos severos existentes na região norte do país, como no reservatório da UHE Tucuruí.
Escorregamentos	Sim	Como pudemos ver, na literatura consultada, diferentes autores utilizam esta terminologia para a caracterização das erosões marginais em geral. Nesta classificação este termo é utilizado de forma restrita.
Escorregamentos rotacionais	Sim	São os escorregamentos mais comuns em reservatórios, já tendo sido amplamente discutidos na literatura, inclusive a utilizada nesta pesquisa. Possui grande relação com os movimentos de oscilação do reservatório e suas consequentes variações do nível de base.
Escorregamentos translacionais	Sim	No reservatório da UHE Rosana verifica-se a ocorrência de processos de pequena dimensão. Em regiões como a parte mais próxima da barragem da UHE Chavantes, onde se verificam terrenos íngremes e solos mais rasos, verificam-se terrenos susceptíveis a ocorrências deste tipo de processo, com maiores proporções.
Quedas	Sim	Identificamos a ocorrência de diferentes tipos de quedas, que se caracterizam por movimentos diferentes e com materiais diferentes. Portanto, propõe-se uma subdivisão destes processos/feições erosivas.
Descalçamentos	Sim	Trata-se de um tipo de processo muito comum nos reservatórios, pois é a principal consequência dos processos de corrosão da base. A partir da perda da base de sustentação a ação da gravidade atua exercendo força para que o movimento ocorra verticalmente, o que acontece após uma ruptura em determinada parte da superfície do solo.
Desabamentos	Sim	Propomos esta terminologia para os movimentos de quedas laterais envolvendo solos e detritos. Difere-se dos tombamentos pelo tipo de material envolvido, que resultará, por sua vez, em volumes diferentes também. Citamos como exemplo deste tipo de processo/feição o Barranco da Divisa do Parque. Lá o solo extremamente arenoso, exposto à frequente ação de umedecimento e ressecamento, em altas declividades, ocasiona tais desabamentos na perda de coesão quando o solo resseca, ocasionando a ocorrência do processo.

Quadro 7.1.3-2 – Observações acerca das classes que compõem a tipologia proposta para erosões em reservatórios (continuação)

Classe (tipologia das feições)	Foram observadas na área de estudo?	Observações
Quedas (continuação)		
Tombamentos	Não	Esta classe diferencia-se dos desabamentos, por envolver a queda de grandes blocos de rocha. Não foi verificada sua ocorrência na bacia do rio Paranapanema, porém entendemos que o mesmo pode ocorrer em áreas escarpadas de terrenos com rochas magmáticas. Citamos como exemplo os reservatórios de hidrelétricas instaladas em regiões da formação Serra Geral, no sul do Brasil.
Empastilhamento	Sim	Trata-se da queda de seixos de tamanhos variados, desprendidos da rocha exposta, após a ação da água. A ocorrência é de fácil percepção, pois resulta na formação de praias de “cascalhos” nas margens dos reservatórios. Este processo foi percebido nos Barrancos do Argilito e do Cascalho, na UHE Chavantes, além do Barranco da Cascalheira, na UHE Rosana.
Subsidências	Não	Não identificamos este tipo de processo na região. No entanto, os mesmos podem ocorrer após alterações no nível de base, ocasionados oscilações do reservatório, tanto na fase de enchimento, quanto na de operação deste.
Recalques	Sim	Ao longo dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana foram identificadas inúmeras ocorrências deste tipo de processo. Em geral apresentam pequenas dimensões e surgem pela perda de volume das camadas intermediárias dos solos. No entanto, no Barranco do Argilito verificou-se um caso cujas dimensões eram de aproximadamente 50 m de extensão, por 10 m de largura, envolvendo grande quantidade de material. Neste caso em questão, possivelmente o processo foi ocasionado pelo alívio de tensão causado por quedas de blocos de solo na face do talude, após a corrosão da base.
Escavação da base	Sim	Trata-se do principal processo existente nos reservatórios da bacia do rio Paranapanema, sendo verificado em todos os reservatórios. Apresenta velocidades diferentes conforme o tipo de material da margem, conforme a ação dos ventos e ondas e a oscilação dos reservatórios.
Alcovas de regressão	Sim	Foram observadas feições deste tipo no reservatório da UHE Chavantes (por exemplo, nos Barrancos do Ipê e do Argilito). Apresentam alturas variáveis, geralmente entre 0,5 m e 1,5 m e profundidades de até 0,5 m.

Entendemos que esta proposta de classificação das erosões quanto à sua tipologia pode ser útil à classificação dos processos pelos estudiosos que forem realizar as próximas pesquisas sobre as erosões marginais, mas são mais importantes ainda para os técnicos do setor elétrico que são responsáveis pela gestão desta problemática dentro das concessionárias responsáveis pelos reservatórios. Isso porque um sistema de classificação facilita o trabalho de identificação dos casos que ocorrem em cada reservatório, auxilia na classificação dos processos quanto à sua criticidade, melhorando o processo de tomada de decisões e, por fim, também facilita e melhora a escolha e a implantação de ações de controle dos processos erosivos e de recuperação das áreas degradadas pelas erosões marginais.

7.2. Proposta de um sistema de classificação dos processos por nível de criticidade

7.2.1. Considerações Gerais

Conforme exposto anteriormente, nos últimos anos a questão dos processos erosivos em margens de reservatórios tem exigido maior atenção das concessionárias de empreendimentos hidrelétricos. Estas empresas têm sido objeto de fiscalização e atuação de diferentes órgãos de controle estatal, tendo como resultado a aplicação de multas e a exigência de implantação de medidas de controle de tais processos e/ou de recuperação das áreas degradadas por eles.

Neste cenário, torna-se cada vez mais premente a elaboração de um sistema que identifique quais são os locais mais prementes para atuação das concessionárias, considerando-se as condições dos processos erosivos e suas implicações sociais e econômicas. Estudo realizado por REGEA & DUKE ENERGY (2013) analisou os custos de implantação de 8 (oito) alternativas de controle nos processos erosivos, entre anteparos e revestimentos¹, para dois tipos de processos erosivos distintos quanto às suas dimensões. O resultado dos estudos indicam custos de implantação de alternativas de controle que variam entre R\$ 265,00 e R\$ 8.500,00, o custo do m² de talude protegido.

Pensando-se em um caso hipotético de um reservatório de 500 km de perímetro, com 10% das margens com erosões, cujas alturas médias sejam de 1,5m, no qual a média da implantação de alternativas de controle seja de R\$ 1.700,00/m²; verifica-se um custo total estimado em R\$ 127

¹ No estudo em questão foram analisadas estruturas de anteparos de proteção implantadas com (i) pontalete de madeira, (ii) pneus usados e (iii) tubos de concreto. As medidas de revestimento analisadas foram (iv) manta de gabião, (v) bolsacreto®, (vi) saco de solo cimento, (vii) enrocamento e (viii) biomanta.

bilhões para se atuar em todos os processos erosivos existentes neste único reservatório, o que atesta a inviabilidade econômica de uma hipótese como esta.

Portanto, este sistema de classificação do nível de criticidade dos processos visa contribuir, também, para uma orientação mais objetiva dos locais onde serão realizados os investimentos em controle de processos erosivos. Esta contribuição, no entanto, só é possível após um entendimento do funcionamento destes processos e de suas implicações sociais.

Assim, o sistema de classificação ora proposta tem como finalidade sistematizar e apresentar uma série de conhecimentos obtidos durante a realização desta pesquisa e na experiência profissional do seu autor, que estão relacionados à gestão dos processos erosivos enquanto problema a ser tratado pelas concessionárias de energia. Entre as atividades necessárias, verificou-se a necessidade de se identificar quais são os aspectos relativos aos processos erosivos em margens de reservatórios que devem ser considerados na análise da criticidade dos processos.

A observação e as experiências vividas em diversos empreendimentos nos mostram que a seleção das áreas a serem trabalhadas não segue um procedimento metodológico de seleção, baseada em critérios objetivos, ainda que não exclusivamente técnicos. A indicação das áreas mais críticas, nos casos de nosso conhecimento, são estabelecidas segundo a percepção dos analistas envolvidos na questão; assim como a seleção das áreas segue quase que exclusivamente a critérios de pressão dos proprietários afetados e/ou dos órgãos de controle.

Visando dar maior clareza ao processo de seleção, para a composição desta pesquisa, foram analisados diversos métodos estatísticos e ferramentas/abordagens para definição de prioridades para a gestão desta questão. Dentre os métodos estatísticos analisados, o que se mostrou mais adequado para este caso foi o método da Análise Multicritério. Este método é utilizado em análises de seleção espacial por meio de SIG, aplicadas a estudos florestais (VALENTE & VETTORAZZI (2005), na gestão de recursos hídricos (POMPERMAYER, DE PAULA JUNIOR & NETTO, 2007 e FRANCO, HERNANDEZ & MORAES, 2013) e na definição de locais para implantação de aterros sanitários (CALIJURI, MELO & LORENTZ, 2002), entre outras aplicações ambientais.

Verificou-se a existência de diversas ferramentas para tratamento estatístico dos dados, a partir da análise multicritério. Por se tratarem de ferramentas complexas para o grau de desenvolvimento desta pesquisa, optou-se por adotar uma adaptação simplificada desta

metodologia na proposição deste sistema de classificação, utilizando-se notas e pesos para os critérios (fatores) analisados em cada processo erosivo cadastrado.

Para a composição deste sistema de classificação foi elaborada uma matriz de análise dos critérios (fatores) de interferência na criticidade dos processos, quanto à necessidade de atuação da concessionária responsável pelo(s) reservatório(s). Esta matriz é composta de diferentes níveis de análise, cada qual com um grau de detalhamento diferente. Os pesos atribuídos a cada fator vão se decompondo conforme os níveis de análise vão aumentando. Por fim, no último nível são atribuídas notas para os parâmetros analisados em cada processo cadastrado e aplicada a combinação ponderada linear, que indicará um ranking dos processos. Posteriormente se faz uma classificação destes entre críticos, especiais e comuns.

É importante ressaltar que embora a proposta tenha se utilizado das análises realizadas para os reservatórios em estudo nesta pesquisa, a construção da matriz objetiva permite seu uso em qualquer reservatório de hidrelétrica. Obviamente, para uso em outras ocasiões, poderão, e em alguns casos deverão, ser realizadas adequações.

Adiante se apresenta a descrição dos fatores de composição do sistema de classificação e os pesos adotados para cada fator, nos diferentes níveis hierárquicos de análise. Também se apresenta o resultado de uma aplicação preliminar deste sistema de classificação, considerando-se os processos erosivos cadastrados nos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana.

7.2.2. Fatores de composição do sistema e distribuição de pesos

A primeira etapa de composição do sistema e para a distribuição dos pesos foi identificar as dimensões (grandes grupos) de fatores que interferem na análise da criticidade dos processos. Neste caso, verificou-se que há uma primeira dimensão da análise que se refere somente às questões do processo erosivo especificamente, independentemente das limitações impostas por sua localização, que chamamos de “características do processo”. Nesta dimensão de análise estão considerados não só as dimensões (no sentido de medida) das erosões marginais, mas também aspectos relativos à maior susceptibilidade ao seu avanço remontante, de acordo com os aspectos discutidos ao longo do Capítulo 6 desta pesquisa.

Posteriormente, verificou-se a existência de outra dimensão de análise que se refere às dificuldades de gestão dos processos (intitulada “dificuldades de gestão”). Esta dimensão está relacionada às condições de localização do processo (se o mesmo está em área da concessionária

ou de terceiros e ainda se ele se localiza em uma área sensível ou não), aos desdobramentos que esta erosão causa no relacionamento entre a concessionária e os proprietários lindeiros e, ainda, em relação às dificuldades de implantação de uma medida de controle do processo e/ou de recuperação de sua área degradada.

Por fim, identificou-se uma terceira e última dimensão da análise, que se refere não mais ao âmbito local de ocorrência do processo, mas aos riscos externos que os processos erosivos podem ocasionar à concessionária do reservatório. Esta dimensão foi chamada de riscos empresariais. BARALDI (2005, apud OLIVEIRA, MARINS & ROCHA, 2006, p. 3) aponta que “os riscos empresariais são todos os eventos que impedem a empresa e as pessoas de ganharem dinheiro e respeito. São elementos incertos e as expectativas que agem constantemente sobre os meios estratégicos e o ambiente e que provocam os desastres financeiros”. Trata-se de uma primeira conceituação para aplicação neste sistema de classificação, posto que apresenta um conceito caro a esta pesquisa que o de pensar não somente no risco financeiro de um dano, mas no risco da relação das concessionárias com a sociedade (respeito). Inúmeros estudiosos da gestão de riscos têm apresentado suas classificações e há, inclusive, uma norma internacional, a norma ISO 31000 sobre esta questão, com uma classificação pormenorizada em relação à adotada nesta pesquisa. Desta forma, abre-se uma nova possibilidade de aprimoramento futuro para esta proposta, de difícil concretização neste momento, dado o nível das informações disponíveis e o próprio nível de desenvolvimento da proposta de classificação.

Adiante, apresenta-se o Quadro 7.2.2-1, onde são apresentadas as dimensões de interferência na criticidade, a descrição resumida de cada dimensão e a atribuição de pesos para cada uma delas.

Quadro 7.2.2-1 – Quadro de apresentação dos fatores de interferência considerados na análise de criticidade dos processos

Dimensões de Interferência na Criticidade	Pesos	Descrição
Riscos empresariais	35%	Riscos que o(s) processo(s) erosivo(s) oferece(m) para a atividade empresarial da concessionária responsável pelo reservatório.
Dificuldades de gestão	40%	Dificuldades de gestão do(s) processo(s) erosivo(s), pela concessionária do reservatório, decorrentes dos tratamentos internamente na empresa e na relação com os proprietários afetados por este impacto.
Características do processo	25%	Análise das características intrínsecas do processo que indiquem a magnitude do dano atual e a possibilidade de dano futuro, pela evolução do processo.

Ressalta-se que, dada a sua finalidade de suporte à gestão dos processos, e sendo a atribuição de peso uma atividade arbitrária, optou-se por dar maior ênfase aos aspectos de gestão e aos riscos empresariais decorrentes do processo, em detrimento das características do processo erosivo. Esta opção deve-se ao número de variáveis considerada em cada dimensão e também a própria finalidade do sistema. Como o sistema de classificação da criticidade apresenta maior número de variáveis nas dimensões “risco empresarial” e “dificuldades de gestão”, o aumento do peso da dimensão “características do processo” iria representar um desbalanceamento na composição do sistema como um todo.

Isto ocorre porque o processo em si não é o maior problema de gestão – tanto que a maior parte dos processos erosivos nos reservatórios em estudo já existe a mais de 15 anos e não se exigiu nenhuma medida até então –, mas sim os danos que eles podem ocasionar à sociedade e aos agentes econômicos envolvidos – somente quando o processo erosivo transforma-se em problema é que se exige uma solução para ele e neste contexto um processo maior ou com evolução mais rápida pode ser um problema menor se comparado a outro de menores dimensões, porém localizado em um sítio arqueológico ou que coloque em risco iminente uma benfeitoria ou estrada rural, por exemplo.

Adiante, o Quadro 7.2.2-2 demonstra para cada dimensão de análise da interferência no grau de criticidade, os subgrupos que compõem as dimensões. O quadro explica ainda quais as características que compõem cada subgrupo e os pesos dentro do sistema de pontuação para classificação. São apresentados duas atribuições de peso, o Peso 1 refere-se à distribuição do subgrupo dentro da sua dimensão de análise, enquanto o Peso 2 refere-se à distribuição destes subgrupo dentro de todo o sistema de classificação, incluindo as demais dimensões.

Quadro 7.2.2-2 – Quadro de apresentação dos subgrupos de fatores de interferência considerados na análise de criticidade dos processos

Dimensões de Interferência na Criticidade	Subgrupos das Dimensões de Interferência	Peso 1	Peso 2	Descrição
Riscos empresariais	Riscos financeiros	35%	12,25%	Riscos decorrentes de multas, indenizações e obras, relativos a cada projeto.
	Riscos institucionais	25%	8,75%	Riscos relacionados à imagem da empresa, relativos a cada projeto.
	Riscos jurídicos	10%	3,50%	Risco de um desdobramento jurídico (criminal ou regulatório), relativos a cada processo.
	Riscos ambientais	30%	10,50%	Riscos no que tange ao licenciamento do empreendimento e ao desdobramento em novo impacto ambiental, relativos a cada projeto.

Quadro 7.2.2-2 – Quadro de apresentação dos subgrupos de fatores de interferência considerados na análise de criticidade dos processos (continuação)

Dimensões de Interferência na Criticidade	Subgrupos das Dimensões de Interferência	Peso 1	Peso 2	Descrição
Dificuldades de gestão	Monitoramento do processo	25%	10,00%	Indica o nível de monitoramento do processo erosivo e se o mesmo encontra-se em propriedade da concessionária ou de terceiros.
	Existência de demanda por ação de controle/recuperação	15%	6,00%	Mensura o nível de demanda de terceiros contra a concessionária, para a realização de ações de controle/recuperação da área degradada pelos processos.
	Existência de litígio	20%	8,00%	Mensura o nível de litígio entre as partes envolvidas, que dificultem as ações por parte da concessionária.
	Dificuldades no controle do processo/recuperação da área degradada	25%	10,00%	Analisa as dificuldades de implantação das ações de controle dos processos e recuperação da área degradada, com base no rol de ações, já identificadas pela concessionária.
	Ocorrência em área sensível	15%	6,00%	Identifica a ocorrência do processo em área sensível (unidades de conservação, assentamentos rurais, etc...) que exija a adoção de medidas institucionais ou ações de controle/recuperação específicas.
Características do processo	Taxa de evolução	40%	10,00%	Valoração da velocidade de evolução de cada processo.
	Volume de material	30%	7,50%	Valoração da estimativa do volume de material remobilizado durante o desenvolvimento de cada processo.
	Dimensões do talude	10%	2,50%	Valoração das dimensões do talude (altura X extensão) de cada processo, com base nos dados do cadastramento censitário realizado pela concessionária.
	Susceptibilidade a fatores instabilizadores	20%	5,00%	Análise da inclusão de cada processo nos aspectos ambientais identificados como fatores mais susceptíveis à instabilização.

Após a divisão das dimensões de interferência em subgrupos, partiu-se para a conclusão da matriz para atribuição de valores aos processos erosivos, quanto aos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência na classificação da criticidade dos processos. Esta matriz, além das dimensões e subgrupos das dimensões, com seus respectivos pesos, também apresenta os parâmetros de ponderação. Estes parâmetros são os elementos que serão considerados para avaliar a criticidade dos processos, em seu último nível de análise, os pesos a serem atribuídos e as notas possíveis de atribuição aos processos, para cada elemento de análise.

Adiante se apresenta o Quadro 7.2.2-3, que contem a Matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade.

Quadro 7.2.2-3 – Matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade

DIMENSÕES DE INTERFERÊNCIA À CRITICIDADE			SUBGRUPOS DAS DIMENSÕES DE INTERFERÊNCIA					PARAMETROS DE PONDERAÇÃO DOS FATORES DE INTERFERÊNCIA À CRITICIDADE DOS PROCESSOS							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Riscos empresariais	35%	0,35	Riscos financeiros	35%	0,35	0,12	12,25%	Existe risco de multa ou custos para execução de TAC, por decorrência de ação judicial?	40%	0,40	0,049	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 4 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto			
								Existe risco financeiro por necessidade de aquisição de terras?	25%	0,25	0,031	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 4 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto			
								Existe risco financeiro em decorrência de indenização de benfeitorias?	10%	0,10	0,012	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 3 - Risco à longo prazo (Baixo) 4 - Risco à médio prazo (Moderado) 5 - Risco à curto prazo (Alto)			
								Existe risco financeiro decorrente da necessssidade de implantação de obras de controle do processo e/ou de recuperação da área degradada?	25%	0,25	0,031	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 4 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto			
								O processo denudacional ocorre em área sensível, que pode dar visibilidade negativa à empresa?	60%	0,60	0,053	0 - Não ocorre em área sensível 1 - Ocorre em área sensível, porém com baixa visibilidade 5 - Ocorre em área sensível e com alta visibilidade			
			Riscos institucionais	25%	0,25	0,09	8,75%	Existe mobilização popular ou midiática em relação ao processo denudacional?	40%	0,40	0,035	0 - Não ocorre / mobilização desconhecida 2 - Possibilidade de mobilização individual 4 - Possibilidade de mobilização de grupo específico 5 - Possibilidade de mobilização de mais de um grupo social			
								Riscos jurídicos	10%	0,10	0,04	3,50%	Existe risco do processo denudacional ser objeto de um processo judicial ou uma ação civil pública?	100%	1,00
			Riscos ambientais	30%	0,30	0,11	10,50%	Existe risco de interferência no processo de licenciamento ambiental do empreendimento?	60%	0,60	0,063	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 4 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto			
								Existe risco do processo denudacional, ou de suas consequências, ocasionar outro dano ambiental?	40%	0,40	0,042	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 4 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto			
			Dificuldades de gestão	40%	0,40	Monitoramento do processo	25%	0,25	0,10	10,00%	O processo denudacional é objeto de monitoramento?	10%	0,10	0,010	0 - Não 5 - Sim
											O processo já afetetou áreas de terceiros?	90%	0,90	0,090	1 - Não identificado 2 - Não, encontra-se em área da Duke Energy 4 - Sim, já afeta áreas de terceiros
Existência de demanda por ação da empresa	15%	0,15									0,06	6,00%	Existe demanda de terceiros para a a realização de ações de controle do processo denudacional e/ou recuperação da área degradada?	100%	1,00
Existência de litígio decorrente do processo	20%	0,20				0,08	8,00%	Existe litígio entre a concessionária e o proprietário lindeira, que modifique a condução das ações de controle e/ou recuperação?	100%	1,00	0,080	0 - Não 3 - Sim, porém não impede a realização das atividades técnicas 5 - Sim, interferindo na realização das atividades técnicas			
								Dificuldades no controle do processo / recuperação da área degradada	25%	0,25	0,10	10,00%	Há exigência de adoção de medida de controle específica?	65%	0,65
0 - Não há restrição 1 - Restrição não analisada															

Quadro 7.2.2-3 – Matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade											
Características do processo	25%	0,25				Há restrições impeditivas, de ordem técnica e/ou financeira, quanto à adoção de alguma	35%	0,35	0,035	3 - Há restrições moderadas/severas para poucas alternativas de controle 4 - Há restrições moderadas para muitas alternativas de controle 5 - Há restrições severas para muitas alternativas de controle	
			Ocorrência em área sensível			O processo denudacional está localizado em alguma área sensível para atuação do concessionário de geração?	100%	1,00	0,060	0 - Não 3 - Sim, porém não requer nenhuma medida técnica específica 5 - Sim, requerendo a adoção de medidas técnicas específicas	
			Taxa de evolução			Qual a taxa média de evolução do processo?	100%	1,00	0,100	Classe I Classe II Classe III Classe IV Classe V	
			Volume de material			Qual o volume estimado de material retirado, por ano?	100%	1,00	0,075	Classe I Classe II Classe III Classe IV Classe V	
			Dimensões do talude			Classificação das dimensões bidimensionais do talude originado pelo processo	100%	1,00	0,025	Classe I Classe II Classe III Classe IV Classe V	
			Susceptibilidade à fatores instabilizadores			Classificação de enquadramento nas condições ambientais instabilizadoras (fatores de desenvolvimento) dos processos	100%	1,00	0,050	Classe I Classe II Classe III Classe IV Classe V	

Como pode ser observado no Quadro 7.2.2-3, a matriz para atribuição de pesos e valores aos processos erosivos no sistema de classificação do nível de criticidade apresenta até o nível de atribuição de pesos e valores, porém, não apresenta os critérios para se atribuir um valor a cada processo. Assim, optou-se por se elaborar outro quadro (Quadro 7.2.2-4), que contém, sempre que possível e necessário, os critérios para enquadramento de cada processo erosivo em cada valor atribuído aos parâmetros analisados.

Além dos critérios de valoração, este quadro também apresenta, para cada parâmetro analisado, uma classificação se o parâmetro possui uma valoração objetiva ou subjetiva e a definição de alguns conceitos utilizados na definição dos parâmetros ou na sua valoração.

Quando a valoração for classificada como objetiva, poderá ser verificada no quadro a definição de como enquadrar cada processo erosivo. Neste caso, a título de exemplificação, um parâmetro no qual os processos erosivos possam ser valorados (classificados) em “1 - Não há risco”, “2 - Risco não analisado”, “3 - Risco a longo prazo (Baixo)”, “4 - Risco a médio prazo (Moderado)” ou “5 - Risco a curto prazo (Alto)”, constará uma explicação do que é um risco de longo prazo, ou de médio e curto prazo. Ainda neste exemplo, o quadro apresentará conceitos envolvidos na definição do parâmetro (elementos que contribuam para a definição do que é e qual a sua finalidade daquele parâmetro) e/ou para sua valoração (por exemplo, porque um risco não analisado é maior do que o risco inexistente); ou, até mesmo, é possível verificar a forma de obtenção das informações necessárias para valoração do processo.

Embora fragmentada, a apresentação destes conceitos do sistema de classificação do nível de criticidade dos processos é de grande importância para demonstrar como foi o seu processo de criação. As matrizes de análise da criticidade e seus sistemas de classificação podem apresentar formas de organização diferenciadas, as quais representam a intencionalidade de seus criadores e usuários e, sempre que possível, devem ser estruturadas de forma que permitam adequações conforme haja necessidade delas, sejam estas por conta de mudanças no objeto em análise, no material coletado e trabalhado e na sua funcionalidade.

Quadro 7.2.2-4 – Quadro de apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos

PARAMETROS DE PONDERAÇÃO DOS FATORES DE INTERFERÊNCIA À CRITICIDADE DOS PROCESSOS					
Fator de Interferência na Criticidade: Riscos Empresariais					
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Riscos Financeiros					
Existe risco de multa ou custos para execução de TAC, por decorrência de ação judicial?	40%	4,90%	<p>1 - Não há risco</p> <p>2 - Risco não analisado</p> <p>4 - Risco Baixo / Moderado</p> <p>5 - Risco Alto</p>	<p>Somente para casos avaliados como estáveis e localizados em propriedade da concessionária.</p> <p>Quando já houve uma demanda / consulta por parte do proprietário, sobre a atuação da concessionária.</p> <p>Quando o proprietário afetado ou órgão do Ministério Público já manifestou interesse ou já promoveu uma ação judicial / ação civil pública.</p>	<p>- Critério objetivo.</p> <p>- Dados obtidos por meio da gestão dos processos realizada pela concessionária do reservatório.</p> <p>- Neste parâmetro analisa-se o grau de risco do processo converter-se em uma multa, ou outras despesas indiretas, a partir do status atual de relacionamento entre as partes envolvidas.</p> <p>- Entende-se que um risco não analisado é mais crítico do que em caso de inexistência do risco, devido o seu potencial de risco.</p>
Existe risco financeiro por necessidade de aquisição de terras?	25%	3,06%	<p>1 - Não há risco</p> <p>2 - Risco não analisado</p> <p>4 - Risco Baixo / Moderado</p> <p>5 - Risco Alto</p>	<p>Somente para casos avaliados como estáveis e localizados em propriedade da concessionária.</p> <p>Quando já houve uma demanda / consulta por parte do proprietário, sobre a atuação da concessionária.</p> <p>Quando o proprietário afetado já manifestou interesse ou promoveu uma ação judicial.</p>	<p>- Critério objetivo.</p> <p>- Dados obtidos por meio da gestão dos processos realizada pela concessionária do reservatório.</p> <p>- Entende-se que um risco não analisado é mais crítico do que em caso de inexistência do risco, devido o seu potencial de risco.</p>
Existe risco financeiro em decorrência de indenização de benfeitorias?	10%	1,23%	<p>1 - Não há risco</p> <p>2 - Risco não analisado</p> <p>3 - Risco à longo prazo (Baixo)</p> <p>4 - Risco à médio prazo (Moderado)</p> <p>5 - Risco à curto prazo (Alto)</p>		<p>- Critério subjetivo.</p> <p>- Atribuição do resultado deverá ser estabelecida a partir de levantamento(s) realizado no reservatório, pela concessionária.</p> <p>- O risco deverá considerar como benfeitorias as áreas agrícolas, áreas de reflorestamento, habitações, construções rurais e estradas/pontes.</p>
Existe risco financeiro decorrente da necessidade de implantação de obras de controle do processo e/ou de recuperação da área degradada?	25%	3,06%	<p>1 - Não há risco</p> <p>2 - Risco não analisado</p> <p>4 - Risco Baixo / Moderado</p> <p>5 - Risco Alto</p>	<p>Somente para casos avaliados como estáveis e localizados em propriedade da concessionária.</p> <p>Quando já houve uma demanda / consulta por parte do proprietário, sobre a atuação da concessionária.</p> <p>Quando o proprietário afetado já manifestou interesse ou promoveu uma ação judicial solicitando a obra de controle.</p>	<p>- Critério objetivo / subjetivo.</p> <p>- Dados obtidos por meio da gestão dos processos realizada pela concessionária do reservatório (objetivo).</p> <p>- O gestor da concessionária poderá classificar (subjetivamente) um processo na classe 1 - Não há risco, caso o mesmo encontre nas classes 1 - Classe I e 2 – Classe II, dos subgrupos do fatores de interferência na criticidade taxa de evolução e dimensões do processo.</p> <p>- Entende-se que um risco não analisado é mais crítico do que em caso de inexistência do risco, devido o seu potencial de risco.</p>

Quadro 7.2.2-4 – Quadro de apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos (continuação)

Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Riscos Institucionais					
O processo denudacional ocorre em área sensível, que pode dar visibilidade negativa à empresa?	60%	5,25%	0 - Não ocorre em área sensível 1 - Ocorre em área sensível, porém com baixa visibilidade 5 - Ocorre em área sensível e com alta visibilidade		- Critério subjetivo. - A identificação da localização em do processo em área sensível pode ser realizada com base em mapeamentos e/ou observações da gestão dos processos. - Atribuição do resultado deverá ser estabelecida a partir de levantamento(s) realizado no reservatório, pela concessionária. - Entende-se por áreas sensíveis unidades de conservação, sítios arqueológicos, assentamentos rurais, faixas de servidão de obras públicas e áreas de lazer coletivas (praias municipais, campings e áreas de lazer de condomínios).
Existe mobilização popular ou midiática em relação ao processo denudacional?	40%	3,50%	0 - Não ocorre / mobilização desconhecida 2 - Possibilidade de mobilização individual 4 - Possibilidade de mobilização de grupo específico 5 - Possibilidade de mobilização de mais de um grupo social		- Critério subjetivo. - Atribuição do resultado deverá ser estabelecida a partir de levantamento(s) realizado no reservatório, pela concessionária. - Entende-se por mobilização individual a realizada por um único proprietário rural. - Entende-se por mobilização de grupo social a realizada por um grupo de mais de 03 proprietários, por movimento de trabalhadores sem-terra, por movimento de atingidos por barragens, por gestores de unidades de conservação e por associações em geral.
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Riscos Jurídicos					
Existe risco da erosão se tornar objeto de um processo judicial ou uma ação civil pública?	100%	3,50%	1 - Não há risco 2 - Risco não analisado 4 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto	Quando já houve uma demanda / consulta por parte do proprietário, sobre a atuação da concessionária. Quando o proprietário afetado já manifestou interesse ou promoveu uma ação judicial.	- Critério subjetivo. - O gestor da concessionária poderá classificar (subjetivamente) um processo na classe 1 - Não há risco, casos avaliados como estáveis e localizados em propriedade da concessionária. - Entende-se que um risco não analisado é mais crítico do que em caso de inexistência do risco, devido o seu potencial de risco.
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Riscos Ambientais					
Existe risco de interferência no processo de licenciamento ambiental do empreendimento?	60%	6,30%	0 - Não há risco 3 - Risco Baixo / Moderado 5 - Risco Alto	Quando a Licença Ambiental de Operação - LO não exige ação em relação a estes processos, ou quando solicita-se somente o monitoramento dos mesmos. Quando se trata da primeira LO, que exige ação controle de processo(s) e/ou a recuperação das áreas degradadas por estes processos ou o empreendimento já desenvolve este tipo de ação. Quando se trata de LO renovada, com a exigência de ação em relação a estes processos e não se desenvolveu nenhuma ação de controle ou corretiva.	- Critério objetivo. - Como a concessionária opera com uma LO, os gestor dos processos deve consultar o documento e classificar os processos de acordo com os critérios estabelecidos para cada classe.

Quadro 7.2.2-4 – Quadro de apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos (continuação)

Existe risco do processo denudacional, ou de suas consequências, ocasionar outro dano ambiental?	40%	4,20%	2 - Risco Baixo 3 - Risco não analisado 4 - Risco Moderado 5 - Risco Alto	Quando não se verifica sinais de desencadeamento dos possíveis danos ambientais decorrentes destes processos. Quando se verifica sinais de desencadeamento dos possíveis danos ambientais decorrentes destes processos. Quando se verifica ocorrência consumada dos danos ambientais decorrentes destes processos.	- Critério subjetivo. - A classificação neste parâmetro depende da análise do gestor do processo, para o qual aconselha-se a consulta de (outros) membros da equipe de Meio Ambiente da concessionária, para a tomada de decisão, dada a complexidade da questão. - Entende-se como dano ambiental decorrente dos processos geomorfológicos em análise o assoreamento de pontos do reservatório, as mudanças na qualidade da água decorrentes da maior presença de sedimentos e desencadeamento da ocorrência de macrófitas aquáticas nas proximidades do processo. - Nesta análise não são considerados os danos de ordem sócio-econômica por estes já estarem sendo considerados em outros aspectos deste sistema de classificação. - Para este caso não se trabalha com a possibilidade de não existência do risco, dada a dificuldade de se identificar esta condição no ambiente.
Fator de Interferência na Criticidade: Dificuldades de Gestão					
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Monitoramento do processo					
O processo denudacional é objeto de monitoramento?	10%	1,40%	0 – Não 5 - Sim		- Critério objetivo - O dado é gerado pelo próprio gestor dos processos. - Entende-se como ações de monitoramento o cadastro do processo (contendo, no mínimo, suas dimensões); o registro do processo por meio de levantamento topográfico, fotografia aérea / imagem de satélite, imageamento laser por scanner e outras formas de registro cartográfico; e a análise da evolução do processo (por meio de registros de diferentes períodos).
O processo já afetou áreas de terceiros?	90%	12,40%	1 - Não identificado 2 - Não, encontra-se em área da Duke Energy 4 - Sim, já afeta áreas de terceiros		- Critério objetivo - O dado é gerado através da identificação da curva / limite de desapropriação das áreas da concessionária no registro do processo por meio de levantamento topográfico, fotografia aérea / imagem de satélite, imageamento laser por scanner e outras formas de registro cartográfico..
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Existência de demanda por ação da empresa					
Existe demanda de terceiros para a realização de ações de controle do processo denudacional e/ou recuperação da área degradada?	100%	12,50%	0 - Não 3 - Sim, porém de maneira informal 5 - Sim, registrada por meio de canais oficiais da empresa		- Critério objetivo - O dado é gerado pelo próprio gestor dos processos.
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Existência de litígio decorrente do processo					
Existe litígio entre a concessionária e o proprietário lindeira, que modifique a condução das ações de controle e/ou recuperação?	100%	12,50%	0 - Não 3 - Sim, porém não impede a realização das atividades técnicas 5 - Sim, interferindo na realização das atividades técnicas		- Critério objetivo - O dado é gerado pelo próprio gestor dos processos. - Por atividades técnicas entende-se as ações de monitoramento e/ou controle do processo ou recuperação da área degradada.

Quadro 7.2.2-4 – Quadro de apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos (continuação)

Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Dificuldades no controle do processo / recuperação da área degradada					
Há exigência de adoção de medida de controle específica?	65%	9,75%	0 - Não 2 - Sim, por parte do demandante 3 - Sim, por exigência legal 5 - Sim, por restrições de ordem técnica		- Critério objetivo / subjetivo. - Quando há exigência do demandante ou exigência legal o critério é objetivo e a informação pode ser extraída do sistema de gestão dos processos. - Quando as restrições são de ordem técnica trata-se de um critério subjetivo, pois a análise das restrições atende um critério subjetivo, como pode ser verificado no item abaixo.
Há restrições impeditivas, de ordem técnica e/ou financeira, quanto à adoção de alguma medida de controle?	35%	5,25%	0 - Não há restrição 1 - Restrição não analisada 3 - Há restrições moderadas para poucas alternativas de controle 4 - Há restrições moderadas para muitas alternativas de controle 5 - Há restrições severas para muitas alternativas de controle	Quando as restrições não inviabilizam a adoção das duas técnicas mais baratas e/ou das duas técnicas mais indicadas para o processo. Quando as restrições não inviabilizam a adoção das quatro técnicas mais baratas e/ou das quatro técnicas mais indicadas para o processo. Quando as restrições inviabilizam a adoção das três técnicas mais baratas e/ou das três técnicas mais indicadas para o processo.	- Critério subjetivo. - As restrições consideradas nesta análise englobam restrições de disponibilidade de materiais para execução das obras, custos de implantação e manutenção das mesmas,
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Ocorrência em área sensível					
O processo denudacional está localizado em alguma área sensível para atuação do concessionário de geração?	100%	7,50%	0 – Não 3 - Sim, porém não requer nenhuma medida técnica específica. 5 - Sim, requerendo a adoção de medidas técnicas específicas.		- Critério objetivo / subjetivo. - Medida extraída de dados cartográficos (objetiva). - A necessidade de adoção de medida de controle / recuperação específica de acordo com as restrições de localização é uma decisão (subjetiva) do gestor do processo. - Entende-se por áreas sensíveis unidades de conservação, sítios arqueológicos, assentamentos rurais, faixas de servidão de obras públicas e áreas de lazer coletivas (praias municipais, campings e áreas de lazer de condomínios).
Fator de Interferência na Criticidade: Características do processo					
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Taxa de evolução					
Qual a taxa média de evolução do processo?	100%	6,00%	1 - Classe I 2 - Classe II 3 - Classe III 4 - Classe IV 5 - Classe V	0-0,5 m / ano (regressão da crista) 0,51-1,50 m / ano (regressão da crista) 1,51-3,00 m / ano (regressão da crista) 3,01-4,50 m / ano (regressão da crista) >4,51 m / ano (regressão da crista)	- Critério objetivo. - Classes estabelecidas a partir dos valores auferidos no levantamento censitário realizado nos reservatórios das UHEs Cahtantes e Rosana. A medida se refere altura X extensão do processo.
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Volume de material					
Qual o volume estimado de material retirado, por ano?	100%	4,50%	1 - Classe I 2 - Classe II 3 - Classe III 4 - Classe IV 5 - Classe V	0-100 m ³ 101-1.000 m ³ 1.001-10.000 m ³ 10.001-100.000 m ³ > 100.001 m ³	- Critério objetivo. - Classes estabelecidas a partir dos valores auferidos no levantamento censitário realizado nos reservatórios das UHEs Cahtantes e Rosana. A medida se refere altura X extensão do processo.

Quadro 7.2.2-4 – Quadro de apresentação dos parâmetros de ponderação dos fatores de interferência adotados na análise de criticidade dos processos (continuação)

Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Dimensões do talude					
Classificação das dimensões bidimensionais do talude originado pelo processo	100%	1,50%	1 - Classe I 2 - Classe II 3 - Classe III 4 - Classe IV 5 - Classe V	0-10 m ² 11-100 m ² 101-550 m ² 551-1000 m ² > 1001 m ²	- Critério objetivo. - Classes estabelecidas a partir dos valores auferidos no levantamento censitário realizado nos reservatórios das UHEs Cahtantes e Rosana. A medida se refere altura X extensão do processo.
Subgrupo do Fator de Interferência na Criticidade: Susceptibilidade à fatores instabilizadores					
Classificação de enquadramento nas condições ambientais instabilizadoras (fatores de desenvolvimento) dos processos	100%	3,00%	0 - Classe I 2 - Classe II 3 - Classe III 4 - Classe IV 5 - Classe V	Nenhuma enquadramento Enquadramento em um parâmetro crítico Enquadramento em dois ou três parâmetros críticos Enquadramento em quatro ou cinco parâmetros críticos Enquadramento em mais de cinco parâmetros críticos	- Critério subjetivo - Refere-se ao enquadramento do processo em relação aos parâmetros que indicam maior predisposição da erosão à altas taxas de evolução da feição erosiva. - Esta análise deverá considerar para os parâmetros analisados, como os processos se inserem entre as classes de maior predisposição à instabilização (por exemplo, o processo está sujeito à ondas mais altas previstas para o reservatório? ele encontra-se em região com solos mais susceptíveis ao desenvolvimento rápido dos processos?)

Conforme pôde ser observado, optamos uma análise de níveis de criticidade estruturada de forma matricial. Durante a composição deste modelo, também se estudou a possibilidade de adoção de uma análise hierarquizada. Ambos os modelos possuem vantagens e desvantagens em relação ao outro, apesar de entendermos que, em virtude do sistema de pesos estabelecido, os resultados, independentemente do método de análise, se mostrarão bastante próximos. De qualquer modo, o sistema matricial apresenta para nós, neste momento, uma vantagem significativa ao sistema hierárquico no que se refere à facilidade de manuseio dos dados.

A matriz tal como está estruturada (Quadro 7.2.2-3) possibilita uma inclusão mais rápida dos dados e maior facilidade no processamento dos mesmos. Propõe-se que a mesma seja transposta a uma planilha de dados. Nesta planilha, devem ser integrados o banco de dados sobre os processos a serem analisados e as células para inclusão das notas e das notas ponderadas para cada parâmetro de análise. Desta forma, é possível automatizar a produção dos resultados e o tratamento dos mesmos para a classificação quanto aos níveis de criticidade.

Inicialmente havíamos nos proposto a realizar uma simulação do sistema de classificação de criticidade com dados das UHEs Chavantes e Rosana. No entanto, a ideia foi interrompida ao longo da pesquisa por dois motivos principais: i) o banco de dados das erosões nestes empreendimentos não apresentava dados no nível de detalhe necessário para a completa avaliação do sistema e ii) não poderíamos utilizar parte dos dados disponíveis, por se caracterizarem como informações restritas à gestão pela concessionária dos reservatórios.

Diante da situação descrita, optou-se por realizar apontamentos sobre a perspectiva de uso deste sistema pelas concessionárias de reservatórios hidrelétricos.

7.2.3. Perspectivas sobre a aplicação do sistema de classificação dos níveis de criticidade

Espera-se, como dito anteriormente, um aumento dos estudos sobre esta questão, uma vez que as erosões marginais estão se tornando mais discutidas na gestão ambiental dos empreendimentos hidrelétricos. Logo, também acreditamos que novas discussões e aprofundamentos sobre os temas envolvidos também sejam produzidos. Portanto, há uma tendência de que sistemas para classificação do nível de criticidade das erosões e de prioridades de atenção sejam utilizados no futuro.

No curto prazo, este sistema aqui proposto será incorporado ao Projeto de P&D n° PD-0387-0311/2010, ao qual esta pesquisa está vinculada. Desta forma, a proposta será submetida, por diferentes meios de divulgação (tais como eventos do setor e publicações específicas), à apreciação dos agentes do setor elétrico, o que poderá despertar interesses quanto à sua aplicação.

Paralelamente, esta proposta será submetida à alta gerência da Duke Energy, para discussão dos parâmetros e pesos adotados, visando sua aplicação nos casos existentes em reservatórios sob gestão desta empresa. Contudo, até a conclusão de sua aplicação haverá um grande trabalho de prospecção e refinamento dos dados e informações disponíveis sobre os processos a serem analisados.

Por fim, a partir deste caso da Duke Energy, somando-se ao conhecimento sobre a situação de outras empresas do setor e à análise crítica do sistema proposto, fazemos algumas observações sobre a aplicabilidade do sistema de classificação, a partir dos itens listados abaixo:

- A proposta apresentada tem como referência uma situação ideal quanto à disponibilidade de dados e informações sobre as erosões marginais de um reservatório hidrelétrico.
- O nível de adequações necessárias para aplicação da proposta é resultado do nível de informações disponíveis em cada banco de dados.
- A implantação de um sistema como este apresenta um custo alto, em virtude da necessidade de produção de dados e informações com intensivas atividades de campo (numero de horas/homens elevado).
- A observação crítica da proposta aponta que processos em estudo pelas concessionárias (com ações em decorrência de solicitações de terceiros ou por identificação de riscos para a atividade empresarial da concessionária) se sobrepõem aos demais na classificação, pela quantidade de parâmetros relacionados a estes casos.
- Diante da situação anterior, em geral, o resultado apresentará, ainda que não seja o seu objetivo, uma classificação para os processos em estudo e outra para os não estudados.
- Alguns parâmetros analisados se referem a dados de difícil obtenção sem a realização de levantamentos de campo, como, por exemplo, os dados para analisar se a erosão já atingiu áreas de terceiros ou se permanece em propriedade da concessionária. Para este caso específico, sugere-se o uso de informações sobre

análises de respeitabilidade de limites, gerados nas atividades para atendimento da legislação referente ao georreferenciamento de imóveis rurais. Tal uso, no entanto, exigirá a integração de informações de diferentes áreas das empresas e até de proprietários lindeiros.

- Parâmetros sobre a relação das erosões marginais e outros impactos ambientais nos reservatórios também são de difícil identificação e exigem a integração de análises de diferentes profissionais. Portanto, sugere-se cuidado nesta avaliação.

Capítulo 8

Considerações finais

8. Considerações finais

8.1. O referencial teórico-metodológico para estudo de processos erosivos em margens de reservatórios

Desde o início dessa pesquisa colocamos como seu objetivo principal a geração de conhecimento acerca deste tipo de processo erosivo (em margens de reservatórios hidrelétricos), diante da magnitude e da importância destes impactos para os empreendimentos hidrelétricos e suas comunidades lindeiras e, conseqüentemente, para toda a sociedade. Para tanto, tínhamos como hipótese inicial a necessidade de revisão do modelo teórico-metodológico adotado até então nas pesquisas sobre processos erosivos, principalmente no Brasil. Neste sentido, promovemos a discussão e acrescentamos dados e informações que contribuem para a formação de novos conceitos acerca i) da natureza dos processos (materiais, velocidade e interação entre processos); ii) da variação da velocidade dos processos erosivos nos reservatórios ao longo do tempo; e iii) da classificação dos processos e feições erosivas existentes em margens de reservatórios. Abaixo seguem nossas considerações finais sobre estas questões:

i) *Natureza dos processos*

Há nos meios técnico e legal grandes discussões sobre a natureza destes processos, com defensores da tese de que se trata de um processo natural; com outros que defendem que sejam processos naturais, porém acelerados pela ação antrópica; e, mais recentemente, com um grupo que entende se tratar de um novo processo, de natureza antrópica e, portanto, tecnogênico. Quanto ao primeiro grupo, por óbvio, não faremos nenhuma consideração, uma vez que se os próprios reservatórios não são naturais, os processos também não o serão. O segundo grupo entende que tais processos são semelhantes aos já ocorrentes em margens fluviais, havendo, com a aceleração causada pelos novos elementos e dinâmicas introduzidos no ambiente, uma mudança de velocidade dos mesmos.

COLÂNGELO (1990, p. 24) expõe que:

[...] o conjunto de processos, desencadeados a partir das intervenções do homem sobre o meio físico, podem ser qualitativamente equivalentes àqueles ligados à dinâmica natural dos sistemas de vertente, uma vez que estão submetidos às mesmas leis naturais. Entretanto, aos processos ligados às ações humanas associa-se uma intensidade mais acentuada, razão pela qual os seus diversos tipos compõem o que se convencionou chamar de “erosão acelerada”.

Esta pesquisa encontra-se no campo daquelas que abordam estes processos e feições erosivas como um novo elemento inserido no ambiente. Neste sentido, a contribuição que apresentamos para tal discussão encontra-se na exposição de que os materiais envolvidos nos processos erosivos em margens de reservatórios são distintos daqueles envolvidos em processos erosivos de margens fluviais, e mesmo lacustres. Como se observa nesta pesquisa, o cadastro de processos erosivos nas margens dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana encontra-se majoritariamente sobre solos característicos das porções mais elevadas nas vertentes naturais, tais como os latossolos, os cambissolos e os argissolos. Outra informação importante apresentada na pesquisa refere-se aos processos erosivos no reservatório da UHE Rosana, no qual os Neossolos Flúvicos – solos formados pela ação fluvial, comuns em margens de rios – encontram-se em cerca de 11% das margens dos reservatórios, mas apenas 0,43% da extensão dos processos erosivos cadastrados encontram-se neste tipo de solo. Ou seja, os solos mais preparados para a ação da água apresentam menores taxas de erosão nas margens do reservatório da UHE Rosana.

Quanto às velocidades dos diversos processos alterados, a bibliografia apresentada mostra que os processos que originam ou condicionam o desenvolvimento dos processos erosivos em margens de reservatórios possuem velocidades diferentes daquelas de quando ocorrem em vertentes sem a presença de reservatórios. Do mesmo modo, existe uma diferença também na evolução das feições erosivas ocasionadas por tais processos em margens de reservatórios: no caso, aceleração em relação às feições erosivas presentes em leitos fluviais.

Por fim, outro fator importante a ser considerado é a interação entre processos, que nos reservatórios apresenta novas relações, diferentes daquelas presentes nos canais fluviais. Neste sentido, cita-se a ação das ondas e as variações do nível d'água desacompanhadas das variações do ambiente natural, visando ao atendimento de uma demanda antrópica.

Considerando-se estes três elementos (materiais envolvidos, velocidade dos processos condicionantes e da regressão das feições erosivas e a interação entre processos antes inexistentes), reafirmamos o entendimento de que se trata de uma nova dinâmica erosiva inserida no ambiente, ainda que as feições resultantes apresentem semelhanças com as feições erosivas verificadas em outras vertentes. E a caracterizamos como tecnogênica, posto que não só se traduz como uma ação provocada pelo homem, como também implica a ideia de que tais fenômenos são

diferenciados qualitativa e quantitativamente ao longo dos diferentes períodos técnicos da história humana.

ii) *Alteração da velocidade dos processos ao longo do tempo*

Como já foi dito anteriormente, a implantação de empreendimentos hidrelétricos resulta em velocidades de evolução das feições erosivas – neste caso, mais aceleradas – diferentes das feições erosivas presentes em leitos fluviais. Alguns autores como FERNANDEZ (1995) e AZEVEDO & DUARTE (2013), entre outros, consideram que os processos erosivos atingem seu ápice de velocidade imediatamente após o enchimento do reservatório, tendendo a diminuir de velocidade ao longo do tempo. AZEVEDO & DUARTE (2013), inclusive, apresentam um gráfico (Figura 5.2-3, p. 76, Capítulo 5) elaborado a partir do monitoramento de alguns processos erosivos no reservatório da UHE Sérgio Mota, que mostra a redução da velocidade de avanço dos processos. Trata-se de um modelo de evolução elaborado a partir de casos específicos e extrapolado para o reservatório como um todo. Podemos atribuir tal entendimento, ainda que de forma indireta, a um conceito da Teoria Geral dos Sistemas de os processos na natureza encontram-se permanentemente em busca de seu equilíbrio.

Nosso entendimento é diverso deste, uma vez que acredita que, considerando-se o reservatório como um todo, há realmente um pico de velocidade dos processos de regressão após o enchimento do reservatório, mas que os movimentos posteriores, ainda que busquem o ponto de equilíbrio, não necessariamente reduzem as velocidades de regressão das feições erosivas. Dada a grande quantidade de condicionantes envolvidas e situações de manifestação de tais condicionantes, a partir de nossas observações de campo, inferimos que tais processos continuam em um processo de equilíbrio dinâmico, onde se espera a variação das velocidades de regressão ao longo do tempo. Este entendimento está apresentado em um gráfico (ver Figura 5.2-4, p. 78, Capítulo 5) onde demonstramos as variações das velocidades de regressão após o rompimento dos limiares de estabilidade dos terrenos. Infelizmente a comprovação matemática desta hipótese só seria possível com o monitoramento de detalhe de toda a margem de algum(ns) reservatório(s) ao longo de um longo período de tempo, fato impossível para uma pesquisa como esta. De qualquer maneira, entendemos que do ponto de vista conceitual já contribuimos para as discussões sobre esta questão.

Entendemos, também, que a adoção deste novo conceito de evolução temporal dos processos resultará na necessidade de novas abordagens para a gestão dos problemas resultantes dos processos erosivos em margens de reservatórios. Isto porque não poderá ser mais adotada pelos gestores destes empreendimentos a ideia de que “um dia os processos se estabilizam e aí a gente define o que fazer com os danos ocorridos”. Esta nova percepção dos processos exigirá a gestão permanente dos problemas, inclusive com a criação de novos mecanismos e formas de gestão destes problemas.

iii) *Classificação dos processos e feições*

A preocupação desta pesquisa com a gestão cotidiana desta problemática pelas concessionárias de reservatórios hidrelétricos nos impôs uma necessidade de classificar mais detalhadamente os processos envolvidos na gênese e no desenvolvimento das erosões marginais, bem como a diferenciação das feições resultantes de tais processos. Isto porque entendemos que esta caracterização mais pormenorizada possibilita melhor compreensão das ações a serem tomadas no controle de tais processos e na recuperação das áreas degradadas por eles. Portanto, novamente a questão da gestão da problemática se coloca como um indutor do avanço do entendimento dos processos erosivos.

Neste sentido, nossa pesquisa se contrapõe a outros estudos utilizados aqui como referências, tais como DE JORGE (1984), COLÂNGELO (1990) e FERNANDEZ (1995), nos quais os autores adotaram uma terminologia específica para o conjunto de feições erosivas existentes nas margens dos reservatórios hidrelétricos. Esta seleção, via de regra, adotou a terminologia adequada aos processos predominantes nas suas áreas de estudo. O problema, no entanto, foi a extrapolação destas terminologias para todos os processos em reservatórios, o que é um equívoco no nosso entendimento. Por exemplo, DE JORGE (1984) e COLÂNGELO (1990) estudaram os escorregamentos em margens de reservatórios, indicando forte relação entre a elevação do nível de base e aspectos morfométricos das vertentes e os processos estudados. Já FERNANDEZ (1995), em seu estudo sobre o lago de Itaipu, também adotou uma única terminologia para a designação dos processos erosivos marginais, neste caso, os solapamentos. Neste estudo, contudo, observa-se a indicação de que se trata da principal feição observada, ainda que sem a referência das demais.

É certo que tais autores, pela grande qualidade dos trabalhos realizados, possuem o entendimento de que as terminologias adotadas não representam a totalidade dos

processos e feições erosivas existentes; mas optaram por sua utilização de forma a simplificar a exemplificação dos casos presentes em suas áreas de estudo. No entanto, quando se trabalha a gestão desta problemática, a discriminação se faz necessária, não só pelos fatores já apresentados acima, mas, também, pela necessidade de demonstrar aos demais atores envolvidos com esta questão (alta gerência das concessionárias de reservatórios, representantes do poder público e comunidade lindeira) a complexidade do assunto e de conseguir a compreensão por parte destes atores de que o tratamento e a solução dos problemas apresentam uma complexidade compatível a estes, nem sempre alinhada aos anseios destes atores.

Portanto, este trabalho permite um avanço com a explicitação da variedade de processos e formas existentes. Ao longo desta pesquisa, verificamos nos reservatórios de Chavantes e Rosana, diferentes processos e, com isso, observamos a importância de se diferenciar tais processos como uma medida fundamental para a gestão dos mesmos e a promoção de sua recuperação.

Diante do exposto, entendemos que esta pesquisa contribuiu para tal revisão do modelo teórico-metodológico sobre os processos erosivos em margens de reservatórios.

8.2. Os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa foram estabelecidos ainda na fase inicial. Ao longo da pesquisa os procedimentos foram avaliados, porém sem grandes alterações metodológicas, exceto no caso da produção cartográfica.

GATTO (1988) faz apontamentos sobre a definição das técnicas de coleta de dados de campo para trabalhos com erosões nas margens de reservatórios, que são básicas e úteis para definição dos procedimentos metodológicos de pesquisas em geral. Este autor aponta que a definição das técnicas depende dos seguintes fatores: (1) objetivos de um projeto; (2) os requisitos de precisão e acurácia do projeto; (3) equipamentos disponíveis para fazer o trabalho; (4) restrições de orçamento, recursos humanos e tempo; (5) características das erosões e as condições do local; e (6) as expectativas quanto à taxa de erosão que ocorre nos locais a serem estudados. Dentre tais fatores, os dois últimos, aplicados ao estudo das erosões marginais, podem ser adaptados a qualquer objeto de estudo.

No que se refere aos procedimentos técnicos para levantamento de dados e informações para caracterização das condicionantes ambientais, apresentamos adiante algumas considerações sobre cada delas:

- Condições geomorfológicas: considerando-se o nível da análise proposto nas pesquisas e os recursos disponíveis, entende-se que os procedimentos para análise das declividades e das unidades geomorfológicas mais afetadas estão adequados aos resultados esperados. Há, no entanto, ajustes a serem feitos no tratamento das informações de declividade, pois ao se considerar a declividade da linha de costa (onde a declividade é 0°) para compor a declividade das margens, observou-se que essa situação pode ter influenciado os resultados de parte das margens, sobretudo onde há maior declividade no entorno.
- Condições pedológicas: para a coleta, análise física e análise da permeabilidade dos solos foram utilizadas metodologias consagradas, de modo que pode ser considerado satisfatório o nível das técnicas adotadas. Contudo, devemos reconhecer que seria de grande valia para as análises propostas a utilização de parâmetros de resistência dos solos ao cisalhamento, por exemplo, com o uso de um equipamento do tipo vane shear.
- Condições geológicas: considerando-se o nível da análise proposto nas pesquisas e os recursos disponíveis, entende-se que os procedimentos para caracterização geológica, baseados na análise cartográfica e em observações de campo, foram suficientes e adequados aos resultados esperados.
- Condições do clima e da ação dos ventos e ondas: em relação aos dados climáticos, há que se relatar a escassez de dados secundários, provenientes da rede oficial e com séries longas de registro. As estações utilizadas permitiram uma caracterização regional bem fundamentada, mas a possibilidade de integração de mais dados resultaria em um detalhamento maior para os diferentes compartimentos dos reservatórios. Inicialmente pensamos em integrar, ainda como atividade do Projeto de P&D, duas estações meteorológicas automáticas em cada reservatório, para aumentar o volume de dados disponíveis. No entanto, esta proposta foi abandonada para esta pesquisa, posto que as estações não apresentariam uma série de dados representativa e poderiam influenciar os resultados da análise regional, mais consistente do ponto de vista dos levantamentos históricos.

Quanto aos dados sobre as pistas de vento e ondas, a opção por uma modelagem mais simples se mostrou adequada por i) ser adequada ao nível desta pesquisa; ii) por apresentar custos de execução e recursos necessários condizentes com a

pesquisa e o Projeto de P&D; e iii) por gerar dados confiáveis para a análise proposta, mesmo informações climáticas de caracterização mais regional.

- Condições de uso e ocupação dos solos: os procedimentos para caracterização do uso do solo por meio de cartografia gerada a partir de imagens de satélite são consagrados e adequados ao nível da pesquisa. A complementação com dados e informações obtidos em campo, também se mostrou útil. Para o aprofundamento desta pesquisa em outros níveis pode ser útil a comparação da evolução do uso e da ocupação do solo, tanto com o surgimento de erosões marginais, como para a alteração da velocidade das taxas de evolução das erosões instauradas (desenvolvimento).

Outra análise que se propõe é quanto à produção cartográfica para caracterização das feições erosivas e a definição das taxas de evolução destas. Conforme informado anteriormente, a proposta inicial era a de se usar somente os dados gerados a partir do laser escâner terrestre, o que se mostrou inviável por fatores já discutidos. Acerca desta técnica, verificou-se que se trata de um equipamento de grande utilidade em estudos sobre erosões marginais, posto que possibilita o levantamento em áreas de difícil acesso, apresenta rapidez no levantamento de dados em campo e, apesar do seu alto custo de investimento, possui um custo baixo para a realização dos monitoramentos periódicos. No entanto, verificamos ao longo do Projeto de P&D, e ficou comprovado por meio desta pesquisa, que a periodicidade do monitoramento adotada não foi adequada. Primeiramente, porque se necessita de um período de monitoramento de médio a longo prazo para a geração de dados comparáveis. Em segundo lugar, porque monitoramentos com distâncias temporais muito curtas (como foi o caso, de uma proposta trimestral), não repercutem alterações significativas nas erosões, causando incoerência entre os dados. Além disso, também devemos verificar que o ineditismo no uso do equipamento para esta finalidade resultou em dificuldades operacionais que influenciaram nos resultados para esta pesquisa. Espera-se que um monitoramento de longo prazo reduza os problemas relatados, até porque foram criadas rotinas de uso do equipamento que diminuem as margens para erro de coleta e processamento de dados.

A partir das dificuldades de uso do laser escâner terrestre, foram incorporadas outras tecnologias na avaliação das taxas de evolução das erosões. A topografia é um método tradicional, com resultados em nível de detalhe adequado e de fácil manipulação, e logo se mostrou uma fonte de dados interessante para ser agregada aos levantamentos com escâner. Suas dificuldades estão no custo de execução dos levantamentos e na dificuldade de acesso a determinadas áreas com erosão. Já as imagens de satélite apresentaram um custo elevado e, a princípio, um nível de acurácia menor do que os outros métodos – que deverá ser verificado com a inclusão de novos

levantamentos conforme descrito no Capítulo 6. A sua grande utilidade é quanto à possibilidade de utilização de levantamentos pretéritos, posto que existe um grande acervo deste material, com datas antigas.

Por fim, assim como realizado por FERNANDEZ (1995), é importante situar esta pesquisa quanto aos níveis de pesquisa propostos por GATTO (1988). Este autor aponta que as pesquisas sobre erosões marginais podem apresentar quatro níveis de complexidade, sendo o nível 1 o mais complexo (com monitoramentos de longo prazo e a avaliação do nível de influências das condicionantes ambientais no desenvolvimento das erosões) e o nível 4 o menos complexo (com medições de curto prazo e a realização de análises menos complexas, utilizando-se de dados secundários). Neste método de classificação podemos enquadrar esta pesquisa no nível 3, posto que, apesar de não possuímos monitoramento de longo prazo, apresentamos dados obtidos por meio de diferentes métodos de avaliação e, principalmente, por inserirmos uma análise comparativa da situação do reservatório como um todo (análise da gênese dos processos), pouco ou não discutida nos demais estudos sobre esta questão consultados ao longo da pesquisa.

Assim, podemos concluir que sob a perspectiva das técnicas propostas por GATTO (1998) a pesquisa utilizou-se de técnicas de levantamento de dados e informações adequados ao seu nível e que possibilitaram o atendimento aos objetivos propostos. No entanto, para o aprofundamento desta pesquisa, já foram identificadas técnicas que poderão incrementar os resultados obtidos.

8.3. As relações entre a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos e o as condições ambientais da região de implantação dos empreendimentos

A análise das discussões sobre as relações entre a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos e o as condições ambientais da região de implantação dos empreendimentos deve ser realizada sob duas perspectivas. A primeira se refere à diferenciação do método de análise para as questões genéticas das erosões, em relação as questões que interferem na sua evolução (desenvolvimento). A segunda refere-se propriamente à seleção das condicionantes e de seus parâmetros e indicadores de avaliação.

No que se refere à primeira perspectiva, entendemos que esta pesquisa teve êxito na análise diferenciada das duas situações e na seleção de parâmetros que fossem eficientes para cada uma delas. A bibliografia consultada não faz essa diferenciação entre as condições de

gênese e de desenvolvimento, em parte por conta do modelo teórico-metodológico adotado nestas pesquisas, que foi discutido no item 8.1, acima. Tal diferença na aplicação também deve-se à disponibilidade de dados que cada pesquisa possui. O fato dos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana possuírem cadastros dos processos erosivos com um nível de detalhe que permite a correlação entre a totalidade da erosões e desta com as demais áreas dos reservatórios, sem dúvida, foi um grande facilitador desta pesquisa.

Estas considerações permitem a análise da segunda perspectiva, relacionada a escolha das condicionantes e de seus parâmetros e indicadores de avaliação. Buscamos nesta pesquisa adotar as condicionantes adotadas em outros trabalhos consultados, não só por eles serem norteadores nas escolhas, mas também pela possibilidade de comparação com os dados destes outros reservatórios estudados.

Se por um lado esta pesquisa não acrescentou algo substancialmente novo na discussão sobre as condicionantes, no que se refere aos parâmetros e indicadores houve uma série de contribuições que podem ser importantes para pesquisas futuras. Neste sentido cabe uma consideração sobre as análises acerca da operação dos reservatórios como fator condicionantes das erosões. Embora muitos autores discutam esta relação, há poucos dados produzidos sobre ela. Assim, a forma de abordagem adotada apresenta uma linha condutora para novas pesquisas, em que pese a necessidade de maior discussão sobre os parâmetros e indicadores relacionados ao desenvolvimento dos processos.

Discussões importantes também foram realizadas no que tange à influência do uso e da ocupação do solo nas erosões marginais. Esta pesquisa apresentou novos elementos para análise, contribuindo com discussões propostas por FERNANDEZ (1995) e HIROSE (2013) sobre ação desestabilizadora da vegetação sobre as vertentes marginais, em determinadas condições.

Outra análise importante foi a respeito das influências das pistas de vento e da ação das ondas nas erosões marginais. Verificamos que tal influência pode ser estudada a partir da configuração do reservatório, posto que esta configuração é que vai definir das diferenças entre as pistas de ventos e as ondas. Tal observação é importante para melhoria das análises a serem realizadas sobre a implantação de novos empreendimentos, pois reforçam a importância da capacidade de síntese que a Geografia Física proporciona, a partir da integração de informações de seus diferentes campos do conhecimento.

Para a continuidade desta pesquisa, ainda que por outros pesquisadores, é certo que precisamos apresentar e analisar mais parâmetros e indicadores relativos ao desenvolvimento dos processos, incluindo parâmetros consagrados para tal análise, como por exemplo, a tensão ao cisalhamento. Bem como, é necessário aumentar o volume de informações sobre taxas de evolução das feições erosivas permitindo correlações mais complexas e confiáveis.

Diante do exposto entendemos que mesmo com as limitações apresentadas esta pesquisa contribuiu para a discussão sobre as condicionantes relacionadas às erosões marginais, cumprindo um de seus objetivos iniciais.

8.4. As propostas dos sistemas de classificação da tipologia das erosões e dos níveis de criticidade

Para a análise dos resultados dos sistemas de classificação propostos recorreremos ao entendimento exposto no capítulo específico sobre o tema, de que estas propostas não têm como pretensão se encerrar em si mesmas. Ao contrário, elas têm a intenção de incitar o desenvolvimento de novas análises sobre a questão, gerando novos resultados e transformando-as segundo novos conhecimentos e novas realidades técnicas e sociais. Portanto, a análise destes resultados deve se basear sobre a atual proposta e sobre as possibilidades de futuras adequações.

Quanto ao nível atual das propostas, entendemos que elas atendem aos objetivos desta pesquisa. A proposta de classificação da tipologia das erosões foi baseada em uma vasta revisão bibliográfica e eventuais correções ou revisões de terminologias que venham a ser feitas nesta etapa de concepção do sistema devem-se mais às interpretações das informações levantadas do que à necessidade de inclusão de novas informações ou terminologias. Esta proposta subsidiou outras atividades desta pesquisa, como a revisão dos conceitos adotados em pesquisas sobre erosões marginais (vide item 8.1 deste capítulo) e a própria análise do desenvolvimento dos processos, após possibilitar uma caracterização mais detalhada das erosões em cada ponto de monitoramento.

O sistema de classificação das erosões por nível de criticidade, no nosso entendimento, também cumpriu seus objetivos que são i) apontar o rol de variáveis que devem ser envolvidas na análise desta questão, quando se visa à gestão dos processos; e ii) sistematizar estas variáveis em um sistema de hierarquias entre elas. Neste sentido entendemos que o sistema representa o atual nível de conhecimento sobre esta questão.

Quanto aos seus desenvolvimentos futuros, entendemos que ambas as propostas mostram possibilidades de desenvolvimento. A complexidade do sistema proposto para classificação das erosões quanto aos níveis de criticidade e os apontamentos sobre a sua aplicabilidade, associados à crescente demanda de atuação sobre a questão pelas concessionárias de hidroelétricas, indicam que há uma perspectiva grande de desenvolvimento futuro. Como discutimos anteriormente, estas perspectivas passam pelos esforços de divulgação da proposta e de implantação de um piloto que se delineiam para o período de curto prazo.

Por fim, o sistema de classificação da tipologia das erosões marginais também deverá servir para desenvolvimentos futuros. A classificação destes processos é um tema historicamente muito presente nos estudos de áreas do conhecimento como a Geomorfologia e a Geotecnia. Além disso, em diferentes níveis de detalhe, todos os estudos sobre erosões marginais fazem considerações sobre a classificação das erosões quanto a sua tipologia.

8.5. A gestão dos processos erosivos em margens de reservatórios

Desde o início deste trabalho destacamos o caráter de aplicação desta pesquisa, em grande parte influenciada pela experiência profissional do seu autor, atuando inicialmente na identificação e na análise de impactos nas fases de estudos para a implantação de projetos hidrelétricos e atualmente na gestão de processos erosivos em uma concessionária de geração de energia. Neste sentido, podemos afirmar que o trabalho ora apresentado é frutífero na proposição de ações e princípios a serem adotadas pelos projetistas de obras hidrelétricas e pelas empresas concessionárias responsáveis pela implantação e operação dos empreendimentos.

Uma primeira proposição a ser realizada é a ampliação do conceito de Área Diretamente Afetada – ADA – na elaboração dos Estudos de Impacto Ambiental – EIAs – de empreendimentos hidrelétricos. Tal proposta surge da necessidade de se caracterizar, com maior detalhe de informações, áreas mais amplas do que as atuais. Atualmente observa-se uma tendência de se considerar como data de um empreendimento hidrelétrico a área de implantação das obras civis da barragem (em um sentido mais amplo, a área do canteiro de obras e das frentes de serviço), a área do reservatório (em geral considerando-se a cota máxima normal de inundação) e a Área de Preservação Permanente – APP – do reservatório.

No entanto, como pudemos verificar ao longo do trabalho, as áreas afetadas pelos processos erosivos ampliam-se significativamente com o passar dos anos, aumentando a área diretamente afetada por estes empreendimentos. Assim, faz-se necessária uma revisão deste conceito, a qual passa pela própria revisão da análise deste tipo de impacto, de forma que na etapa de estudo do projeto já se tenha uma visão mais clara e aprofundada sobre as áreas mais propícias ao surgimento destes processos, ampliando-se a ADA dos empreendimentos sobre tais áreas.

No sentido de se rever a análise deste tipo de impacto é importante que haja, no meio técnico responsável por tais estudos, uma revisão dos modelos teórico-metodológicos acerca deste impacto. Como ficou demonstrado nesta pesquisa, há dois modelos distintos, que se adequam a situações diferentes. A adoção de um modelo na análise de impacto deve ser embasada em um forte conhecimento da região, sob pena de se realizar uma análise equivocada sobre a probabilidade, a magnitude e a relevância deste impacto.

Para tanto, é necessária a realização de estudos mais detalhados no entorno da cota máxima normal de operação, abrangendo toda a área de deplecionamento e porções altimétricas superiores, a partir de levantamentos primários mais detalhados. Estes levantamentos são mais custosos para esta fase dos empreendimentos do que os realizados atualmente, mas previnem ou reduzem os gastos posteriores na fase de operação, quando, com os problemas já instaurados, os custos ficam ainda maiores. Neste sentido, sugere-se a realização de medidas simples como o cadastramento e a caracterização de processos erosivos existentes nestes locais, previamente à implantação do empreendimento, a realização de estudos mais detalhados das características físicas do solo, a realização de ensaios geotécnicos ao longo do reservatório (e não somente na área da barragem, e ainda sim de maneira reduzida, como ocorre atualmente) e a ampliação do monitoramento piezométrico no entorno do reservatório, com a integração dos dados entre os programas ambientais de monitoramento do lençol freático e de monitoramento dos processos erosivos (medida simples e óbvia, mas ainda muito negligenciada na gestão dos empreendimentos). Este detalhamento dos estudos também deve incluir a realização de estimativas sobre a formação de ondas nos reservatórios. Tais estudos podem ser complexos e caros dependendo do nível de detalhe das informações a serem processadas e da complexidade dos modelos utilizados. No entanto, podemos verificar ao longo desta pesquisa que modelos de baixa complexidade, que necessitam de informações menos detalhadas e, conseqüentemente, são menos custosos, podem também apresentar informações úteis a esta etapa de planejamento, indicando de maneira geral áreas mais susceptíveis à ação das ondas no desenvolvimento de processos erosivos.

Outro aspecto importante a ser destacado refere-se à presença de vegetação na margem dos reservatórios na atenuação de ondas. NEVES, MACIEL & ROSAURO (s.n.t.) apontam que “a presença de vegetação submersa tem o efeito de reduzir a altura das ondas, dissipando a energia das frequências mais altas, um processo análogo ao efeito da viscosidade”. A legislação vigente no Brasil exige a supressão da vegetação nas áreas de formação dos reservatórios hidrelétricos, permitindo a manutenção de um percentual máximo, que visa à manutenção das condições ambientais e à formação de ambientes para a reprodução da ictiofauna. Esta medida visa à manutenção da qualidade da água dos reservatórios, a redução da emissão de gases de efeito estufa a redução dos riscos aos demais usos dos reservatórios. Assim, faz-se necessária uma análise pormenorizada sobre a pertinência da manutenção de vegetação nas áreas submersas próximas às margens dos futuros reservatórios, integrada com a análise dos efeitos apresentados acima. Esta análise deveria abordar inclusive o tipo de vegetação mais adequado para ser mantido, considerando-se critérios como porte e a flexibilidade. VASCO (2005) e LIMA (2005), citados por NEVES, MACIEL & ROSAURO (s.n.t.), estudaram os efeitos da atenuação de ondas por vegetação submersa e podem ser somados aos resultados desta pesquisa na correlação dos dados entre ondas e a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos marginais para propor uma revisão das normativas referentes à supressão de vegetação em reservatórios.

Estas questões apontadas acima podem resultar no entendimento da necessidade de uma revisão da metodologia de definição das áreas a serem desapropriadas para implantação dos empreendimentos. Atualmente verifica-se a desapropriação das áreas inundadas pela cota máxima normal de operação, mais as áreas de APP. Com a ampliação do conceito das áreas diretamente afetadas pelos reservatórios deve-se analisar a possibilidade de aquisições de terras maiores reduzindo-se o risco de se retomar estes processos de desapropriação durante a operação do reservatório.

Esta questão, no entanto, é complexa e a discussão que se propõe é apenas o início de uma discussão maior que deve envolver os agentes do setor e os atores sociais afetados por tal medida. Trata-se de uma questão importante para a discussão se o melhor para cada um dos envolvidos é a aquisição das terras de maneira mais ampla, antes da consumação do dano, ou a sua indenização posterior à ocorrência do dano. Tal situação influencia também o custo dos empreendimentos e, conseqüentemente, o preço da energia vendida. Qual é o reflexo desta medida de precaução no preço da energia? É significativo ou não? É melhor incluir esse custo no preço inicial do produto, impactando seu fluxo de caixa desde o início do projeto ou esperar para gastar estes recursos quando o projeto já possui entradas significativas no fluxo de caixa, ainda

que se considere que os gastos serão maiores em decorrência da valorização das terras promovida pelo reservatório. Neste aspecto, também é importante discutir que este impacto é inerente ao empreendimento, assim como o são outros impactos positivos. E mesmo se trata-se de um impacto mitigável ou não, e se sobre ele se aplica alguma medida mitigadora ou compensatória. É possível e pertinente comparar tais impactos? São questões que certamente serão discutidas em algum momento pela sociedade (ou, ao menos, por parte dela), mas para as quais deixamos uma contribuição, ainda que pequena, por meio desta pesquisa.

Por fim, apresentamos um apontamento de ALLEN & WADE (1991) indicando as margens dos reservatórios são jovens, quando comparadas com as lagoas naturais e que, portanto, estão em um processo dinâmico de busca do equilíbrio estável; sendo decorrência desta condição a ocorrência das erosões marginais. E concluímos com uma observação baseada nos trabalhos de HOLMSTEAD (2003), o qual, por sua vez, faz referência à trabalho da USACE, apontando que embora se reconheça que os reservatórios são responsáveis pelo surgimento e o desenvolvimento das suas erosões marginais, estes ainda devem ser construídos para cumprir sua função. Esta situação é descrita para os reservatórios de controle de inundações, mas também podem ser aplicados para reservatórios hidrelétricos. Reservatórios hidrelétricos devem ser, e continuarão sendo, construídos para atender demandas maiores da sociedade brasileira, que não deve abrir mão do recurso hídrico para geração de energia; no entanto, cabe aos pesquisadores e gestores destes reservatórios aumentar o conhecimento sobre a problemática das erosões marginais e propor melhorias no sistema de gestão destes processos.

8.5. Conclusão

Na conclusão deste trabalho achamos pertinente realizar uma avaliação do nível de atendimento conseguido para os objetivos listados inicialmente para esta pesquisa. Como alguns objetivos já foram abordados nos outros itens destas considerações finais, aqui o faremos de forma bastante sucinta. Seguem abaixo os objetivos propostos no início da pesquisa:

- *Identificação, análise e descrição, com base na bibliografia disponível e nas pesquisas de campo, das condicionantes ambientais envolvidas na gênese e no desenvolvimento dos processos geomorfológicos das margens de reservatórios, avaliando o peso de cada uma delas na dinâmica dos processos.*

Ao longo da revisão bibliográfica verificou-se uma grande quantidade de estudos específicos sobre as diferentes condicionantes ambientais destes processos,

com níveis de detalhamento, por vezes, maiores do que os adotados nesta pesquisa. No entanto, acreditamos que este trabalho teve como mérito inserir elementos novos na análise destas condicionantes e promover a integração destas análises.

- *Analisar os processos operativos dos reservatórios hidrelétricos (reservatórios a fio d'água e de acumulação) visando identificar e caracterizar os aspectos que podem atuar como condicionantes da dinâmica dos processos de erosão marginal em reservatórios de geração hidroelétrica, com vistas ao estabelecimento de prioridades de atuação pelas concessionárias de geração.*

No que se refere ao tratamento dos processos operativos como condicionantes das dinâmicas dos processos erosivos marginais, esta pesquisa contribuiu com informações inéditas, revelando o percentual de áreas afetadas por processos erosivos em quatro empreendimentos distintos operados pelos dois tipos de processos possíveis. Trata-se de uma amostra pouco representativa, para o universo de reservatórios de hidrelétricas existentes no Brasil, porém é uma informação muito rica, posto que em outros estudos consultados esta questão é tratada de forma conceitual, sem a utilização de dados com o nível de detalhes destes usados nesta pesquisa.

- *Estabelecer uma metodologia de tipificação dos processos geomorfológicos das margens de reservatórios e de classificação dos níveis de criticidade destes processos.*

Conforme exposto acima, os sistemas foram criados e atingiram resultados distintos. O sistema de classificação da tipologia dos processos proposto é um resultado importante por demonstrar a variedade de processos vigentes e as diferentes feições erosivas formadas, explicitando a complexidade existente no entendimento dos processos erosivos marginais. Já o sistema de classificação dos níveis de criticidade obtém um resultado importante que é aumentar a abrangência da discussão sobre os processos erosivos, incluindo elementos diversos dos discutidos nos demais trabalhos acadêmicos realizados até então sobre o assunto. Esta proposta, ainda que embrionária, propõem um rumo para o tratamento dessa questão pelos agentes do setor elétrico brasileiro e pode fomentar nos estudos ambientais, e em especial na Geografia, uma nova forma de se pensar a relação entre os elementos do meio geográfico (sejam eles

físicos, biológicos ou antrópicos) e o seu tratamento pelos responsáveis por sua gestão.

- *Testar a adequabilidade de diferentes recursos cartográficos de mensuração das taxas de evolução dos processos erosivos marginais (em especial o monitoramento por meio do sistema Scanner Laser 3D) visando à geração de mais dados e informações resultantes do monitoramento destes processos.*

Em que pese as limitações dos dados gerados pelo Scanner Laser 3D nesta pesquisa, conforme exposto anteriormente, esta ferramenta se mostrou uma ferramenta muito útil no estudo de erosões marginais em reservatórios e mostrou resultados ainda mais adequados quando associados a outros recursos cartográficos. Com as considerações realizadas acima, no item 8.2, estudos futuros poderão aproveitar ainda mais a potencialidade dos recursos adotados nesta pesquisa.

- *Caracterização do tratamento das questões do meio físico nos projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) das empresas do setor elétrico, visando à identificação das potencialidades deste tipo de projeto, e de sua fonte de financiamento, como alternativa de desenvolvimento da ciência geomorfológica.*

Com a adoção de um capítulo específico para o tema pudemos traçar um panorama sobre as especificidades dos projetos de P&D do setor elétrico brasileiro, suas dificuldades e oportunidades, identificar o atual estágio de desenvolvimento das pesquisas do meio físico realizadas por meio desta fonte de financiamento, expor as características do projeto a que esta pesquisa está vinculada (e como ela se insere dentro dele) e ainda identificar possibilidades futuras de pesquisas em outros temas do meio físico, a partir de carências identificadas no setor elétrico brasileiro, cumprindo-se, portanto, o objetivo proposto inicialmente.

Por fim, a partir das considerações apresentadas acima, podemos concluir que o objetivo principal desta pesquisa, de ampliar o conhecimento sobre os diversos aspectos envolvidos no entendimento e na gestão dos processos erosivos marginais em reservatórios de hidrelétricas, foi atendido, tanto pelos resultados já obtidos e apresentados ao longo deste trabalho, quanto pela perspectiva de novas pesquisas que se abrem a partir destes mesmos resultados.

Capítulo 9

Bibliografía

9. Bibliografia

- AHRENDT, Adriana. **Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão - SP.** Tese de Doutorado. São Carlos: EESC/USP, 2005. pp. 7-88.
- ALBUQUERQUE FILHO, José L. & LEITE, Claudio B. B. **Elevações induzidas no lençol freático devido a formação de reservatórios e o significado das modificações resultantes.** In: Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências, VII (6). Guarulhos: UNG, 2002. pp. 69-74.
- ALBUQUERQUE FILHO, José L.; SAAD, Antonio R. & ALVARENGA, Marissa C. de. **Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos com ênfase nos efeitos ocorrentes em aquíferos livres e suas consequências.** In: Geociências, v. 29, n. 3. São Paulo: Unesp, 2010. pp. 355-367.
- ALLEN, H. H. & WADE, F. J. **The scope and natura of shoreline erosion problems at Corp of Engineers reservoir projects: a preliminary assessment.** Miscellaneous Paper W-91-1. Washington DC: U.S. Army Corps of Engineers / McAlester, 1991. 21 p.
- ALLEN, H. H. & TINGLE, J. L. (eds.). **Proceedings, U.S. Army Corps of Engineers workshop on reservoir shoreline erosion: a national problem (Final report).** Miscellaneous Paper W-93-1. Vicksburg: U.S. Army Corps of Engineers / McAlester, 1992. 258 p.
- ANDREASSI, Tales & SBRAGIA, Roberto. **Relações entre indicadores de P&D e de resultado empresarial.** São Paulo, 2002. p. 72-84. Revista de Administração, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 72-84, jan./mar. 2002.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da energia elétrica do Brasil.** 2ª edição. Brasília: Aneel, 2003. 43-76p.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Consulta ao sítio eletrônico <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>, realizada em 28 de outubro de 2012.

- AZEVEDO, Adalberto & DUARTE, Heraldo. ***Estudo de alternativas de proteção para o controle de erosão nas margens do reservatório da UHE Eng. Sérgio Motta (Porto Primavera)***. In: Anais do VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – Citenel. Rio de Janeiro, Light / Coelce, 2013. 11 p.
- BERGER, A R. & IAMS, W.J. ***Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems***. Rotterdam: A A Balkema - Brookfield, 1996. 466 p.
- BOULET, René. ***Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo***. In: Anais do III Congresso da Abequa. Belo Horizonte: Abequa, 1992.
- CALIJURI, Maria L; MELO, André L. de O. & LORENTZ, Juliana F. ***Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise e estratégica de decisão***. In: iP - Informática Pública - v. 4 n. 2 (jul-dez 2002). Belo Horizonte: Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte - PRODABEL/PBH, 2002. 231-250 pp.
- CAMARGO, Flávio A. de O.; SANTOS, Gabriel de A. & ZONTA, Everaldo. ***Alterações eletroquímicas em solos inundados***. In: Ciência Rural, v. 29, n. 1. Santa Maria, CCR/UFSM, 1999. p. 171-180.
- CASSETI, Valter. ***Geomorfologia***. [S.l.]: Funape, 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em 10 de outubro de 2012.
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Consulta ao sítio eletrônico <http://www.cepel.br/organizacao/historia.shtm>, realizada em 08 de abril de 2014.
- CHAPIESKI, Jefferson. ***Proposta de Método para seleção de projetos de P&D em empresas distribuidoras de energia elétrica***. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Prodetec / Lactec, 2007.
- CHAO, Benjamin F. ***Anthropogenic impact on global geodynamics due to reservoir water impoundment***. In: Geophysical Research Letters, vol. 22, nº 24. S.n.t.: 1995. 3529-3532 pp.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgar Blucher / Edusp, 1974.

COELHO, André Luiz N. **Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens**. In: Caminhos de Geografia, v. 9, n. 26 Jun/2008. Uberlândia: 2008. p. 16- 32.

COLÂNGELO, Antonio C. **Movimentos de massa e evolução geomorfológica das vertentes marginais no lago da barragem de Paraibuna, mun. de Paraibuna - SP**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: DG-FFLCH-USP, 1990. p. 92 + anexos.

COLÂNGELO, Antonio C. **Os parâmetros de resistência ao cisalhamento e a estabilidade das encostas no Planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba**. In: Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume Especial 30 Anos. São Paulo: DG-USP, 2012. p. 112-129.

COLTRINARI, L. **Geografia física e mudanças ambientais**. In: CARLOS, A. F. A. Novos caminhos da Geografia. São Paulo: Contexto, 2001.

COLTRINARI, L. & MC CALL, J. H. **Geoindicadores: Ciência da Terra e Mudanças Ambientais**. In: Revista do Departamento de Geografia, vol. 09. São Paulo: FFLCH/USP, 1995.

DACORSO, Antonio L. R. **Tomada de decisão e risco a administração da inovação em pequenas indústrias químicas**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FEAIUSP, 2000. 236 p.

D'ARMADA, Júlio C. R.; ASSIREU, Arcilan T.; VIANA, Augusto N. C. & RODRIGUES, Adalberto de A. **Erosões em margens de reservatórios – Influências das ondas geradas pela ação do vento e da vegetação de proteção ciliar**. Apresentação de evento. Disponível no sítio eletrônico <http://www.cbdb.org.br/documentos/28sngb/T%20106%20-%20A%2003%20-%20Julio%20d'Armada.pdf>. Rio de Janeiro: Furnas, 2011.

DE JORGE, Francisco N. **Mecanismos de escorregamentos em encostas marginais de reservatórios**. Dissertação de Mestrado. São Carlos: EESC/USP, 1984.

- DINIZ, Noris C. **Cenários de geoindicadores por meio de avaliação ambiental em SIG e base de dados geoambientais**. In: VILLAS BÔAS, Roberto & BEINHOFF, Christian. Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Mineral. S.N.T.
- DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA & ENGEMAP ENGENHARIA E MAPEAMENTO. **Monitoramento de Feições Erosivas da UHE de Rosana**. Assis: Engemap, 2005.
- DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA S.A. & DFREIRE CONSULTORIA AMBIENTAL. **Relatório para Licenciamento Ambiental. UHE Chavantes**. 2 volumes. São Paulo: DFreire / Duke Energy, 2002.
- DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA S.A. & FUNDUNESP – Fundação para o Desenvolvimento da Unesp. **Relatório Técnico do Projeto de P&D nº PD-0387-0311/2010**. Presidente Prudente: Fundunesp, 2012
- DUKE ENERGY INTERNATIONAL, GERAÇÃO PARANAPANEMA S.A. & REGEA GEOLOGIA E ESTUDOS AMBIENTAIS. **Relatório Técnico Final – Contrato 0100018934**. 9 volumes. São Paulo: Regea / Duke Energy, 2013.
- ELÇI, Sebnem & WORK, Paul. A. **Prediction of shoreline erosion at Hartwell Lake**. In: Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference. Athens: University of Georgia, 2003.
- ELÇI, Sebnem; WORK, Paul. A. & HAYTER, Earl J. **Influence of Stratification and Shoreline Erosion on Reservoir Sedimentation Patterns**. In: Journal of Hydraulic Engineering. Reston: ASCE, 2007.
- FEPISA – Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira; UNESP – Universidade Estadual Paulista & FATEC JAHU – Faculdade de Tecnologia de Jahu. **Projeto Ondisa 5 – Hidrovia Tietê - Paraná: alerta de vento e ondas para segurança da navegação. Relatório Final**. Ilha Solteira: Fepisa, 2011.
- FEPISA – Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira. **Estudo de previsão de ondas geradas por ação de ventos nos reservatórios das UHEs Chavantes e Rosana**. Ilha Solteira: Fepisa, 2014. p.43.

- FERNANDES, Nelson F. & AMARAL, Claudio P. do. ***Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica***. In: GUERRA, Antonio J. T. & CUNHA, Sandro B. da. Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 123-194.
- FERNANDES, Luciane A. & GOMES, José M. M. ***Relatórios de pesquisa nas Ciências Sociais: Características e modalidades de investigação***. In: ConTexto, v. 3, n. 4. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- FERNANDEZ, Oscar V. Q. ***Erosão marginal no lago da UHE Itaipu***. Tese de Doutorado. Rio Claro: [s.n], 1995. 113 p. il., tabs., quadros.
- FORNASARI FILHO, Nilton (org.). ***Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia***. São Paulo: IPT, 1992.
- FRANÇA JUNIOR, Pedro & VILLA, Maria E. C. D. ***O Ambiente Geográfico e os Geoindicadores***. Revista Brasileira de Geografia Física 02 (2011). Disponível no sítio eletrônico: www.ufpe.br/rbgfe. Recife: 2011. pp. 337-348.
- FRANCO, Renato A. M.; HERNANDEZ, Fernando B. T. & MORAES, Jener F. L. de. ***O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista***. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.
- GREGORY, Ken J. ***A natureza da Geografia Física***. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1986. 367 p.
- GRIGORYEV, A. A. ***The interaction of sciences in the study of the Earth***. Tradução do original: Mirian Ramos Gutjahr. Moscow: Progress Publishers, 1968. pp. 77-91.
- GATTO, Lawrence W. ***Techniques for measuring reservoir bank erosion***. In: Special Report 88-3. Hanover: USACE, 1988.
- GATTO, Lawrence W. DOE III, Willian W. ***Bank conditions and erosion along selected reservoirs***. In: Environ Geol Water Sci Vol. 9, No 3, 143-154. S.n.t.

- GUERRA, Antonio J. T.; SILVA, Antonio S. da & BOTELHO, Rosângela G. M (org). ***Erosão e conservação de solos. Conceitos, temas e aplicações.*** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- GUIDICINI, Guido & NIEBLE, Carlos M. ***Estabilidade de taludes naturais e de escavação.*** 2ª edição. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1983.
- GUSMÃO FILHO, Jaime. ***Desempenho de obras geotécnicas.*** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2006. pp. 57 – 59.
- HARARI, Joseph. ***Capítulo 14 - Ondas no oceano.*** Disponível no sitio eletrônico http://www.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd_capitulo14.php, consultado em 02 de outubro de 2014.
- HIRAI, J. N & AUGUSTO FILHO, O. ***Avaliação Ambiental por meio de geoindicadores: aplicação de erosão de solos e sedimentos.*** In: Revista eletrônica Minerva, volume 5, número 1. São Carlos: Fipai, 2008. pp. 33-44.
- HIROSE, Alice T. ***Potencial de contribuição de espécies nativas de hábitos distintos para o controle de erosão e restauração de margens de corpos hídricos.*** Tese de Doutorado. Piracicaba: Esalq/USP, 2013.
- HOLMSTEAD, Gary L. ***Shoreline Erosion in Hells Canyon.*** Technical Report. Boise: Idaho Power Company, 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ***Manual Técnico de Pedologia.*** Manuais Técnicos em Geociências, número 4, 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.
- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Os desafios para que o Brasil torne-se um país inovador. Matéria de portal da internet. Disponível no sitio eletrônico <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=desafios-brasil-torne-se-pais-inovador&id=010175140407>, consultado em 07 de abril de 2014.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. ***Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do programa de P&D regulado pela Aneel.*** Comunicados do IPEA nº 152. Brasília: IPEA, 2012. 16 p.

- JENSEN, Juan; MENEZES-FILHO, Naércio & SBAGIA, Roberto. **Os Determinantes dos Gastos em P&D no Brasil: Uma Análise com Dados em Pannel.** In: Est. Econ., V. 34, N. 4, P. São Paulo: 2004, 661-691
- JORGE, Francisco N. de. **Mecanismos dos escorregamentos em encostas marginais de reservatórios.** Dissertação de mestrado. São Carlos: EESC-USP, 1984. 146p.
- KIRK, R. M.; KOMAR, P. D.; ALLAN, J. C. & STEPHENSON, W. J. **Shoreline Erosion on Lake Hawea, New Zealand, Caused by High Lake Levels and Storm-Wave Runup.** In: Journal of Coastal Research, Vol. 16, No. 2. Royal Palm Beach: Coastal Education & Research Foundation, 2000. pp. 346-356
- LAKATOS, Eva M. & MARCONI, Marina de A. **Metodologia científica.** 2a. edição. São Paulo: Atlas, 1992.
- LATRUBESSE, Edgardo M., STEVAUX, José C. e SINHA, Rajiv. **Grandes sistemas fluviais tropicais: uma visão geral.** In: Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, nº. 1 (2005). S.n: UGB, 2005. pp. 01-18.
- LEITE, Carlos A. G.; STEIN, Dirceu P. CARLSTRON FILHO, Carlos; ÁVILA, Ivan G. de; SANTOS, Marcos T. N. dos & FERREIRA, José M. C. **Assesment of the causes and consequences of slides on the slopes encompassing the Paraibuna / Paraitinga Lake, Brazil.** In: IV Congress International Association of Engineering Geology., Volume VII, Themes 4 & 5. New Delhi: IAEG, 1982. pp. VII.109 – VII-118.
- MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à Geologia de Engenharia.** Brasília: Editora da UFSM, 1994.
- MARQUES, Marcelo; MACIEL, Geraldo de F. & SOBRINHO, Milton D. **Estimativa das máximas pistas de vento no reservatório da barragem de Ilha Solteira, Estado de São Paulo.** In: Acta Scientiarum. Technology, 29, n. 1. Maringá: UEM, 2007. pp. 79-84.
- MATA, Rogério S. da. P. **Inovação tecnológica em multinacionais brasileiras estudo multicaso sobre gestão do portfólio de projetos de novos produtos.** Dissertação de Mestrado. Ribeirão Preto: FEARP/USP, 2008. 165 p.

- MEIRELLES, Saulo & VIOLANTE-CARVALHO, Nelson. **Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos.** In: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2007. pp. 555-563.
- MORAES, Marcus V .A.; TOMMASELLI, Antonio M. G.; RUBIO, Mauricio F.; CARVALHO, Guilherme J. & TOMMASELLI, José T. G. **Monitoramento de erosões marginais em reservatórios de usinas hidrelétricas com escâner laser terrestre móvel.** In: VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba: UFPR, 2013.
- MOREIRA, Ruy. **Espaço, corpo do tempo. A construção geográfica das sociedades.** Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1994.
- MOURA, Gilnei L. de. **Integração entre P&D e planejamento estratégico.** Tese de Doutorado. São Paulo: FEA/USP, 2008. 128 p.
- NASERMOADDELI, M.H. & PASCHE, E. **Application of terrestrial 3D laser scanner in quantification of the riverbank erosion and deposition.** Disponível no sítio eletrônico <https://www.tuhh.de/t3resources/wb/Publikationen/MA-Veroeffentlichungen/nasermoaddeli/riverflow2008.pdf>, em consulta realizada 20 de agosto de 2014. S.n.t.
- NEVES, Claudio; MACIEL, Geraldo de F. & ROSAURO, Nara M. L. **Amortecimento de ondas por vegetação: uma estratégia para proteção de margens lacustres.** SNT.
- NIR, Dov. **Man a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology.** Jerusalém: Ketem Pub. House, 1983. pp. 13-86.
- NOFFS, Paulo da S. & BITAR, Ornar Y. (orgs.). **O meio físico nos estudos ambientais de projetos hidrelétricos.** Encontro Técnico CESP/IPT. São Paulo: CESP/IPT, 1994.
- NUNES, João O. R.; SILVA, Pedro A. A.; CIERUTTE, Giordano B.; BIGONI, Leonice; TOMMASELLI, José T. G. **Caracterização física dos solos degradados por erosão marginal nos reservatórios hidrelétricos de Rosana e Chavantes.** In: XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo. Cusco: SLCS / SPCS, 2014.

- NUNES, Leiva. ***Da classificação das ciências à classificação da informação: uma análise do acesso ao conhecimento***. Dissertação de Mestrado. Campinas: PUC – Campinas, 2007. pp.11-52.
- OLIVEIRA, Antonio M. dos S. ***Depósitos tecnogênicos e assoreamento nos reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/PR***. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1994.
- OLIVEIRA, Antonio M. dos S. ***Relatório de atividades – agosto de 2013 à julho de 2014***. Guarulhos: Fundunesp / Duke Energy International, Geração Paranapanema S.A., 2014.
- OLIVEIRA, Marcelo A. T. de. ***Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas***. In: GUERRA, Antonio J. T.; SILVA, Antonio S. da & BOTELHO, Rosângela G. M (org). *Erosão e conservação de solos. Conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 57-99 pp.
- OLIVEIRA, Ualison R. de; MARINS, Fernando A. S. & ROCHA, Henrique M. Riscos empresariais operacionais: percepção no ambiente fabril. In: Anais do XXVI Enegep – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza: Abepro, 2006. 9 p.
- PIMENTEL, Virgínia Cleire Ribeiro. ***Alternativas de solução para os impactos físicos de barragens***. Tese de Doutorado. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 2004. 2 volumes. 416p.
- PIRES NETO, Antonio G. ***As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica, uma proposição metodológica para a geomorfologia***. Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1991. pp. 01 - 175.
- POMPERMAYER, Máximo L. ***O Papel da Indústria no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica***. In: Revista Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, nº 4 – Agosto de 2011. Brasília: Aneel, 2011. Pp. 14-15
- POMPERMAYER, Fabiano M.; DE NEGRI, Fernanda & CAVALCANTE, Luiz R (org). ***Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro : uma avaliação do programa P&D regulado pela Aneel***. Brasília: Ipea, 2011. 168 p.: gráfs., tabs.

POMPERMAYER, Raquel de S.; DE PAULA JUNIOR, Durval R.; NETTO, Oscar de M. C. **Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 12 n.3 Jul/Set 2007, 117-127. S.n.t.

QUEIROZ NETO, José P. de. **Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos.** In: Revista Brasileira de Geomorfologia, volume 12, nº. 3. Uberlândia: UGB, 2011. pp. 15-24.

_____. **O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas.** In: Anais do VI Seminário Latino Americano de Geografia Física / II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

QUEIROZ NETO, José Pereira; RUELLAN, Alain & PELLERIN. **Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa.** In: B. Inf. (11) 2: 34-38. 1986.

QUINELLO, Robson. **Inovação e melhoria nas facilidades e desempenho operacional.** Tese de Doutorado. São Paulo: FENUSP, 2010. 237 p.

REID, John R. **Mechanisms of shoreline erosion along lakes and reservoirs.** In: ALLEN, H. H. & TINGLE, J. L. (eds.). *Proceedings, U.S. Army Corps of Engineers workshop on reservoir shoreline erosion: a national problem (Final report)*. Miscellaneous Paper W-93-1. Vicksburg: U.S. Army Corps of Engineers / McAlester, 1992. 18-32 pp.

REIS, Lineu. B. & SILVEIRA, Semida (org.). **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável.** São Paulo: Edusp, 2001.

RODRIGUES, Cleide. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros.** Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 1997.

- _____. ***On anthropogeomorphology.*** In: Anais da Regional Conference of Geomorphology, 1999, volume I. Rio de Janeiro: Regional Conference of Geomorphology, 1999. pp. 100-110.
- _____. ***A urbanização da metrópole sob a perspectiva da geomorfologia: tributo à leituras geográficas.*** In: CARLOS, Ana F. A & OLIVEIRA, Ariovaldo U. Geografias de São Paulo. Volume I - Representação e crise da metrópole. São Paulo: Editora Contexto, 2004. 89- 114p.
- RODRIGUES, Roger A. & VILAR, Orenco M. ***Colapso de solo desencadeado pela elevação do nível d'água.*** In: Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 01, n.06. Tupã: ANAP, 2013, pp. 13-27.
- ROSS, Jurandyr L. S. ***Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.*** In: Revista do Departamento de Geografia (USP), v. 08. São Paulo: Depto. de Geografia/USP, 1994.
- ROSS, Jurandyr L. S. & MOROZ, Isabel C. ***Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.*** São Paulo: DG-FFLCH-USP / IPT / Fapesp, 1997.
- RUBIO, Álvaro G. N. ***A composição da carteira de projetos de pesquisa e desenvolvimento um processo não formalizado em casos da indústria.*** Dissertação de Mestrado. São Paulo: FEA/USP, 2003. 149 p.
- RUBIO, Mauricio F. ***Vencendo a escarpa da Serra do Mar: da calçada aos túneis e pontes.*** Trabalho de Graduação Individual. São Paulo: FFLCH/USP, 2003.
- RUBIO, Mauricio F. ***Leituras geográficas do processo de apropriação do rio Paranapanema para geração de energia hidrelétrica.*** Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH/USP, 2008.
- SANTOS, Leonardo J. C.; OKA-FIORI, Chisato; CANALI, Naldy E.; FIORI, Alberto P.; SILVEIRA, Claudinei T.; SILVA, Julio M. F. & ROSS, Jurandyr L. S.. ***Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná.*** In: Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 7, no 2 . Uberlândia: UGB, 2006. pp. 3-12.

SANTOS, Milton. ***Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico informacional***. São Paulo: Hucitec, 1994. 190 p.

_____. ***A natureza do espaço: espaço e tempo: razão e emoção***. São Paulo: Hucitec, 1999. 308 p.

SBRAGIA, Roberto. ***P&D na América Latina as virtudes do Brasil (e a descoberta de suas falhas) no contexto da região***. São Paulo, NPGT/USP, 2003. p. 1-3. Inova: gestão & tecnologia, São Paulo, v. 10, n. 34, p. 1-3, abr./jun. (FEA)

SCHUSTER, R. L. ***Reservoir-induced landslides***. In: Symposium on Engineering Geological Problems in Hydrotechnical Construction. Bulletin IAEG, (20) Tblisi: IAEG, 1979. 8-15 pp.

SELBY, Michael J. ***Hillslope materials and process***. New York: Oxford University Press, 1982.

SILVA, Antonio S. da. ***Análise morfológica dos solos e erosão***. In: GUERRA, Antonio J. T.; SILVA, Antonio S. da & BOTELHO, Rosângela G. M (org). *Erosão e conservação de solos. Conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 101-125 pp.

SILVA JUNIOR, Carlos A. da; CARVALHO, Laércio A. de; MEURER, Ismael; LIBARDI, Paulo L. SILVA, Marcos A. C. da; OLIVEIRA, Emidio C. A. de. ***Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar***. In: Revista Agrarian, v.3, n.8. Dourados: FCA/UFGD, 2010. p.111-118.

TAROLLI, Paolo. ***High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges***. In: Geomorphology, 216 (2014). p. 295–312.

THOMA, D. P.; GUPTA, S. C. & BAUER, M. E. ***Evaluation of a bank erosion inputs to the Blue Earths river with airborne laser scanner***. In: WRC Research. Minnessota: WRC 2001. p.42-47.

TOMMASELLI, Antonio M. G.; MORAES, Marcus V .A.; SILVA, Lara S. L.; RUBIO, Mauricio F.; CARVALHO, Guilherme J. & TOMMASELLI, José T. G. ***Monitoring marginal erosion in hydroelectric reservoirs with terrestrial mobile laser scanner***. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial

Information Sciences, Volume XL-5, 2014, ISPRS Technical Commission V Symposium. Riva del Garda: ISPRS, 2014.

TOY, T. & HADLEY, R. F. ***Geomorphology and reclamation of disturbed lands***. London: Academic Press Inc, 1987.

VALENTE, Roberta de O. A. & VETTORAZZI, Carlos A. **Comparação entre métodos de avaliação multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal**. In: Scientia Forestalis, n. 69, dez. 2005. Piracicaba: IPEF, 2005. p.51-61.

VERGARA, S. C. ***Projetos e relatórios de pesquisa em administração***. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

VIDRIK, Valdeir R. & ARRUDA, José J. de A.. ***Ínvios caminhos a CESP/Bauru e a inovação tecnológica nos anos 80 e 90***. São Paulo, 2003. 240 p.

VIEIRA, Adriana S. ***Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao Largo***. Tese de Doutorado. Ilha Solteira: Feis/Unesp, 2013.

WANG, Fawu & LI, Tonglu. Landslide disaster mitigation in Three Gorges Reservoir, China. London / New York: Springer, 2009.