

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL
E NEGÓCIOS DO SETOR ENERGÉTICO

Leslie Charles Schreuders

Erosão em Pequenas Centrais Hidrelétricas:
Planejamento de abordagens

São Paulo
2010

Leslie Charles Schreuders

Erosão em Pequenas Centrais Hidrelétricas:
Planejamento de abordagens

Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Gestão Ambiental e
Negócios do Setor Energético do Instituto de
Eletrotécnica e Energia da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Especialista

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo S. Lucon

São Paulo

2010



Universidade de São Paulo
Instituto de Eletrotécnica e Energia

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR
ENERGÉTICO**

ATA DE DEFESA – MONOGRAFIA

CANDIDATO: Leslie Charles Schreuders

Aos vinte e três dias do mês de agosto de 2010, às 20h realizou-se no Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo a defesa de monografia do aluno Leslie Charles Schreuders, nível especialização, intitulado: "Erosão em pequenas centrais hidrelétricas: Planejamento de abordagens", sendo a banca constituída pelos Professores: Oswaldo Lucon – Orientador e Presidente da Comissão Examinadora e José Roberto Moreira (IEE/USP).

Manifestação dos membros da banca:

Assinatura

Conceito

Prof. Oswaldo Lucon

(Aprovado)

Prof. José Roberto Moreira

(aprovado)

Os candidatos foram considerados (Aprovados / Reprovados)

(APROVADO)

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo e ao Instituto de Eletrotécnica e Energia pela oportunidade da realização do curso de especialização.

Aos professores do Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do IEE/USP.

Em especial à contribuição intelectual do Prof. Dr. Oswaldo S. Lucon pela orientação no desenvolvimento da pesquisa, apoio e amizade.

À Prof^a. Susana Barbosa pelos encaminhamentos metodológicos.

À Sra. Sandra M. A. dos Santos do Centro Nacional de Referência em Biomassa do IEE/USP pelo suporte durante as fases acadêmica e de monografia.

Aos funcionários administrativos do IEE/USP.

Ao Dr. Antonio J. Maciel de Medina, Diretor Corporativo de Gestão de Pessoas do GRUPO ENERGISA, pela autorização de execução de parte da pesquisa nas PCH's daquele conglomerado.

Ao Dr. Gabriel A. Pereira Junior, Diretor Presidente da ENERGISA SOLUÇÕES, pelo apoio à obtenção de dados em Minas Gerais e no Rio de Janeiro.

Às Eng^{as}. Elizabete L. Domingos e Carolina B. Campos pelo suporte às visitas técnicas e acesso a informações ambientais.

À Eng^a. Jamile Gomes e ao Eng^o. Ricardo de O. Garcia pelo apoio às análises de campo no interior do estado do Rio de Janeiro.

À Arq. Vera Rosenthal e ao seu marido Wagner Carelli pelo inestimável incentivo prático à editoração.

A Wilma Temin e ao seu marido Roberto pelas soluções gráficas.

À Srta. Mônica V. V. Yasoshima pelas revisões de texto.

À minha querida Virginia e aos meus filhos Guilherme e Rodolfo pelo estímulo e enorme carinho de todas as horas.

“La théorie n’a point la prétention de se substituer à l’expérience: c’est le guide qu’on prend au départ, et qu’on interroge sans cesse le long de la route.”

Général Charbonnier

RESUMO

SCHREUDERS, Leslie Charles. **Erosão em Pequenas Centrais Hidrelétricas: Planejamento das abordagens**. 2010. 90 f. Monografia (Especialização) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, 2010.

Usinas hidrelétricas e em particular Pequenas Centrais Hidrelétricas apresentam impactos ambientais que devem ser antecipados, compreendidos e evitados ou mitigados. Dentre os inúmeros impactos ambientais possíveis surge o da erosão, com efeitos destrutivos nas paisagens e nas economias locais. O presente trabalho mostra o funcionamento das Pequenas Centrais Hidrelétricas, a legislação ambiental federal, a avaliação ambiental de projetos e a importância da precocidade aplicável aos estudos sobre erosão. O entendimento dos mecanismos de erosão, o aparato cognitivo disponível vinculado à Geotécnica, à Ciência Ambiental e à Geografia Física é esboçado, em conjunto com a locação dessas análises no fluxograma de um empreendimento similar. Oito estudos de caso são mencionados, assim como a importância das explorações de bacias hidrográficas e de mapas temáticos. Estruturas físicas são apontadas para a contenção de erosões já estabelecidas. A possibilidade de novas integrações de conhecimentos especializados e de uma ampla sistematização de causas de erosão para melhores soluções aparece no fechamento do estudo.

Palavras-chave: Pequenas Centrais Hidrelétricas. Legislação. Impacto ambiental. Erosão. Geotécnica. Geografia Física.

ABSTRACT

SCHREUDERS, Leslie Charles. **Erosion in Small Hydroelectric Power Plants: Approach planning**. 2010. 90 f. Monograph (Specialization) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, 2010.

Hydroelectric power plants and Small Hydroelectric Power Plants have environmental impacts that must be anticipated, understood and avoided or relieved. Amongst the several possible environmental impacts one will see erosion, with its destructive effects in landscapes and the local economies. This study acknowledges the functioning of Small Hydroelectric Power Plants, the federal environmental legislation, the environmental assessment of projects and the importance of early studies on erosion. The understanding about the erosion mechanisms, the applicable knowledge related to Geotechnical Engineering, to Environmental Science and to Physical Geography is outlined together with the location of these analyses within a flowchart of a representative investment. Eight case studies are mentioned, as well as the importance of hydrographical basins and geotechnical maps. Physical structures are indicated for the containment of existing erosions. The possibility of new knowledge integration and a wide systematic approach towards the causes of erosion and consequent solutions are stated at the end of the study.

Keywords: Small Hydroelectric Power Plants. Legislation. Environmental Impact. Erosion. Geotechnical Engineering. Physical Geography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	p.
Figura 1 – Visão esquemática de uma central hidrelétrica	17
Figura 2 – Plano geral informatizado da PCH Santo Antônio, Bom Jardim, RJ	18
Figura 3 – Fotografia da construção da PCH Santo Antônio, Bom Jardim, RJ, vendo-se o rio Grande e relevo	19
Figura 4 – A avaliação ambiental e o ciclo de projeto. Adaptado de Poe et al. 1995.....	25
Figura 5 – Integração do processo de avaliação ambiental no planejamento e implementação do projeto. Asian Development Bank, 1986.....	26
Figura 6 – Fotografia de voçoroca que já atingiu o nível de base	30
Figura 7 – Fluxograma de implantação de uma PCH	44
Figura 8 – Modelo esquemático de Material e Métodos.....	50
Figura 9 – Modelo esquemático do método usado para a definição das áreas de forte risco à erosão	50
Figura 10 – Risco à erosão baseado na declividade.....	51
Figura 11 – Mapa do cruzamento entre as áreas de forte risco à erosão e fragmentos da vegetação nativa arbórea.....	52
Figura 12 – Localização da área de estudo no Estado de Rondônia.....	55
Figura 13 – Localização e acesso às Pequenas Centrais Hidrelétricas Castaman I, II e III na sub-bacia do rio Enganado.....	55
Figura 14 – Mapa geológico da sub-bacia do rio Enganado. Modificado de Rondônia (2000)	56
Figura 15 – Mapa de declividade da sub-bacia do rio Enganado	57
Figura 16 – Mapa de solos da sub-bacia do rio Enganado. Modificado de Rondônia (1998) e EMBRAPA (1995)	57
Figura 17 – Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do rio Enganado, com base na imagem Landsat TM – 05/2000 e dados de campo	58
Figura 18 – Mapa geológico da área de estudo.....	59
Figura 19 – Mapa litológico do Paraná. Santos et al. 1991	59

Figura 20 – Mapa de solos do noroeste do Paraná.....	60
Figura 21 – Carta de orientação de vertentes	60
Figura 22 – Carta de declividade da área urbana.	61
Figura 23 – Carta do uso da terra.....	61
Figura 24 – Carta de direção e velocidade dos ventos de superfície com a localização das áreas de risco apontadas neste estudo	62
Figura 25 – Mapa de fragilidades ambientais	62
Figura 26 – Fotografia de erosão em encosta do rio Grande, na região da PCH Santo Antônio, município de Bom Jardim, RJ.	63
Figura 27 – Mapa de erodibilidade potencial dos solos, Estado do Tocantins	67
Figura 28 – Mapa de criticidade das sub-bacias quanto ao impacto da erosão nos recursos hídricos	69
Figura 29 – Canal de drenagem	74
Figura 30 – Cobertura de grama sobre talude no canteiro de obras da PCH São Sebastião do Alto, município de São Sebastião do Alto, RJ.....	75
Figura 31 – Recomposição de taludes	76
Figura 32 – Dique de terra	78
Figura 33 – Muro de arrimo por gravidade feito com gabiões. Petrópolis, RJ.....	79

LISTA DE TABELAS

	p.
Tabela 1 – Relação da erodibilidade com a classe pedológica dos solos, adaptado do IPT(1992)	38
Tabela 2 – Erodibilidade de um solo em diferentes condições de superfície, chuva de 60 mm, com duração de 40 min., segundo Sidiras et al. (1991)	41
Tabela 3 – Perdas de solos medidas em diversas culturas ao longo de um ano, de acordo com Lepsch, I. (1977)	41
Tabela 4 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade a perdas de solos. Adaptado de Crepani et al.	48
Tabela 5 – Resumo do método de mapeamento do IPT, transcrito de Prandini et al. (1990) ..	66
Tabela 6 – Coeficientes de deflúvio para alguns solos e situações. Adaptado de Garcez e Alvarez (1988).....	73

LISTA DE QUADROS

	p.
Quadro 1 – Descrição resumida dos instrumentos de regulação ambiental Adaptado do CONAMA (1997).	23
Quadro 2 – Mecanismo básico de erosão	33
Quadro 3 – Limites de Atterberg	36
Quadro 4 – Determinação de áreas críticas quanto ao impacto da erosão em recursos hídricos.	70
Quadro 5 – Determinação do volume de água que escoar em uma bacia hidrográfica ou em uma área de interesse	72

SUMÁRIO

- 1 INTRODUÇÃO**
- 2 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**
 - 2.1 CONCEITUAÇÃO**
 - 2.2 PANORAMA DAS PCH's NO BRASIL**
 - 2.3 LEGISLAÇÃO**
- 3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PROJETOS**
 - 3.1 A AVALIAÇÃO AMBIENTAL E O CICLO DO PROJETO**
 - 3.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**
- 4 EROSÃO**
 - 4.1 DEFINIÇÃO**
 - 4.2 O PROCESSO EROSIVO**
 - 4.3 FATORES QUE AFETAM A ERODIBILIDADE DOS SOLOS**
 - 4.3.1 GRANULOMETRIA**
 - 4.3.2 LIMITES DE ATTERBERG**
 - 4.3.3 SUCÇÃO**
 - 4.3.4 FORMA DE ENCOSTA**
 - 4.3.5 PEDOLOGIA**
 - 4.3.6 PERMEABILIDADE**
 - 4.3.7 COBERTURA**
 - 4.3.8 AÇÃO ANTRÓPICA**
 - 4.3.9 COMPACTAÇÃO**
 - 4.4 EROSÃO EM PCH's**
- 5 ESTUDOS DE CASO**
 - 5.1 VULNERABILIDADE À EROSÃO NO SOLO NA ÁREA DE DRENAGEM DO RESERVATÓRIO DE CACHOEIRA DOURADA – GO/MG**
 - 5.2 DIMINUIÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS EM PORTO PRIMAVERA – SP**
 - 5.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO DE ÁREAS DE FORTE RISCO À EROSÃO COM VEGETAÇÃO NA INFLUÊNCIA DA UHE – FUNIL NO RIO GRANDE, MG**
 - 5.4 EROSÃO HÍDRICA NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA**
 - 5.5 PROCESSOS EROSIVOS DIFERENCIADOS POR INFLUÊNCIAS DE**

***DECLIVIDADE, SOLOS, AÇÕES ANTRÓPICAS E OUTROS NO ENTORNO
DA PCH CACHOEIRA DA PROVIDÊNCIA, RIO CASCA, MUNICÍPIO DE
PEDRA DA ANTA, MG***

***5.6 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO DA SUB BACIA DO RIO
ENGANADO, RONDÔNIA***

5.7 ARENIZAÇÃO E VOÇOROCAMENTO EM PARANAVAI, PR

***5.8 EXEMPLO PONTUAL DE EROSÃO PRÉ-EXISTENTE NA REGIÃO DA
PCH SANTO ANTONIO, RIO GRANDE, MUNICÍPIO DE BOM JARDIM, RJ***

6 PREVENÇÃO E CONTROLE DE EROSÃO EM PCH's

6.1 MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS

6.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

7 OBRAS PARA CONTENÇÃO DE EROSÕES

7.1 COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE FEIÇÕES

7.2 CANAIS DE DRENAGEM

7.3 DISSIPADORES DE ENERGIA HIDRÁULICA

7.4 COBERTURA MATERIAL E SINTÉTICA

7.5 RECOMPOSIÇÃO DE TALUDES

7.6 DIQUES DE TERRA E DE SACOS DE AREIA

7.7 GABIÕES

8 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda erosões em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), um empreendimento energético-ambiental em crescente grau de implantação no Brasil.

Pequenas Centrais Hidrelétricas implicam gestão de inúmeros impactos ambientais, sendo a erosão apenas um dentre muitos, por vezes bastante destacado.

A erosão, uma circunstância negativa característica do meio físico, pode estar presente como impacto ambiental tanto durante a fase de construção, quanto durante a fase de operação da PCH.

Deve-se procurar entender como se planejam as PCH's para que apresentem menor probabilidade de erosão, assim como se propor o que pode ser feito para sua remediação, uma vez estando ela já instalada.

O objetivo primordial do trabalho se vincula às possíveis investigações que possam ser eficazmente realizadas durante as fases de projeto dos empreendimentos, de maneira que as escolhas dos locais propiciem menores possibilidades de erosão.

Adicionalmente, olha-se também o “depois” do início das obras ou da operação das PCH's, construindo-se atenuantes para as eventuais erosões que possam surgir.

As investigações se inserem em diversos universos das ciências da natureza (geologia, pedologia, hidrologia, botânica), das ciências da engenharia (mecânica dos solos, geodésia, topografia, grandes construções) e das ciências sociais (economia, sociologia, geografia humana). Os diferentes usos dos focos cognitivos trazem, por outro lado, o desafio epistemológico de melhor integração entre os mesmos.

O trabalho é formado a partir de planos gerais para análises particulares, olhando inicialmente a importância e a estruturação das PCH's, com ênfase na legislação ambiental relacionada. Em seguida, visualiza a avaliação dos impactos ambientais, para posteriormente considerar apenas um dos possíveis impactos, a erosão.

O fenômeno da erosão, amplo e com reflexos multidisciplinares, inclui casos de erosões tanto em PCH's, quanto em outros sítios, de modo a se aquilatar o significado da análise precoce e ampla. A questão da prevenção e controle surge em seguida, com destaque aos estudos preliminares, para se finalizar com possíveis remediações físicas aplicáveis a erosões já ocorridas.

O trabalho se baseia em pesquisas primárias junto a algumas PCH's em construção no Sudeste e em pesquisas secundárias em bibliotecas de São Paulo e na *internet*.

2 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

2.1 CONCEITUAÇÃO

Nas hidrelétricas a geração de eletricidade constitui-se em alternativa de obtenção de energia elétrica a partir do aproveitamento do potencial hidráulico de um determinado trecho de rio, usualmente assegurado através da construção de uma barragem e da conseqüente formação de um reservatório. É considerada por muitos como sendo uma fonte de energia renovável, limpa, permanente e não produtora de gases de efeito estufa (GEE).

Reis (2008) coloca que a geração de eletricidade nas hidrelétricas se dá pela transformação de energia hidráulica em mecânica, através do uso de turbinas hidráulicas e pela transformação de energia mecânica em elétrica, por meio do acionamento de geradores elétricos pelas turbinas. Dentro desse princípio, a água aciona um conjunto turbina hidráulica – gerador elétrico, pelo qual a turbina hidráulica efetua a transformação da energia hidráulica em mecânica e o gerador elétrico tem seu rotor acionado por acoplamento mecânico com a turbina e transforma energia mecânica em elétrica. (anotação de aula)¹

Centrais hidrelétricas, que se constituem na estruturação energética predominante no Brasil, podem ser de variados tamanhos.

Segundo Reis (2008) do ponto de vista da potência as centrais podem ser: (i) micro, com potência (P) abaixo de 100 KW (quilowatts); (ii) mini, com P entre 100 e 1.000 KW; (iii) pequena, com P entre 1.000 e 30.000 KW; (iv) média, com P entre 30.000 e 100.000 KW; (v) grande, com P maior que 100.000 KW. (anotação de aula)²

Em termos legais, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) caracterizam-se pela potência máxima instalada entre 10 MW e 30 MW e também pelo reservatório com área igual ou inferior a 300 hectares (3km²), de acordo com a Resolução nº 394 de 4 de dezembro de 1998 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), (ENERGISA, 2010).

As características principais das Grandes Usinas Hidrelétricas são: Oferta de reserva girante para situações de emergência ocorridas no sistema, assim como o fornecimento de condições para se suprir o pico da demanda; Apresentação de elevadas economias de escala, em particular para instalações com extensos reservatórios, uma vez que

¹ Aula de Reis, Lineu B., Geração Hidrelétrica, do Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético, IEE/USP, em 2008.

² Ibid.

o custo marginal de capacidade adicional de geração tende a ser irrisório; Suprimento de energia firme.

Por outro lado, Reis (2008) coloca que as PCH's possuem rápida entrada no sistema de potência e flexibilidade para mudar com velocidade a quantidade de energia fornecida, devido às mudanças na demanda: usinas com essas características são especialmente úteis para se aumentar o rendimento e melhorar o desempenho de um sistema elétrico interligado. Adicionalmente, as PCH's contam com: Apresentação de baixos custos de operação e manutenção, bem como de produção de energia; Inserção ambiental mais suave; Instalações possivelmente com a predominância de equipamentos nacionais; Geração de tributos para os municípios envolvidos. (anotação de aula)³

Atualmente a hidroeletricidade é a fonte de energia que mais contribui para o suprimento de energia elétrica no Brasil. Cerca de 83% da energia elétrica gerada no Brasil provem deste tipo de origem. No mundo, segundo levantamento da Agência Internacional de Energia (IEA, 2007), a geração hidrelétrica representa 16% da eletricidade total gerada (ENERGISA, 2010).

Essa situação privilegiada do Brasil se deve às próprias condições naturais do país, onde existe expressivo potencial hidráulico, assim como à capacidade tecnológica localmente desenvolvida e direcionada à obtenção do melhor aproveitamento dos rios. Tal circunstância se vincula ao fato de que, para se desenvolver o potencial hidrelétrico, são necessários rios com vazões permanentes, com pouca variação anual, quedas naturais e geologia adequada.

Em diversas regiões do Brasil esta condições estão presentes, diferenciando o país na capacidade desse tipo de geração elétrica.

2.2 PANORAMA DAS PCH's NO BRASIL

Segundo Energisa (2010) o aproveitamento de rios e quedas d'água no Brasil teve início no final do século XIX com a construção da Usina de Marmelos no rio Paraibuna, município de Juiz de Fora, MG, em 1889, com diferença de apenas oito anos após evento similar na Grã-Bretanha. Em 1908 foi a vez dos engenheiros da Cia. Força e Luz Cataguases – Leopoldina, atual ENERGISA MINAS GERAIS, inaugurarem sua primeira hidrelétrica: a

³ Ibid., p. 14

Usina Maurício, localizada no rio Novo, município de Leopoldina, MG com potência instalada de 800 KW e queda bruta de 20 metros. Até hoje a Usina Maurício é mantida com seus equipamentos originais e estruturas.

Energisa (2010) assinala que atualmente existem no Brasil muitas usinas hidrelétricas em funcionamento, de variados portes. Algumas são muito grandes, como por exemplo a usina de Itaipu no rio Paraná, a segunda maior em capacidade instalada no mundo, com 14.000 MW e responsável por gerar a cada ano aproximadamente 19,3% da energia do país. Outras são, por exemplo, micro-usinas que aproveitam a queda de um ribeirão, em localidades diversas do Brasil, gerando não mais do que o suficiente para se abastecer uma pequena propriedade rural.

No caso das PCH's não são utilizados grandes reservatórios para a armazenagem de expressivos volumes de água. As usinas operam a fio d'água, isto é, permitem a passagem contínua de toda a água, resultando em uma capacidade nominal mais estável. As PCH's aproveitam a força da correnteza e a vazão natural dos rios, sem que seja necessário se estocar a água: requerem apenas uma pequena área inundável, muitas vezes equivalente ao nível das cheias do rio. A área do reservatório é delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos. (ENERGISA, 2010).

A arquitetura e a configuração das máquinas variam, dependendo das circunstâncias físicas do local inventariado.

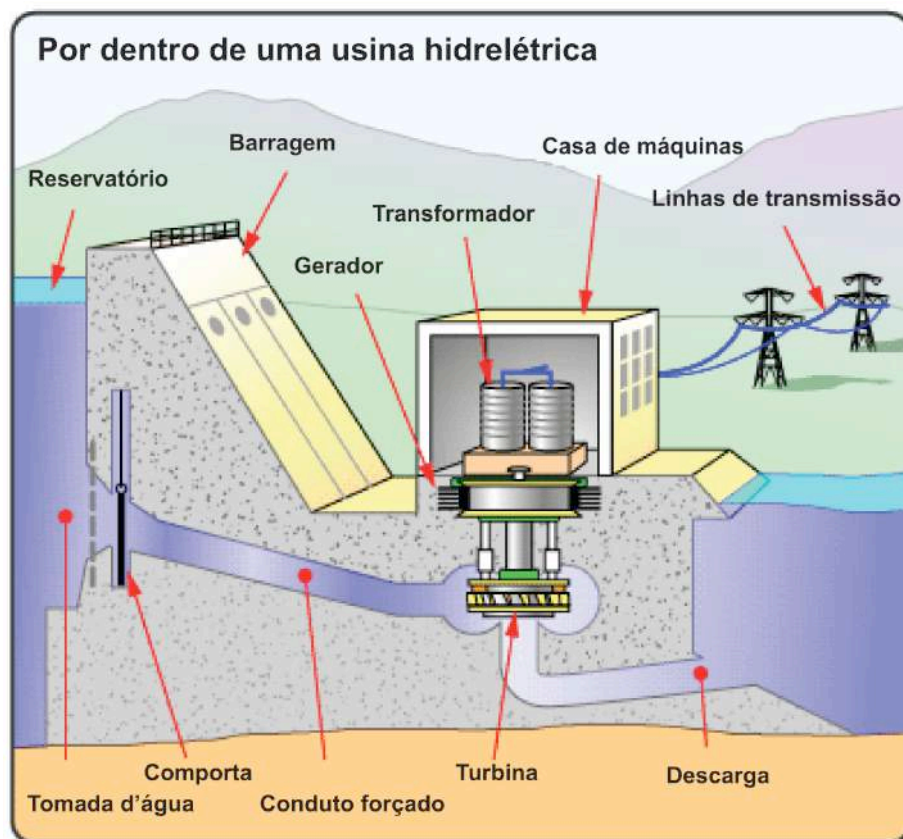


Figura 1 – Visão esquemática de uma central hidroelétrica
Fonte: copyright 2001 How Stuff Works

A título de exemplo, a seguir estão algumas características essenciais de duas PCH's em processo de implantação:

PCH ANTONINHA da ELETROSUL

Localizada no rio Lava Tudo, na divisa dos municípios de Lages e São Joaquim, SC. Contará com duas unidades geradoras, com barragem de 30 m de altura, potência instalada de 13 MW e energia assegurada de 7,87 MW. Implantação prevista até novembro de 2011, segundo (ELETROSUL, 2010).

PCH SANTO ANTONIO da ENERGISA SOLUÇÕES

Localizada no Rio Grande, município de Bom Jardim, RJ. Serão duas unidades geradoras com turbinas Kaplan, com barragem de 44 m de altura e comprimento de 258 m, reservatório com 1,08 km² e energia assegurada de 8 MW, de acordo com (ENERGISA, 2010).



Figura 2 – Plano geral informatizado da PCH Santo Antônio, Bom Jardim, RJ
Fonte: <http://www.energisa.com.br/Geração>. Acesso em 21 março 2010.



Figura 3 – Fotografia da construção da PCH Santo Antônio, Bom Jardim, RJ, vendo-se o rio Grande e relevo
Fonte: SCHREUDERS, Leslie Charles, 2009.

2.3 LEGISLAÇÃO

No Brasil o arcabouço institucional e legal vem sendo aperfeiçoado, podendo-se citar as exigências e ações relacionadas com a inserção ambiental dos projetos hidrelétricos e a crescente importância dos Comitês de Bacias Hidrográficas e da Agência Nacional de Águas.

Bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS e atuação do SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, de acordo com a Lei nº 9.433, de janeiro de 1997 e de acordo com os trabalhos apresentados no Encontro Estadual do CBHCOUA (2007).

Bacia hidrográfica é também colocada como a área de superfície do solo capaz de coletar a água das precipitações meteorológicas e conduzi-la ao curso d'água.

As PCH's, ainda que mais simples, passam por todas as etapas do processo de licenciamento ambiental (EIA-RIMA, emissão de Licença Prévia, de Licença de Instalação e de Licença de Operação com programas de controle e mitigação ambiental)

Para efeito de licenciamento ambiental por parte das autoridades estaduais e conforme o caso, das autoridades federais, são demandados vários tipos de estudos detalhados que avaliam os impactos e permitem análises técnicas alternativas, até a escolha final do local e a formatação de funcionamento.

Grande estímulo foi dado à implantação de PCH's no Brasil através do PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA – PROINFA contido na Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002, constituindo-se o PROINFA no maior programa brasileiro de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica e sendo gerenciado pela ELETROBRÁS.

Em sua primeira fase o programa prevê a operação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada. Esta potência contratada está dividida em 1.191,24 MW provenientes de 63 PCH's, 1.422,92 MW a serem fornecidos por 54 usinas eólicas e 685,24 MW a serem ofertados por 27 usinas a base de biomassa, de acordo com (ELETROBRÁS, 2010).

No Brasil, a gestão ambiental é administrada por instituições e por um sistema legal consolidado, envolvendo padrões ambientais e de emissão, regras de zoneamento e uso do solo, licenças e penalidades, de acordo com (GARTNER, 2001).

O órgão federal de gestão ambiental é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que formula, coordena, executa e faz executar a política nacional do meio ambiente e da preservação, conservação e uso racional, fiscalização, controle e fomento dos recursos naturais renováveis. O Ibama também age como secretaria executiva do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) e pode propor o estabelecimento de normas e padrões gerais relativos à preservação e conservação do meio ambiente, visando a assegurar o bem estar das populações e compatibilizar seu desenvolvimento sócio-econômico com a utilização racional dos recursos naturais, segundo (GARTNER, 2001).

Essa estrutura liderada pelo Ibama é descentralizada e os órgãos estaduais são os responsáveis pela aplicação da legislação federal (GARTNER, 2001). Os órgãos estaduais têm competência residual para licenciamento em obras situadas em seus territórios.

A legislação federal brasileira básica sobre o meio ambiente é a seguinte de acordo com ABREU FILHO (2010):

- . Artigo 225 da Constituição Federal, de 5 de outubro de 1988.
- . Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 que decreta o Código de Águas.
- . Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962 que dispõe sobre a Política Nacional de Energia Nuclear, cria a Comissão Nacional de Energia Nuclear, e dá outras providências.
- . Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 que institui o novo Código Florestal.
- . Lei nº 5.197, de 3 de janeiro de 1967 que dispõe sobre a proteção à fauna, e dá outras providências.
- . Decreto – lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 que dá nova redação ao Decreto – lei nº 1985 de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas).
- . Decreto – lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975 que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais.
- . Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, e dá outras providências.
- . Decreto – lei nº 1.809, de 7 de outubro de 1980 que institui o Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro, e dá outras providências.
- . Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- . Lei nº 7.679, de 23 de novembro de 1988 que dispõe sobre a proibição da pesca de espécies em períodos de reprodução, e dá outras providências.
- . Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989 que altera o Decreto – lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967, cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula, e dá outras providências.
- . Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991 que dispõe sobre a política agrícola.
- . Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores, e dá outras providências.
- . Resolução do CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 que cria os mecanismos de licenciamento ambiental.

- . Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
- . Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 que regulamenta o artigo 225, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, e dá outras providências.
- . Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana, e dá outras providências.
- . Lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003 que estabelece normas para o plantio e comercialização da produção de soja geneticamente modificada da safra de 2004, e dá outras providências.
- . Lei nº 11.092, de 12 de janeiro de 2005 que estabelece normas para o plantio e comercialização da produção de soja geneticamente modificada da safra de 2005, altera a lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003, e dá outras providências.
- . Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005 que estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados, e dá outras providências.
- . Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006 que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, e dá outras providências.
- . Decreto nº 5.790, de 25 de maio de 2006 que dispõe sobre o Conselho das Cidades, e dá outras providências.
- . Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008 que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências.

Para a concessão de licenciamento ambiental são requeridos normalmente Estudos Ambientais, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco, conforme a Resolução Conama nº 237/97. A mesma resolução, em seu Art. 3º, define que o licenciamento ambiental das atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio, que se refere a projetos de grande porte, de tipo industrial, agrícola ou de infra estrutura, dependerá de prévio estudo de impacto ambiental (EIA) e de respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (RIMA) (GARTNER, 2001).

A descrição sintética desses instrumentos de regulamentação está exposta a seguir:

O **Licenciamento Ambiental** é procedimento administrativo, pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades que utilizem recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso. Compreende as licenças prévia (LP), de instalação (LI) e de operação (LO).

A **Licença Prévia (LP)** é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação. O prazo de validade da Licença Prévia deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 (cinco) anos.

A **Licença de Instalação (LI)** autoriza a instalação do empreendimento ou atividade, de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante. O prazo de validade da Licença de Instalação deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 6 (seis) anos.

A **Licença de Operação (LO)** autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação. O prazo de validade da Licença de Operação deverá considerar os planos de controle ambiental e será de, no mínimo, 4 (quatro) anos e, no máximo, 10 (dez) anos.

Os **Estudos Ambientais** são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

O **Estudo de Impacto Ambiental (EIA)** é um relatório técnico elaborado por equipe multidisciplinar, profissional e tecnicamente habilitada para analisar os aspectos físicos, biológicos, e sócio-econômicos do ambiente, que apresenta: (i) Informações gerais do empreendimento; (ii) Caracterização do empreendimento; (iii) Área de influência do empreendimento; (iv) Diagnóstico ambiental da área de influência; (v) Análise dos impactos do empreendimento e de suas alternativas; (vi) Definição de medidas mitigadoras dos impactos negativos; (vii) Definição do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos e das medidas mitigadoras.

O **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)** é um relatório-resumo dos estudos do EIA, escrito em linguagem objetiva e acessível a não-técnicos, contendo: (i) Objetivos e justificativas do empreendimento; (ii) Descrição do empreendimento e das alternativas locais e tecnológicas existentes; (iii) Síntese dos resultados do diagnóstico ambiental; (iv) Descrição dos impactos prováveis; (v) Caracterização da qualidade ambiental futura; (vi) Efeitos esperados das medidas mitigadoras; (vii) Programa de acompanhamento e monitoramento; (viii) Conclusões e recomendação da alternativa mais favorável.

3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PROJETOS

Em análise relacionada a bancos de desenvolvimento, Gartner (2001, p.93) menciona que

O confronto da escassez de recursos de capital com as múltiplas oportunidades de investimentos resultou na criação de um conjunto de técnicas dirigidas ao estudo de viabilidade dos empreendimentos, reunidas no conceito de análise de projetos. Essa ênfase da análise de projetos, baseada na busca pela eficiência da aplicação do capital, é que tem sustentado o domínio da análise de custo-benefício no rol de técnicas que apuram a viabilidade dos empreendimentos.

Nos países desenvolvidos, caracterizados pela grande disponibilidade de capital, verificou-se que outro tipo de recurso tornou-se escasso: os recursos naturais. Usualmente, esse tipo de recurso é extraído da natureza sem que lhe seja dado algo em troca, a não ser a própria poluição, gerada pelos processos de extração, transformação e descarte final. Essa foi uma das conclusões da Conferência de Estocolmo de 1972, indicando o aumento do interesse público pelos problemas ambientais.

Visando a adequar a análise de projetos a essa nova realidade, surgiu a avaliação ambiental (AA) que, adicionada aos estudos econômicos e técnicos tradicionais, representa um importante instrumento para assegurar a viabilidade de longo prazo dos empreendimentos, pois sua utilização pode evitar danos de alto custo, tanto para o meio ambiente, quanto para a sociedade e a economia.

A avaliação ambiental foi regulamentada, inicialmente, nos Estados Unidos, em 1969, por meio do *National Environmental Policy Act* (NEPA). Outros países desenvolvidos e em desenvolvimento foram-se integrando nessa questão, e maior número de métodos e técnicas de avaliação ambiental têm sido desenvolvidos e aprimorados.

3.1 A AVALIAÇÃO AMBIENTAL E O CICLO DO PROJETO

Ainda no estudo de projetos para bancos de desenvolvimento, Gartner (2001, p.95) coloca que “A avaliação ambiental de projetos deve ser integrada ao ciclo natural de planejamento e operacionalização dos empreendimentos. Esta é uma das conclusões da

pesquisa feita junto aos bancos e agências multilaterais de financiamento do desenvolvimento”.

A integração da variável ambiental ao ciclo do projeto é de grande importância, uma vez que se constitui em mecanismo de apresentação clara e sistemática de informações ambientais, sociais e econômicas aos decisores do empreendimento (GARTNER, 2001).

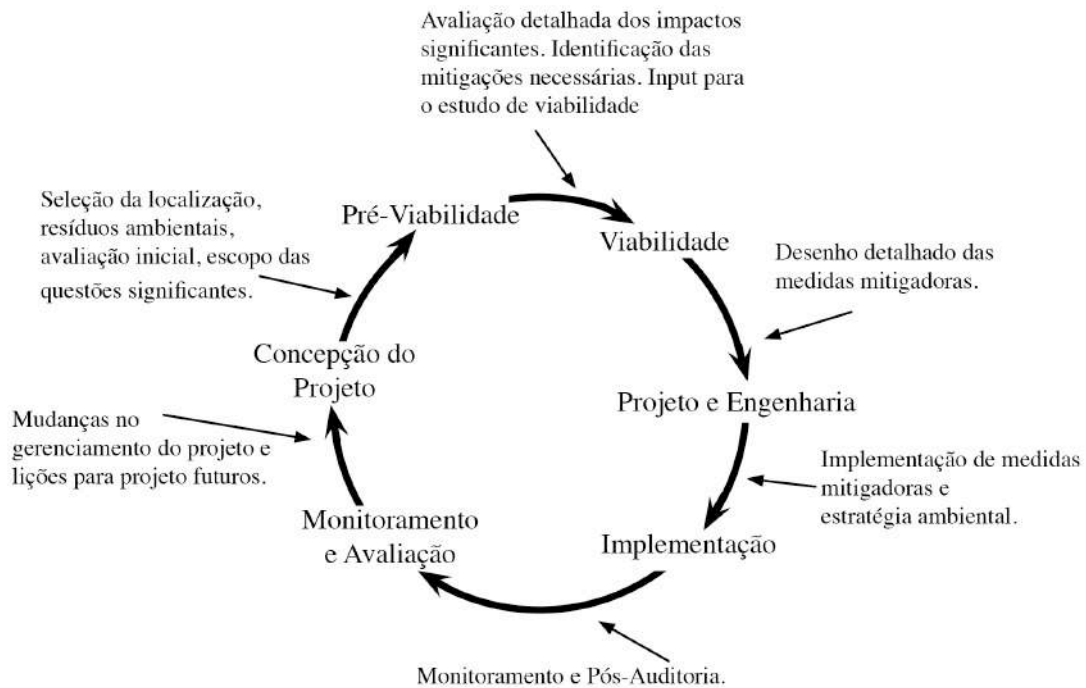


Figura 4 – A avaliação ambiental e o ciclo de projeto. Adaptado de Roe et al. 1995.
Fonte: GARTNER, Ivan Ricardo, 2001.

Conforme Gartner (2001, p.95), “Uma forma complementar de se analisar a integração da avaliação ambiental ao ciclo do projeto e, mais direcionada aos objetivos propostos neste trabalho, é sugerida pelo Banco de Desenvolvimento Asiático (BDAS), conforme a figura.”

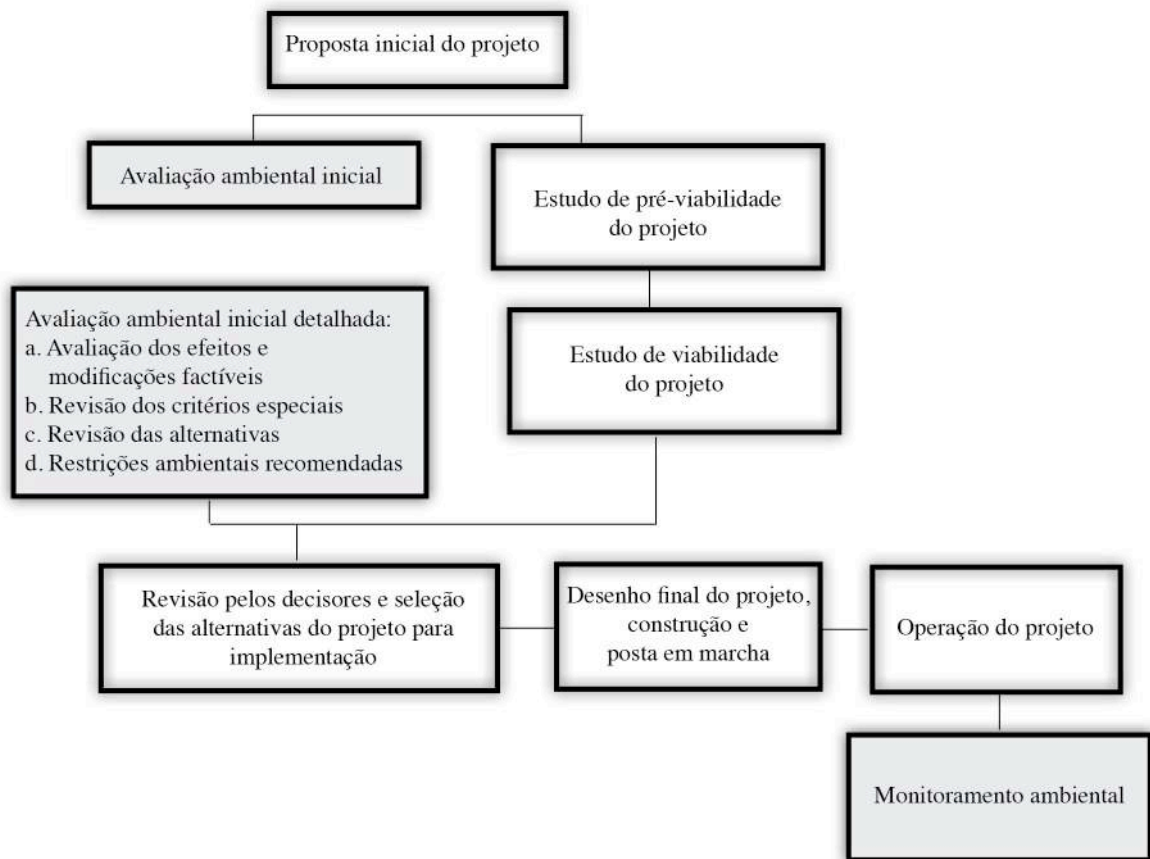


Figura 5 – Integração do processo de avaliação ambiental no planejamento e implementação do projeto.
Asian Development Bank, 1986.
Fonte: GARTNER, Ivan Ricardo, 2001.

“A avaliação da variável ambiental, destacada na Figura 5, deve ser conduzida paralelamente às demais avaliações técnicas, financeiras e institucionais (UNEP, 1992b, p.3). Uma vez que é usual que a avaliação ambiental esteja atrelada às exigências legais, é compreensível que ela seja conduzida por equipes multidisciplinares e independentes da empresa, para garantir a isenção de tendenciosidades”.

Duas das variáveis ambientais são impactadas na condução de projetos: as ecológicas e as sociais, com os reflexos econômicos integrados a estas últimas (GARTNER, 2001).

Esses dois grupos de variáveis sofrem análise conjunta na metodologia conhecida como avaliação de impactos ambientais (AIA) Magrini (1996, p.87).

Por outro lado, segundo Roe et al. (1995) existem técnicas para a avaliação de impactos específicos, como a avaliação de impactos sociais (AIS) e a avaliação de impactos na saúde (AISA). A essas técnicas, os autores ainda acrescentaram a avaliação de risco ambiental (ARA), a avaliação ambiental estratégica (AAE) e a avaliação de impactos cumulativos (AIC).

3.2 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

De acordo com Magrini (1996, p.88)

A avaliação de impactos ambientais corresponde aos estudos feitos para identificar, prever e interpretar, assim como prevenir, as consequências ou efeitos ambientais que determinadas ações, planos, programas ou projetos podem causar à saúde e ao bem-estar humano (Magrini, 1996, p.88). É um método bastante difundido em muitos países, sendo conduzido por equipes multidisciplinares.

Bursztyn (1994, p.45) afirma que a avaliação de impactos ambientais de projetos se constitui em *“instrumento de planejamento que permite associar as preocupações ambientais às estratégias de desenvolvimento social e econômico, e constitui-se num importante meio de aplicação de uma política preventiva numa perspectiva de curto, médio e longo prazos”*. Esta afirmação refere-se aos projetos de desenvolvimento econômico, que têm conotação pública. No entanto, tal afirmação permite uma adaptação aos projetos da iniciativa privada, visto que a avaliação de impactos ambientais formaliza a relação entre as questões ambientais e as estratégias empresariais.

A integração da avaliação de impactos ambientais deve, portanto, ser feita desde as fases iniciais do planejamento de projetos (GARTNER, 2001).

O conhecimento dos mecanismos legais necessários à eliminação/mitigação dos impactos ambientais e retratado nas páginas anteriores, reveste-se de importância para seu adequado processamento.

4 EROSÃO

4.1 DEFINIÇÃO

Este trabalho lida apenas com um dos inúmeros impactos ambientais que podem vir a estar presentes em PCH's e que se constitui na erosão ao redor do empreendimento. Isto é, o presente trabalho lida com a erosão nos reservatórios e nas bacias hidrográficas onde as PCH's estejam inseridas.

Todavia, deve-se mencionar outras duas circunstâncias ligadas ao conceito de erosão que não são aqui analisadas:

- A erosão que pode ocorrer nos equipamentos construídos para a PCH, tais como tomadas d'água, turbinas, canais de fuga e vertedouros.
- O assoreamento dos reservatórios e bacias hidrográficas ocasionado pelos processos erosivos. Tal acúmulo de sedimentos pode reduzir a geração de energia da PCH e até chegar a comprometer sua vida útil e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento do entorno pela diminuição de oferta de energia elétrica. Todavia o trabalho menciona este fenômeno no item **6.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO** à página 65, em função da importância dos mapas temáticos.

Erosão se constitui no desgaste e/ou arrastamento da superfície da Terra pela ação mecânica e química da água corrente, vento, gelo, intemperismo, transporte ou outros agentes geológicos (HOUAISS; VILLAR, 2001).

A erosão se define como um processo inerente à própria natureza, mas drasticamente amplificável pela ação humana, especialmente pela eliminação de florestas, pela agricultura e expansão urbana.

Em seu estudo de erosão Conciani (2008, p.31 e 32) menciona que

Para Almeida Filho (1998), a erosão constitui um processo natural no desenvolvimento da paisagem. A atuação lenta e contínua dos processos erosivos modifica, normalmente após longos períodos de tempo, a forma do relevo. Com a interferência do ser humano esse processo natural pode ser atenuado no tempo ou, como é mais frequente, ter aumentada sua intensidade. Esse processo, que sofre a interferência do homem, é denominado de erosão acelerada ou antrópica.

Seixas (1984) descreve a erosão do solo como sendo um processo de desagregação e arrastamento acelerado de componentes do mesmo, causados pela ação da água e dos ventos, constatando a interveniência de forças ativas como chuvas, ondas, vento,

topografia e propriedades físico-químicas do solo. Em assim sendo, a erosão é a realização de um trabalho, e não o produto desse trabalho (GALETI, 1979).

Para Hideo (1998), o processo erosivo revela uma interconexão com outros fatores de ordem natural e humana, influenciando e sendo influenciado por eles à medida que altera, em cadeia, o comportamento de outros processos da natureza e da sociedade, como o balanço hídrico do solo, o ressecamento dos mananciais, alterações pluviométricas, produtividade agrícola, etc. Sendo um processo do meio físico, mas tendo origem no fator humano ou sendo acelerado por ele, o processo erosivo e suas derivações se inscrevem numa estrutura denominada de estrutura físico-antrópica.

Coelho Neto (1998), relata que a erosão nas regiões tropicais pode ser concebida como um fenômeno de natureza fundamentalmente hidrológica, sendo desencadeado pela ação de escoamentos superficiais laminar e/ou canalizado e subsuperficiais (em dutos e túneis). Trata-se de um produto de comportamento das águas, frente à resistência dos materiais disponíveis nos domínios de encostas e margens fluviais.

Erosão acelerada - Em geral devida à ação antrópica, sendo o desmatamento uma das causas principais.

Erosão diferencial - Em função da diferente resistência dos materiais à ação dos agentes externos.

Erosão em lençol ou laminar - Devida ao escoamento difuso das águas. Processa-se em sulcos, que podem originar ravinas e boçorocas ou voçorocas.

Erosão por salpico - Provocada pelas gotas de chuva, quebrando os agregados e arremessando partículas.

Erosão fluvial - Executada pelos rios dentro do canal fluvial.

Erosão remontante - É a fluvial da foz às nascentes.

Essas diversas erosões podem ocorrer simultaneamente.

Conciani (2008, p.33) coloca o processo de erosão em duas fases: uma que constitui a retirada (*detachment*) de sedimentos e outra que é o transporte de material. Quando não há energia suficiente para continuar o transporte, esse material é sedimentado. Os mecanismos desses processos erosivos ocorrem a partir da fase de destruição e transporte dos materiais que não resistem a tais forças.

O processo erosivo se inicia com a água caindo em um solo em grande quantidade e o mesmo não conseguindo absorvê-la, começa a provocar o escoamento superficial. À medida que a velocidade aumenta, são produzidos sulcos no solo, começando a surgir ravinas.

Os aprofundamentos desses sulcos, devido à intensidade do escoamento superficial e subsuperficial, ocasionam a formação de voçorocas, mais profundas e largas.

Stipp (2006) define voçoroca como a escavação ou rasgão do solo ou da rocha decomposta, ocasionada pela erosão do lençol de escoamento superficial.

As voçorocas podem ser distinguidas dos sulcos por uma clara definição de profundidade e quando o processo erosivo começa a se alargar, chegando a atingir as proximidades do lençol freático. Nessa circunstância podem ser observados taludes laterais às vezes quase verticais, bastante instáveis, onde frequentemente ocorre o deslizamento dos mesmos, provocando um soterramento do fundo anterior da voçoroca, desviando ou acumulando o fluxo de água.

A voçoroca é definida como o tipo de erosão que pode ocorrer de duas formas: através da evolução das ravinas, ao alargamento e aprofundamento dos mesmos e através do colapso do teto, em áreas onde o escoamento subsuperficial provoca formação de dutos em subsuperfície devido à dissolução de minerais e que tende a criar espaços vazios dentro do solo (STIPP, 2006).

O Glossário de Ciência dos Solos define as voçorocas como possuindo mais de 0,5m de largura e de profundidade, podendo chegar a mais de 30m de comprimento.



Figura 6 – Fotografia de voçoroca que já atingiu o nível de base
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

Além das voçorocas, situação grave de erosões, vale mencionar também a desertificação, uma patologia severa das paisagens.

Silva (2002) menciona a definição de desertificação: “Fenômeno de transformação de áreas eminentemente vegetadas em solos inférteis devido a ações antrópicas, como maior

uso e exploração da terra. Pode ocorrer também por processos naturais, devido ao ressecamento climático, uma diminuição de umidade por longos períodos de tempo”.

O Decreto 2741 de 20 de agosto de 1998 define desertificação como sendo a degradação de terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultantes de vários fatores, indicando as variações climáticas e as atividades humanas.

Finalmente Stipp (2006) menciona a arenização, processo de formação de areais, provocado pelo uso inadequado da terra e visto como deficiência da cobertura vegetal devido à intensa mobilidade dos sedimentos por ação das águas e ventos.

Ainda no que diz respeito à questão conceitual, dois termos têm sido empregados com frequência, indicando propriedades relativas à erosão: erodibilidade e erosividade. A erodibilidade é uma propriedade do solo que diz respeito ao seu potencial de erosão ou susceptibilidade à erosão. A erosividade é relativa ao potencial erosivo das águas. Estes dois termos são complementares, porém não necessariamente estão atrelados.

A propósito dos conceitos de erodibilidade e erosividade Ab'Saber (2006) coloca que

Existem dois conceitos dotados de grande importância para as ciências da Terra. Referimo-nos aos termos erodibilidade (aquilo que é frágil por princípio) e erosividade (processos que agridem espaços que possuam fragilidades intrínsecas). A erosividade acentua a degradação de setores de um território sujeitos localmente a uma marcante erodibilidade. Nesse sentido, é preciso lembrar que, no caso, estamos tratando de problemas da fisiologia da paisagem em diferentes ecossistemas e em face de impensadas ações antrópicas regionais. O estudo dessa problemática se revela de grande importância no contexto do Brasil, onde a marcha intensa dos ciclos econômicos agrários, envolvendo subespaços frágeis, acarretou grandes ferimentos pontuais ou degradações regionais de solos em diversas regiões do país.

Em síntese, a erosão é um processo que se traduz na desagregação, transporte e deposição de material do solo, subsolo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos ou geleiras. A erosão inicia-se na parte superficial, aprofundando-se até encontrar a rocha viva. Portanto, o processo erosivo provoca o rebaixamento dos horizontes.

4.2 O PROCESSO EROSIVO

É necessário conhecer-se melhor o universo do processo erosivo para se venha a lidar adequadamente com suas causas e consequências.

A esse respeito Conciani (2008) pondera que

O conhecimento da mecânica do processo erosivo é um passo importante na busca de soluções preventivas e mitigadoras deste problema. Ainda que diversas questões relativas ao processo erosivo não estejam bem estabelecidas, é importante que sejam discutidas para que o seu conhecimento avance. Somente pelo pleno conhecimento dos mecanismos do processo erosivo será possível controlar os fatores que o afetam. A erosão é um processo que ocorre em duas fases: uma, que constitui o destacamento das partículas e a outra, o transporte desses materiais efetuado pelos agentes erosivos. Entretanto, quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte do material destacado, uma terceira fase acontece, que é a deposição do material erodido.

Alcântara e Vilar (1998, p.33) colocam que

No âmbito da Mecânica dos Solos, a erodibilidade dos solos é função de sua resistência ao cisalhamento.

A erodibilidade do solo é tanto menor quanto maior for a resistência que o solo oferece à ação erosiva. A desagregação se dá por impacto das gotas de água com o solo; por impacto de partículas em suspensão eólica ou, por força de arraste das geleiras, enxurradas, marés e rios.

A erosão hídrica é sem dúvida, no caso brasileiro, o tipo mais importante de erosão. Logo, este tipo de erosão será tratado com mais detalhes no seu aspecto físico. As partículas que são desprendidas em decorrência do impacto das gotas de chuva com o solo são lançadas pela ação do salpico. O principal agente de transporte das partículas destacadas é o escoamento superficial.

Guerra (1999, p. 33 e 34) manifesta que

A ação das gotas de chuva no solo provoca a formação de crostas na superfície, dificultando a infiltração da água no solo e aumentando a enxurrada. Estas crostas também agem diminuindo a ação erosiva das gotas de chuva que encontrarão uma superfície mais resistente à energia cinética. Desta forma, o sistema erosivo muda de forma, passando de elevada remoção e baixo transporte para baixa remoção e elevado transporte. Em alguns casos, esta crosta pode acontecer por ação de compactação do solo. Esta compactação se dá por pisoteio de animais, passagens de máquinas, etc.

Em geotecnia se entende que a erosão é a causada pela superação da resistência ao cisalhamento do solo. A resistência do solo é dada classicamente pela equação de Coulomb. Nesta equação a resistência do solo é caracterizada por duas componentes: a coesão e o ângulo de atrito.

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg } \theta$$

Onde:

τ (tau) = resistência ao cisalhamento (kPa)

c = coesão do solo (kPa)

σ (sigma) = tensão normal atuante na partícula (kPa)

θ (teta) = ângulo de atrito interno do solo

A coesão de um solo é dada por forças eletroquímicas de interação entre as partículas. Estas forças surgem devido à própria estrutura cristalina destas partículas. As argilas são basicamente tetra-silicatos de ferro e alumínio. A estrutura cristalina dos argilominerais forma “lâminas” em que as faces superior e inferior são eletronegativas e as laterais são eletropositivas. A interação destas forças elétricas em partículas tão pequenas como os argilominerais se sobrepõe às forças de massa. Vem daí a existência da coesão – uma força elétrica que promove a interação entre as partículas de solo.

Como a molécula de água é um dipolo positivo, também a água interage com as partículas de solo atenuando em parte as forças elétricas disponíveis nas partículas dos argilominerais. Por outro lado, a existência de água em pequenas quantidades e entre partículas tão pequenas leva à formação de meniscos capilares. Isto é, surge uma nova força de interação entre as partículas: a força de atração do menisco.

As forças eletroquímicas e as tensões capilares são as principais formadoras da parcela de coesão da resistência ao cisalhamento do solo. Como estas forças somente agem em solos argilosos, e a componente de atrito das areias depende da força peso da partícula – que é muito pequena – a resistência das argilas à erosão é maior que a das areias.

O ângulo de atrito tem sua influência acoplada à tensão devida ao peso próprio do terreno e ao seu histórico de tensões (razão de pré-adensamento). Estando o solo na superfície do terreno, a tensão devida ao peso próprio é nula (ou pode ser negligenciada) e conseqüentemente a componente devida ao ângulo de atrito é pouco influente. Contudo, alguns solos podem ter tensões residuais devida ao pré-adensamento. Neste caso, a tensão normal será maior que aquela devida ao peso próprio do terreno e, portanto a resistência do solo será maior. Note-se que a erosão é um processo principalmente de superfície. Assim, as tensões devida ao peso próprio são em geral de pequena magnitude.

Quadro 2 – Mecanismo básico de erosão
Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

O Quadro 2 mostrou a participação da coesão e do ângulo de atrito na resistência ao cisalhamento.

De acordo com Conciani (2008, p. 38)

Como este parâmetro é que governa a resistência à erosão, fica fácil identificar os solos naturalmente mais erodíveis. Os solos que têm coesão ou, coesão e atrito (coesivo-friccionais), são mais resistentes à erosão. Em outras palavras, as argilas e

siltes têm melhor desempenho na resistência ao processo erosivo. Por outro lado, as areias, cujo comportamento é dominado pelo ângulo de atrito, têm pouca resistência à erosão. As areias são solos cujo comportamento é governado pelo atrito (friccionais). Portanto, as areias, em geral, são mais erodíveis que as argilas e siltes. No caso dos pedregulhos a força que governa o seu comportamento é o peso. O peso de um pedregulho é grande em relação ao peso de uma gota de água e portanto, a força erosiva deve ser grande para remover um pedregulho.

4.3 FATORES QUE AFETAM A ERODIBILIDADE DOS SOLOS

A susceptibilidade do solo à erosão sofre influência pelas suas características físicas, hidrológicas, químicas, mineralógicas, biológicas e bioquímicas, através de fatores tais como textura, estrutura, tamanho dos torrões, cultivo do solo, formação de crostas, resistência ao cisalhamento, retenção de água, transmissão de água no solo, infiltração, permeabilidade, sistema solo-água, matéria orgânica e argilo-minerais, além das características do perfil (CONCIANI, 2006).

4.3.1 GRANULOMETRIA

Dependendo do ponto de vista utilizado, entende-se que textura e granulometria são dois conceitos distintos. Segundo os geotécnicos, a textura é uma característica que engloba a granulometria e a estrutura do solo, de acordo com Terzaghi e Peck (1948).

Já os pedólogos consideram que a textura é a expressão da granulometria.

Neste trabalho adota-se a terminologia geotécnica.

Ainda segundo Conciani (2006, p.50)

Na tentativa de quantificar e caracterizar a erodibilidade do solo, alguns pesquisadores buscam medidas indiretas e uma das propriedades mais estudadas é a granulometria. Os solos de comportamento granular, com partículas da ordem de siltes e areias finas e com pouca quantidade de argila, são os mais erodíveis.

A maior erodibilidade dos solos granulares finos (areias) está ligada à ausência da parcela de coesão na resistência ao cisalhamento. Os solos argilosos e siltosos têm a

parcela de coesão com valores, em geral, maiores que a energia da gota de água ou do vento. Assim, estes solos apresentam maior resistência ao processo erosivo.

Como a granulometria afeta diretamente a porosidade do solo, a permeabilidade do solo é dita como sendo diferente para cada uma das classes granulométricas. De uma forma geral isto é verdade. Entretanto, em solos estruturados a permeabilidade pode ser bastante diferente daquela esperada em função da classe granulométrica. A confirmação disto pode ser obtida por exemplo nos trabalhos de São Mateus e Vilar (1994). De qualquer forma deve-se ter em conta que os solos finos são em geral menos permeáveis e geram caudais maiores para o escoamento superficial. Isto agrava a situação da erosão superficial.

4.3.2 LIMITES DE ATTERBERG

A plasticidade se constitui em importante característica dos solos finos, com o termo plasticidade representando a capacidade que o solo tenha de vir a sofrer uma deformação irreversível, sem se romper ou se esfacelar.

Em linhas gerais, dependendo da quantidade de água, ou umidade, em seu conteúdo (relação entre a massa de água no solo e a massa das partículas de solo), o solo pode se apresentar em um dentre os seguintes estados físicos: líquido, plástico, semi-sólido e sólido.

Se a quantidade de água, ou teor de umidade, em um solo, originalmente classificável como estando no estado líquido, vier a ser gradualmente reduzida, o estado físico desse solo mudará de líquido para plástico e semi-sólido, concomitantemente a uma diminuição gradativa de volume, até que o estado sólido seja alcançado. Deve-se mencionar que os teores de umidade nos quais ocorrem as transições entre estados, diferem de um solo para outro.

Nos terrenos em geral, a maioria dos solos finos se apresenta no estado plástico, com a plasticidade se devendo à presença de um conteúdo significativo de partículas de argila (ou de material orgânico) no solo. Como os espaços vazios entre essas partículas é geralmente de tamanho muito pequeno, resulta que a água seja mantida com pressão negativa pelas tensões capilares. Desse fato decorre a presença de um grau de coesão entre as partículas, permitindo que o solo seja deformado ou moldado (CRAIG, 2007).

Em Mecânica do Solos estudam-se os limites de Atterberg (ver Quadro 3) que correlacionam a umidade dos solos com seus respectivos estados físicos.

De acordo com Conciani (2006, p.50-51)

Como existe uma relação entre plasticidade e resistência ao cisalhamento, espera-se encontrar uma correlação entre o índice de plasticidade e a susceptibilidade à erosão. Marques (1977) verificou diversos trabalhos que tentaram associar a erodibilidade dos solos com o índice de plasticidade. Entretanto Marques observou que os autores foram divergentes em suas conclusões. No entender de Marques as divergências devem ser atribuídas aos teores de sesqui-óxidos e de matéria orgânica presentes no solo. Estes fatores, de fato podem modificar a plasticidade e a resistência do solo e, portanto, a sua erodibilidade.

Alguns autores também buscaram correlacionar a erodibilidade de um solo com o limite de contração. Neste caso, segundo Marques (1977) observa-se uma relação inversamente proporcional. Quanto maior a susceptibilidade à erosão do solo, menor o seu limite de contração.

O cientista sueco Albert Atterberg definiu sete limites de consistência para a classificação de solos de granulometria fina.

Nas práticas correntes de Engenharia, utilizam-se cotidianamente apenas dois desses limites, os Limites de Liquidez e de Plasticidade e esporadicamente um terceiro limite, o Limite de Contração.

O Limite de Liquidez – LL representa o conteúdo de umidade que define a mudança do estado plástico (flexível) do solo para o estado viscoso.

O Limite de Plasticidade – LP representa o conteúdo de umidade que define a mudança do estado semi-sólido para o estado plástico.

O Limite de Contração – LC representa o conteúdo de umidade que define a mudança do estado sólido para o estado semi-sólido, isto é, quando o volume de solo não se reduz mais, apesar da redução do teor de umidade.

Quadro 3 – Limites de Atterberg
Fonte: REDDY, Krishna R., 2010.

4.3.3 SUCÇÃO

Outro fator que influencia a suscetibilidade do solo à erosão é a ocorrência de sucção. Conciani (2006, p. 50-52) assim expressa sua visão a respeito.

A sucção é um valor de pressão neutra negativo decorrente da insuficiência de água para saturar o solo. Isto é, a sucção é um potencial de água composto principalmente pelas parcelas matricial e osmótica. As outras parcelas como a gravitacional, de pressão, térmica e pneumática são negligenciáveis quando o solo não está saturado.

A sucção afeta os valores de tensão líquida agindo no solo. Ela também afeta a resistência ao cisalhamento. Apesar de alterar os valores do ângulo de atrito, é na coesão que as variações da sucção são mais sentidas. Sempre que a sucção aumentar, a resistência ao cisalhamento do solo também aumenta.

Bastos et al. (1998) constataram que os solos com valores de sucção mais elevados são mais susceptíveis à erosão. Estes dados foram obtidos em ensaios de Inderbitzen, com amostras de solos areno-siltosos e areno argilosos do Rio Grande do Sul. Apesar da resistência ao cisalhamento do solo crescer com o aumento da sucção, a entrada de água na estrutura do solo não saturado faz com que ele perca a parcela adicional de resistência de forma abrupta. Desta forma, quanto maior a sucção inicial, maior será a erodibilidade do solo. Isto é, quanto menor a umidade do solo no momento do início do umedecimento, maior será a sua susceptibilidade à erosão.

4.3.4 FORMA DE ENCOSTA

A configuração física do terreno também impacta a suscetibilidade do solo à erosão. O fenômeno físico de escoamento da água, carregamento de partículas e infiltrações mais ou menos profundas é influenciado pela morfologia da paisagem.

Conciani (2006, p. 52-53) pondera

A topografia tem sido considerada um fator importante na erodibilidade do solo. De uma forma geral acredita-se que quanto maior a declividade do terreno, maior o seu potencial de erosão. Além disto, o comprimento da encosta também é um fator importante. Quanto mais longa for a encosta, maiores velocidades a água atingirá e portanto, maior será o seu potencial de remoção de partículas.

Vilar (1990), mostrou que a erodibilidade de um solo é bastante afetada pela forma da encosta. Este pesquisador estudou o solo removido em quatro encostas: uma linear, uma convexa, uma côncava e uma última convexo-côncava. Estas encostas mostraram que a forma convexa é a mais crítica no que se refere ao destacamento das partículas. A encosta convexa é a que produz a maior carga sedimentométrica. Isto se deve à crescente velocidade da água em toda a extensão da encosta. Isto ocorre também na encosta linear, porém não com a mesma intensidade. Nas encostas côncavas a água inicia uma descida com velocidade crescente. Entretanto, a mudança de curvatura da encosta reduz a velocidade e a carga de sedimentos na água passa a crescer em taxas bem menores. Já na encosta convexo – côncava depois de retirar o solo com grande intensidade, a mudança de curvatura faz com que a água reduza sua velocidade e chega até a depositar material.

O comprimento da encosta é um fator importante na topografia do terreno. Quanto maior a encosta, maior a velocidade da água. Isto vale para as encostas lineares e convexas.

4.3.5 PEDOLOGIA

A Pedologia, derivada da Geologia, estuda a formação e a classificação dos solos. Suas estruturas guardam relação direta com a erosão. Conciani (2006, p. 53-56) registra

As características pedológicas de um solo têm muita influência sobre o seu potencial de erosão. Conciani et al. (1995) apresentam uma tabela de erodibilidade do solo em função de sua classe pedológica. Esta tabela foi desenvolvida pelo IPT em 1992 (Tabela 1).

Dentre os aspectos pedológicos pode-se citar dois que se destacam: a relação textural entre os horizontes e a questão textural. Neste caso, entenda-se textura como o conjunto granulometria e estrutura do solo. Como a granulometria já foi discutida anteriormente, faz-se aqui um breve relato dos aspectos estruturais.

Classe	Índice de erodibilidade	Classe pedológica
1	8,1 – 10,0	Cambissolos; Neossolos; Alissolos; Espodossolos; Neossolos quartzarênicos
2	6,1 – 8,0	Luvissolos crômicos
3	4,1 – 6,0	Argissolos; Latossolos vermelhos-amarelos de textura argilosa
4	2,1 – 4,0	Latossolos de textura média; Argilossos vermelhos escuros; Chernossolos
5	0,0 – 2,0	Gleissolos; Neossolos aluviais e/ou hidromórficos; Planossolos

Tabela 1 – Relação da erodibilidade com a classe pedológica dos solos, adaptado do IPT (1992).

Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

O arranjo estrutural pode trazer muita influência na erodibilidade de um solo. Conciani (1998) e Bastos et al. (1998) verificaram que as estruturas abertas dos solos colapsíveis tornam o solo potencialmente mais erodível. Nos trabalhos de Conciani (1998) observou-se que solos com teores de argila da ordem de 85% são facilmente erodíveis quando têm estruturas meta-estáveis que se destroem com a entrada de água, dando início ao processo de erosão.

Esta estrutura meta-estável é mantida por tensões capilares, por calços de areia e silte, por pontes de argila e outros fatores naturais como a cerosidade. Estas estruturas perdem a sua estabilidade em presença da água.

Além da estrutura, diferenças texturais entre dois horizontes de um solo podem proteger ou acelerar a erosão em uma dada região. Casos como o citado no início deste capítulo, onde o solo desenvolve uma crosta resistente na sua superfície, são exemplos de proteção do solo originada por fatores pedológicos. Entretanto, em taludes de corte para rodovias e outras ações antrópicas pode-se expor a camada mais frágil existente sob a superfície do terreno. Neste caso, a diferença textural irá agravar o potencial de erosão, pois além do endurecimento da crosta superficial,

ocorre também a redução de permeabilidade. Com a permeabilidade reduzida, o escoamento superficial aumenta e se concentra em alguns pontos. O contato deste caudal com o solo mais frágil produz uma retirada de solo maior que aquela prevista para aquele horizonte individualmente.

Um outro problema originado na questão da relação textural ocorre em solos que têm o horizonte “B” menos permeável que o horizonte “A”: quando esta diferença é muito grande a água que se infiltra no horizonte “A”, se acumula no topo do horizonte “B”. Esta água passa a escoar internamente ao solo gerando o arrancamento das partículas e dando origem a ravinas de grandes dimensões. Isto é comum em solos de caráter podzólicos.

4.3.6 PERMEABILIDADE

Todos os solos são materiais permeáveis, isto é, a água flui livremente através dos poros existentes entre as partículas sólidas. A pressão da água nos poros (também chamada de pressão neutra ou poropressão) é medida em relação à pressão atmosférica e o nível no qual a pressão é atmosférica (ou seja, zero) é definido como superfície do lençol de água, superfície do lençol freático ou ainda superfície freática.

Abaixo do lençol de água, a água dos poros pode se apresentar de forma estática, com a pressão hidrostática dependendo da profundidade abaixo do lençol de água, ou pode estar percolando através do solo graças a um gradiente hidráulico (CRAIG, 2007).

No conjunto de propriedades de um terreno impactável por erosão, a permeabilidade tem sua participação. A permeabilidade é representada pela velocidade do fluxo de água dentro das camadas subterrâneas. A propósito Conciani (2006, p. 56-57) menciona

A permeabilidade é um fator de primeira ordem na formação de processos erosivos. A permeabilidade do solo é determinante na formação do caudal que escoar pela superfície do terreno. Quanto maior a permeabilidade, menor será a quantidade de água para escoar na superfície do solo. Uma vez que o solo é permeável e profundo, uma parte da água que se precipita é infiltrada no solo, indo se acumular em horizontes mais profundos e alimentar o lençol freático. Nos solos de baixa permeabilidade a água que se infiltra é pouca em relação ao volume precipitado.

Cabe aqui lembrar que os solos mais permeáveis não são aqueles que têm maior quantidade de areia, os solos mais permeáveis são os que têm maior índice de vazios. Como geralmente isto acontece com as areias, a associação de solos permeáveis com areias é imediata. Nos solos tropicais é comum encontrar solos siltosos e argilosos com porosidades superiores a 50%. Este é o caso, por exemplo,

dos solos dos chapadões do Centro-Oeste. Ensaio de permeabilidade *in situ* realizados nos latossolos roxos do Chapadão do Parecis em Mato Grosso forneceram valores de coeficientes de permeabilidade de $2,3 \times 10^{-4}$ m/s. Inversamente, a região Nordeste tem alguns solos arenosos residuais cuja permeabilidade se assemelha as do silte. Dados de ensaios de permeabilidade conduzidos em laboratório, em solos arenosos residuais de gnaiss da região do Agreste da Paraíba apresentaram valores da ordem de $6,7 \times 10^{-9}$ m/s.

4.3.7 COBERTURA

Outro fator ligado à suscetibilidade dos solos à erosão é sua cobertura, de primordial importância nos empreendimentos agrícolas, inclusive. A superestrutura vegetal porventura existente sobre um determinado solo tende a diminuir os efeitos erosivos. Mais uma vez Conciani (2006, p. 57-58) coloca

A cobertura do solo tem duas funções principais no processo erosivo: manter o solo úmido e diminuir a ação das forças de destacamento. Com o solo úmido a sucção é mais baixa, e portanto, o solo será mais resistente à erosão eólica e hídrica. Sem contato direto com o solo, o agente de destacamento das partículas tem ação limitada. Como exemplo pode-se citar o caso das gotas de chuva. A gota de chuva que cai é primeiramente aparada pelas árvores. Portanto, a sua nova energia é aquela da altura de queda em que está a copa das árvores.

Para avaliar a influência da cobertura do solo Sidiras et al. (1991), realizaram um experimento de campo. Em seu experimento estes pesquisadores simularam uma chuva de 60 mm sobre solo com diversas coberturas. Os resultados indicam que o solo nu é o mais susceptível. A Tabela 2 apresenta um sumário dos resultados deste experimento. A Tabela 3 mostra como a cobertura vegetal do solo pode influenciar na sua erodibilidade.

Condição de superfície	Perda de solo medida (kg/m ²)
Solo coberto	0,078
Solo nu	0,224
Solo escarificado nu	1,620
Solo escarificado coberto	0,713

Tabela 2 – Erodibilidade de um solo em diferentes condições de superfície, chuva de 60 mm, com duração de 40 min, segundo Sidiras et al. (1991).

Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

Condição de superfície	Perda de solo medida (kg/ha)
Mata nativa	4
Pastagem	700
Culturas perenes (cafezal)	1.100
Culturas anuais (algodão)	38.000

Tabela 3 – Perdas de solos medidas em diversas culturas ao longo de um ano, de acordo com Lepsch, I. (1977).

Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

4.3.8 AÇÃO ANTRÓPICA

Conforme já mencionado, a erosão é um processo essencialmente natural, mas que pode ser muito majorado pela ação humana. Os exemplos são abundantes a esse respeito. Apenas para se mencionar erosões precipitadas pelo ser humano, pode-se lembrar da sucessão de encostas erodidas ao longo do anel viário (rodovia BR-101) de Recife, PE no sentido norte do estado - aeroporto dos Guararapes. Apesar de características aqui levantadas tais como pedologia, forma de encosta e vegetação, tem-se naquela região forte ocupação, aliada à retirada de materiais, que levaram à desfiguração de diversos taludes.

Ainda citando Conciani (2006, p. 58-59)

De todos os fatores aqui vistos, a ação antrópica é o que pode ser mais difícil de avaliar. Para tanto, algumas simplificações são feitas. A ação do homem sobre a natureza é bastante diversa e pode tanto beneficiá-la quanto destruí-la. Na maioria

dos casos, onde não são tomadas medidas de precaução para a implantação de obras e benfeitorias, a ação antrópica é danosa.

Entretanto, práticas conservacionistas e de engenharia adequadas podem reduzir o impacto negativo sobre a erosão ou até torná-lo positivo. Na agricultura, quando se usa o manejo do solo com plantio direto em lugar da tradicional aragem do solo, reduz-se o potencial de erodibilidade do solo. Na construção de estradas, o direcionamento das águas pode evitar a erosão, como também gerar condições para um melhor manejo agrícola.

A simples aragem do solo pode gerar mais de um fator de erodibilidade. Se esta aragem for conduzida na direção perpendicular ao fluxo de água, a tendência é de aumentar a infiltração reduzindo o escoamento superficial e, portanto diminuir o risco de erosão. Se por outro lado, a aragem for conduzida em direção paralela ao fluxo da água, a mesma irá escoar superficialmente, com velocidade aumentada e, portanto com um potencial erosivo maior.

4.3.9. COMPACTAÇÃO

Compactação se constitui no processo de aumentar a densidade de um solo através do agrupamento das partículas por meio da redução do volume de ar. Não ocorre mudança significativa no volume de água no solo. Na construção de aterros e barragens, o solo solto é colocado em camadas com espessuras que variam entre 75 e 450mm, com cada camada sendo compactada de acordo com um padrão especificado, através de rolos compressores ou vibradores. Em geral, quanto maior o grau de compactação, maior a resistência ao cisalhamento e menor a compressibilidade do solo (CRAIG, 2007).

Conciani (2006, p. 59) assim coloca

A compactação de um solo deveria melhorar a sua resistência ao processo erosivo. Existem boas evidências de que a erodibilidade diminui com o aumento do peso específico e a conseqüente redução de vazios. Contudo, Marques (1977) afirma que no caso de compactação de solos, outros fatores devem ser considerados. Esta afirmação baseia-se na observação de resultados de ensaios de Inderbitzen com diversas amostras de solos compactados. Os solos empregados variam de arenosos a argilas, incluindo siltes e misturas.

Para Marques (1977) o solo compactado tem sua erodibilidade afetada pela umidade de moldagem. Estes valores conduzem a formas diferentes de arranjos estruturais no solo, os quais por sua vez, se comportam de maneira diferenciada frente ao processo erosivo. Solos compactados no ramo seco são mais susceptíveis à erosão que

aqueles compactados no ramo úmido. Arulanandan & Arumungan (1972) mostram que são precisas maiores tensões cisalhantes para erodir os solos compactados no ramo úmido.

Nas amostras de solos compactados no ramo úmido a erosão age através de um processo de desfoliação das partículas. Já no ramo seco estas partículas são destacadas como grumos. Isto é, no ramo seco não são destacadas partículas, mas grupos de partículas. A observação dos arranjos estruturais do solo compactado facilita o entendimento do processo de destacamento das partículas nestes solos.

Além da questão estrutural deve-se lembrar que a compactação no ramo seco deixa o solo com os vazios de ar em comunicação. Isto é, o solo não está saturado e as bolhas de ar não estão oclusas. Esta situação gera tensões matriciais de água no solo – sucção. Como já foi visto anteriormente, quanto maior a sucção maior a erodibilidade de um solo.

4.4 EROSÃO EM PCH's

PCH's são empreendimentos com investimentos financeiros expressivos e de longa maturação econômica. Consequentemente deve-se antecipar tanto quanto possível quaisquer problemas que possam vir a surgir após a entrada em operação da usina, o que se consegue com uma fase investigatória inicial e um projeto executado com qualidade. É mandatório portanto que ocorra um planejamento com estudos técnicos que levantem todos os impactos e atente para a questão da erosão. Cabe ao gestor ambiental utilizar-se então das ferramentas cognitivas disponíveis, de modo a procurar antever a abrangência e severidade dos processos erosivos na bacia hidrográfica estudada. Para tanto, irá lançar mão de apoios da geologia, da hidrologia, do estudo do clima, da pedologia, da topografia e da toponímia. Essa multidisciplinaridade é essencial ao correto diagnóstico das antevistas das erosões, além de ser uma característica estrutural do próprio trabalho de gestor ambiental.

Uma sistematização das diversas etapas de estudos necessários à implantação de uma PCH é apresentado a seguir (GERALDO; DINIZ, 2002).

FLUXOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH

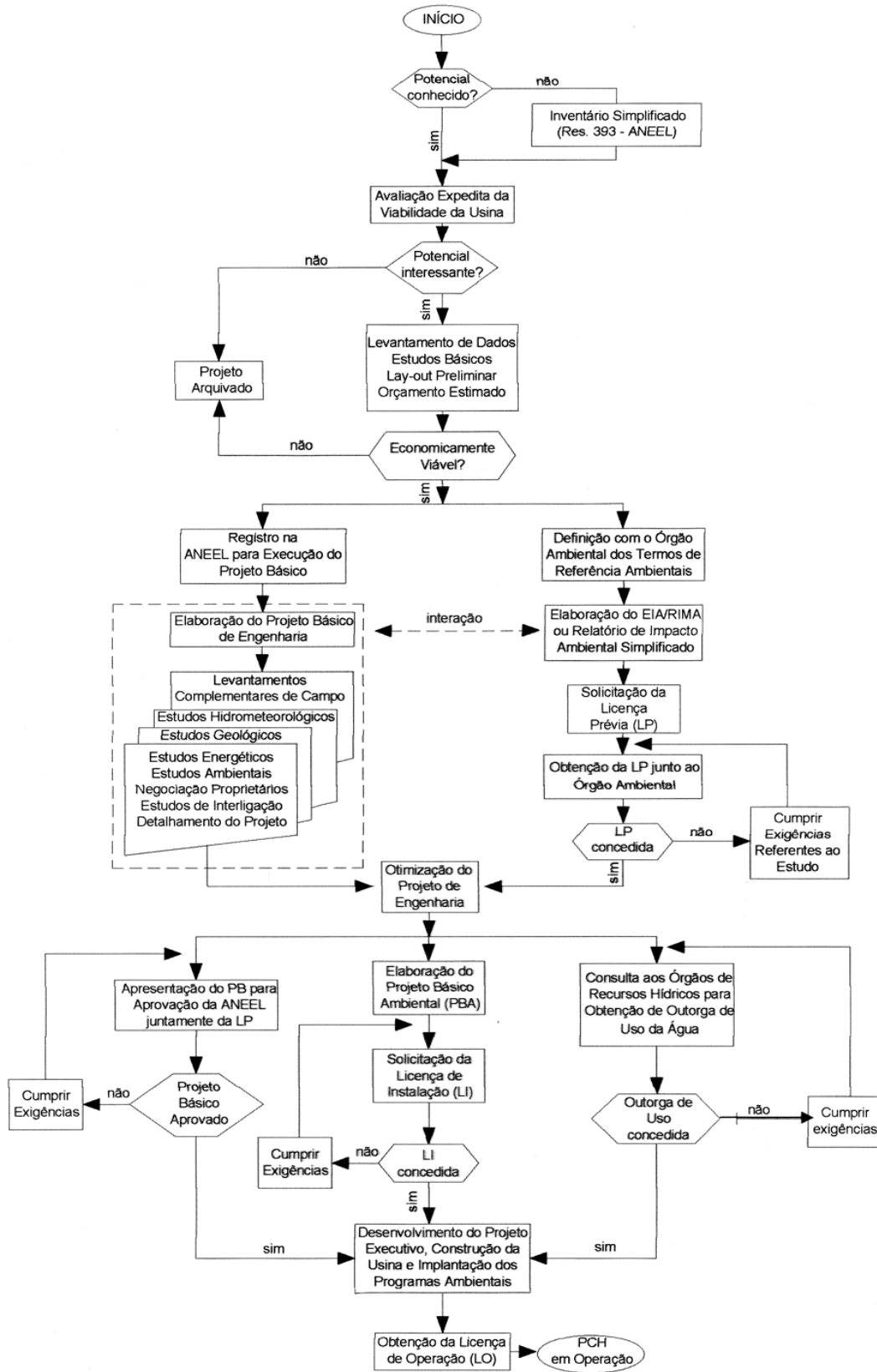


Figura 7 – Fluxograma de implantação de uma PCH
 Fonte: GERALDO, Amilton; DINIZ, Noris Costa, 2002.

Máxima atenção deve então ser colocada nesses estudos, de modo a se antecipar questões erosivas importantes. De acordo com Ferreira (2008), o conhecimento do meio, tão escasso no Brasil, deve ser incentivado, de modo a se referenciar tecnicamente futuros empreendimentos. (informação verbal)⁴

Rodrigues (2001) em seu estudo **A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais** menciona a limitação representada pela falta de conhecimento do meio físico do território brasileiro e propõe várias abordagens teóricas da Ciência Geográfica, como forma de encaminhar o preenchimento daquela carência. Em particular, menciona a teoria geossistêmica de Sotchava (1977) que reconhece a existência real, objetiva (independente da nossa consciência) dos sistemas territoriais naturais como formas geográficas da matéria em movimento, regidas por leis naturais e a cognoscibilidade de sua estrutura e manifestações sistêmicas na sua funcionalidade, assim como a abordagem morfodinâmica e ecodinâmica de Tricart (1977) que se constitui em um modelo de avaliação das unidades territoriais, com base no balanço pedogênese / morfogênese, propiciando sua classificação quanto aos graus de instabilidade ambiental e criando as Unidades Ecodinâmicas, assim expressas: meios estáveis, meios intergrades e meios fortemente instáveis (Lima; Martinelli, 2008; Melo, 2010).

Tais teorias procuram incrementar a compreensão do meio físico brasileiro.

Rodrigues (2001, p. 75-76) destaca que

Com relação aos objetivos de planejamento ambiental, sem entrar no mérito dos valores e dos aspectos ideológicos dessa esfera de atuação da Geografia, as mesmas dificuldades se impõem, como é o caso da falta de conhecimento físico – territorial básico do nosso território, compatível com a escala dos geossistemas, conforme afirmado anteriormente. Além dessas dificuldades, teríamos as dificuldades inerentes à própria complexidade das propostas geossistêmicas e morfodinâmicas e seu próprio desconhecimento.

Uma das principais saídas para trabalhar ou identificar unidades de planejamento físico – territorial nas experiências brasileiras, tem sido a abordagem morfodinâmica de Tricart (1977), “prima-irmã” da teoria dos geossistemas. Assim, com a teoria dos geossistemas, a abordagem morfodinâmica possibilita a delimitação espacial de unidades cujos processos atuais podem ser considerados semelhantes. Por isso é possível classificar essas unidades quanto à sua estabilidade (formas e processos), singularidade e grau de recorrência (diversidade ambiental), fragilidade ou

⁴ Informação fornecida por Ferreira, André em aula de Gestão Ambiental do Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético, IEE/USP, em 2008.

vulnerabilidade no que se refere às interferências antrópicas, entre outras discriminações úteis na esfera do planejamento e gestão territorial característicos.

Ainda que o grau de reconhecimento territorial seja falho e que isso obrigue a se trabalhar com alto nível de inferência, um conhecimento teórico – metodológico substancial em Geografia Física possibilitaria a realização de prognoses ou hipóteses a respeito da ocorrência e localização de futuros processos com maior probabilidade de acertos.

Se conseguirmos esse conhecimento territorial aliado ao conhecimento teórico, as hipóteses ficarão ainda mais fortalecidas. Obtendo-se hipóteses consistentes a respeito da dinâmica atual dessas unidades (geossistemas inclusive), a prognose pode ser viabilizada com maior responsabilidade. Assim é que se torna possível prognosticar várias situações a respeito de interferências das mais diversas, como por exemplo de: usinas hidrelétricas, linhas de transmissão de energia, rodovias, hidrovias, núcleos urbanos, sistemas de saneamento, entre outros.

Essa possibilidade, a de formulação de hipóteses mais consistentes a respeito de processos e balanços futuros, é condição indispensável ao planejamento físico – territorial, seja qual for a apropriação ou direção político-econômica a ser seguida.

Infelizmente, as hipóteses formuladas nesse âmbito são pouco fundamentadas em orientações teórico – metodológicas consistentes e tampouco servem para fazer sua crítica, pois, no geral, esses esquemas sequer são conhecidos pela maioria dos profissionais que têm a possibilidade de opinar tecnicamente sobre intervenções físico – territoriais.

Outro agravante é o fato desses levantamentos realizados ao sabor dos projetos, na sua maioria desarticulados, ficarem confinados nas diversas empresas públicas e privadas e, por isso, inviabilizarem a reformulação ou discussão a respeito dos esquemas de síntese propostos na Geografia Física, como é o caso da teoria geossistêmica de Sotchava (1977) e da abordagem morfodinâmica e ecodinâmica de Tricart (1977).

Os Estudos e Projetos de Hidrelétricas envolvem aspectos de geomecânica, tanto na avaliação das condições de fundações das barragens, quanto na avaliação da disponibilidade e adequabilidade dos materiais de empréstimo para execução das obras. Os projetos devem ser elaborados segundo a boa técnica praticada no setor elétrico brasileiro. Os critérios para análise de Estudos e Projetos são baseados no referencial técnico estabelecido pelo meio técnico e consolidado nos Manuais da Eletrobrás / DNAEE (1987), para Estudos de Inventário, Estudos de Viabilidade, Projetos Básicos e Diretrizes de Projetos de PCH's, e ainda, nas Diretrizes para Inventários Simplificados.

Essa abordagem sistematizada permite antever, de acordo com as conexões multidisciplinares apontadas nas ciências mencionadas, as maiores probabilidades de erosão, utilizando-se as melhores técnicas no campo da Geografia Física.

A erosão aparece então como uma patologia da PCH, com raízes nos campos da Geografia Física e da Ciência Ambiental.

Da Geografia Física advém a inserção da geologia, da pedologia, da hidrologia e da pluviometria.

Da Ciência Ambiental advém as colocações da biodiversidade local e as soluções de eliminação/mitigação das erosões que venham a surgir.

Essa multidisciplinaridade aparece na análise comparada voltada a processos erosivos ligados ou não a PCH's e mostradas adiante, no item **5 ESTUDOS DE CASO**.

5 ESTUDOS DE CASO

5.1 VULNERABILIDADE À EROSÃO NO SOLO NA ÁREA DE DRENAGEM DO RESERVATÓRIO DE CACHOEIRA DOURADA – GO/MG

Cabral et al. (2005) analisam a vulnerabilidade à erosão do solo na bacia de drenagem do reservatório da UHE de Cachoeira Dourada, divisa dos estados de GO e MG.

A análise correlaciona a pluviosidade com o grau de vulnerabilidade à perda de solos, supondo que “quanto maior o valor da intensidade pluviométrica, maior será a erosividade das chuvas, sendo possível criar-se uma escala de erosividade que representa a influência do clima nos processos morfodinâmicos”.

Analisando os dados de nove estações pluviométricas entre 1973 e 2002, foi montada a seguinte tabela:

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Média de vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade
<50	1,0	Estável
50 – 75	1,1	
75 – 100	1,2	
100 – 125	1,3	
125 – 150	1,4	Moderamente estável
150 – 175	1,5	
175 – 200	1,6	
200 – 225	1,7	
225 – 250	1,8	Medianamente estável/vulnerável
250 – 275	1,9	
275 – 300	2,0	
300 – 325	2,1	
325 – 350	2,2	
350 – 375	2,3	Moderamente vulnerável
370 – 400	2,4	
400 – 425	2,5	
425 – 450	2,6	Vulnerável
450 – 475	2,7	
475 – 500	2,8	
500 – 525	2,9	
>525	3,0	

Tabela 4 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade a perdas de solos.

Adaptado de Crepani et al.

Fonte: CABRAL, João Batista Pereira et al., 2005.

O quadro mostra a intensidade pluviométrica (mm/mês), representada pela divisão da pluviosidade média anual (mm) pela duração do período chuvoso (meses), agregada a uma média de vulnerabilidade entre 1,0 (próxima à estabilidade) e 3,0 (grande possibilidade de erosão). O texto conclui que 33,3% da área do reservatório de Cachoeira Dourada pode ser considerada moderadamente vulnerável e 66,7% vulnerável à perda de solos.

A importância do texto se vincula ao fato de relacionar alta pluviosidade com alto potencial de erosão.

5.2 DIMINUIÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS EM PORTO PRIMAVERA – SP

Destafani e Souza (2002) mencionam a correlação entre taxas erosivas, velocidades de fluxo e vazão e composição sedimentológica das margens, para explicar a diminuição de processos erosivos próximos à barragem de Porto Primavera em SP.

O estudo se baseia no fato que barragens passam a exercer controle sobre o regime hidrológico do sistema fluvial no qual foram construídas e conseqüentemente, podem determinar alterações ambientais severas nos componentes do sistema. Por vezes, as modificações são benéficas, conforme mostrado na região de Porto Rico, sob o efeito da UHE- Eng^o. Sérgio Motta da CESP (Porto Primavera).

O trabalho compara a erosão marginal de algumas ilhas no Rio Paraná, em períodos pré-barragem e pós-barragem. Os resultados de correlações das diversas variáveis mostram que o recuo das margens diminuiu em função do domínio de vazões baixas e médias proporcionadas pela barragem de Porto Primavera.

5.3 ANÁLISE DA RELAÇÃO DE ÁREAS DE FORTE RISCO À EROSÃO COM VEGETAÇÃO NA INFLUÊNCIA DA UHE – FUNIL NO RIO GRANDE, MG

Lemos e Ferreira (2003) correlacionam erosão com declividade, tipo de solo e presença de vegetação nativa na região influenciada pela UHE Funil no estado de MG.

O trabalho utiliza Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), permitindo integrar dados de diversas fontes e criar-se um banco de dados georeferenciados.

Mapas temáticos e correlações físicas evidenciam a conexão entre declividade, solo e vegetação com erosão.

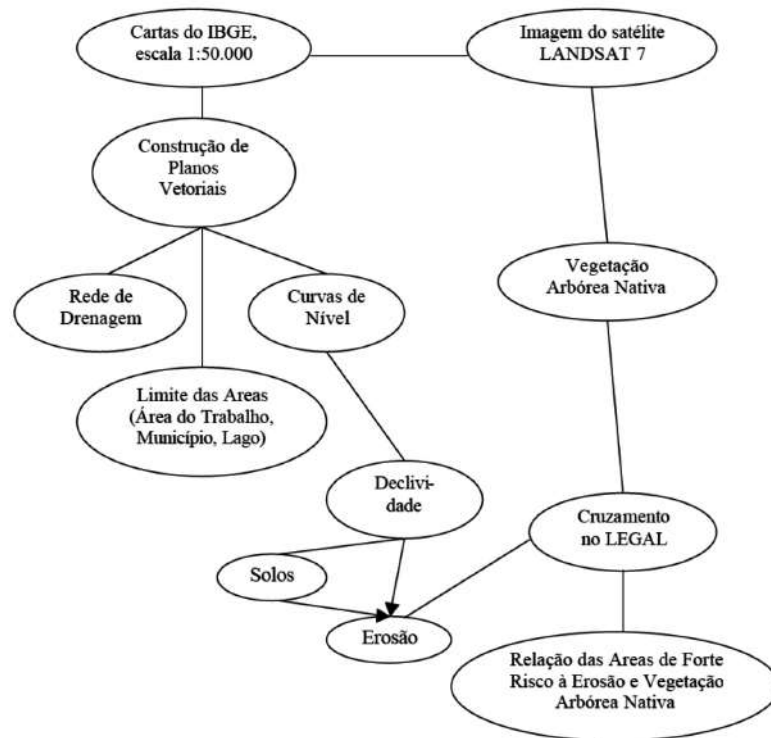


Figura 8 – Modelo esquemático de Material e Métodos
 Fonte: LEMOS, Poliana Costa; FERREIRA, Elizabeth, 2003.

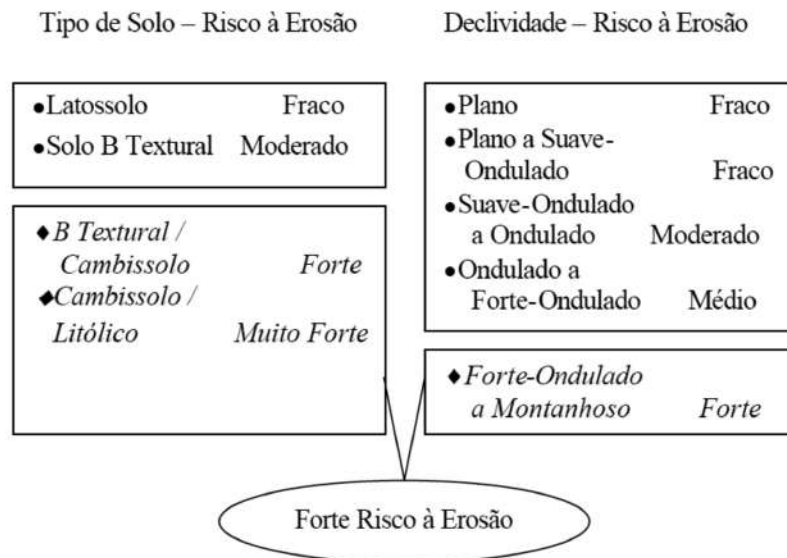


Figura 9 – Modelo esquemático do método usado para a definição das áreas de forte risco à erosão.
 Fonte: LEMOS, Poliana Costa; FERREIRA, Elizabeth, 2003.

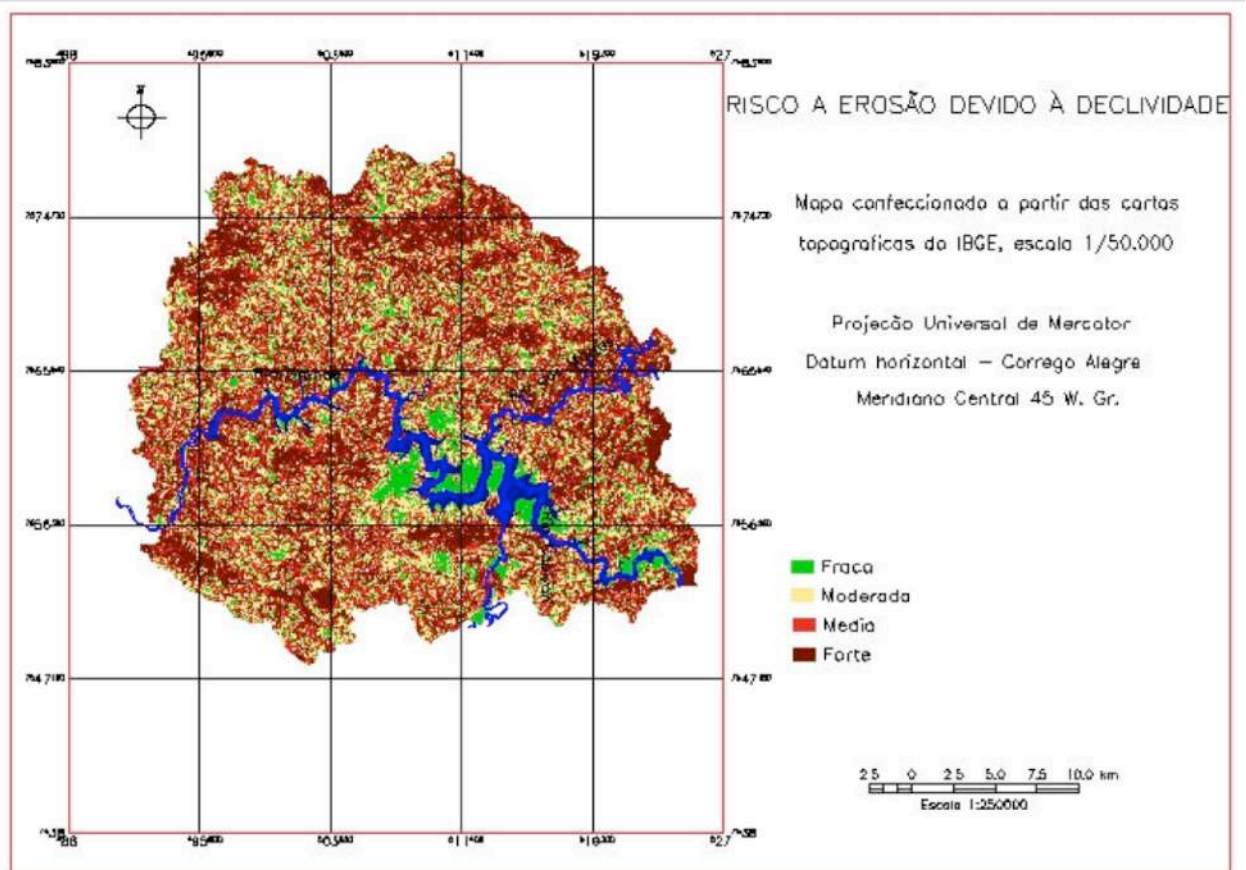


Figura 10 – Risco à erosão baseado na declividade
Fonte: LEMOS, Poliana Costa; FERREIRA, Elizabeth, 2003.

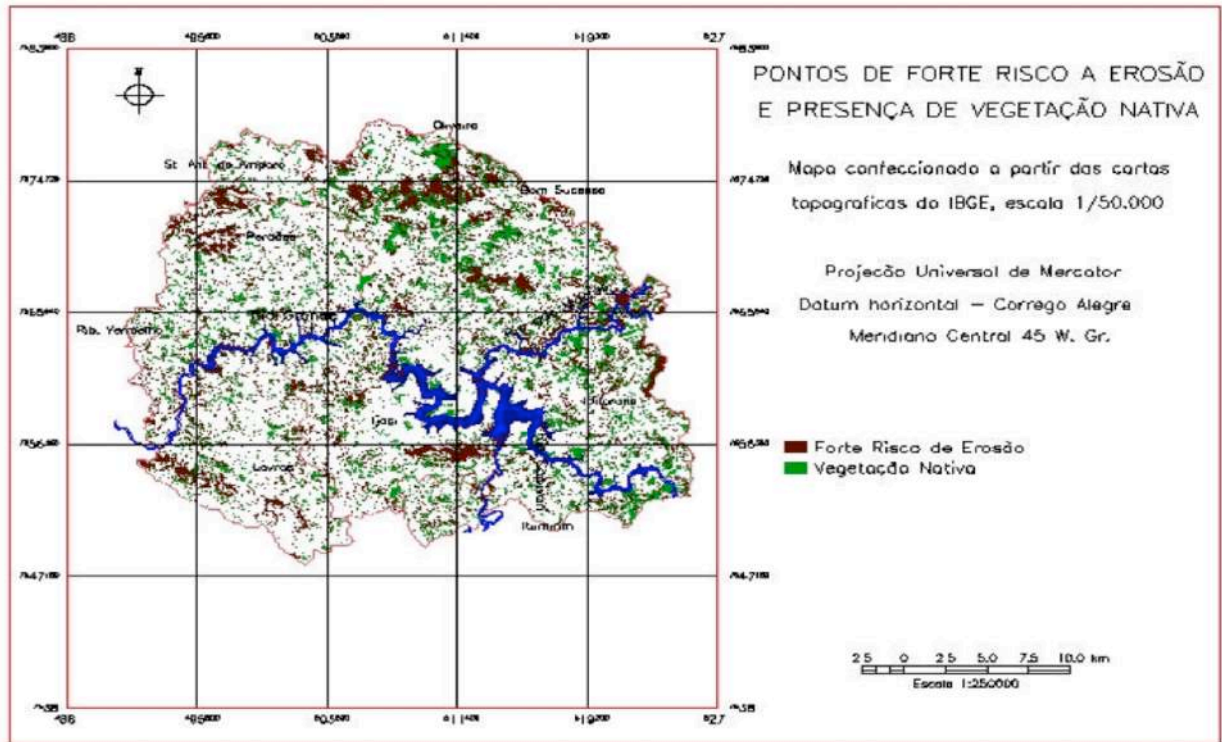


Figura11 – Mapa do cruzamento entre as áreas de forte risco à erosão e fragmentos da vegetação nativa arbórea.
Fonte: LEMOS, Poliana Costa; FERREIRA, Elizabeth, 2003.

5.4 EROSÃO HÍDRICA NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA

Castro (2005) dedicou-se a importante estudo sobre voçorocas no setor sul da Alta Bacia do rio Araguaia, na região Centro Oeste.

Duas áreas dentre as mais críticas são focadas, com estudos feitos com base em levantamento de solos, de ensaios de infiltração e de condutividade hidráulicas e de monitoramento de chuvas e de lençol freático por piezometria, durante três anos, além de métodos geofísicos.

Os resultados evidenciam relações entre os focos erosivos, os solos, o substrato geológico, a forma das vertentes, o uso dos solos, as chuvas e os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, concluindo por enfatizarem que o processo de voçorocamento resulta da suscetibilidade ao processo e de um desequilíbrio hidropedológico que afeta, sobretudo, a base das vertentes. O desmatamento indiscriminado, o elevado gradiente hidráulico e o risco de convergência dos escoamentos superficial e subsuperficial intensificados para a zona de saturação, principalmente ao fim da estação chuvosa, são capazes de promover fluxos hidráulicos intensos e de alta energia.

5.5 PROCESSOS EROSIVOS DIFERENCIADOS POR INFLUÊNCIAS DE DECLIVIDADE, SOLOS, AÇÕES ANTRÓPICAS E OUTROS NO ENTORNO DA PCH CACHOEIRA DA PROVIDÊNCIA, RIO CASCA, MUNICÍPIO DE PEDRA DA ANTA, MG

Sousa, Deleposte e Faria (2008) apresentam análise de hidrelétrica no sul de MG também correlacionado mapas geomorfológicos com graus de erosão e insistindo em EIA-RIMA's com maior grau de profundidade.

O trabalho refaz a caracterização física e apresenta um mapeamento geomorfológico da área de influência da PCH Cachoeira da Providência. Questiona todavia a não menção tanto de processos de erosão lateral de vertentes, quanto de processos de erosão laminar ligadas às encostas côncavas. Insiste na adequada representação do meio, de modo a permitir uma melhor previsão de impactos ambientais, assim como uma antecipação de suscetibilidades à erosão.

O trabalho sinaliza a inadequação do EIA-RIMA executado para o empreendimento.

Vale mencionar, a despeito do conteúdo ideológico presente no estudo, a expressão da importância da realização de estudos anteriores e detalhados sobre o meio, como forma de se evitarem erosões.

5.6 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO DA SUB BACIA DO RIO ENGANADO, RONDÔNIA

Silva e Maniesi (2005) analisam a sub bacia do rio Enganado em Rondônia e as vulnerabilidades à erosão, correlacionando-se morfogênese e pedogênese a partir de mapas temáticos (geologia, clima, vegetação, declividade, pedologia, uso do solo).

Utilizam o conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart que estabelece classes de vulnerabilidade à erosão distribuídas entre as situações de predomínio de processos de pedogênese (valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (valores ao

redor de 2,0) e chegando a situações de domínio dos processos de morfogênese (valores próximos de 3,0).

Através de técnicas de geoprocessamento foram integradas informações espaciais provenientes de dados cartográficos e imagens de satélite, em uma única base de dados.

Dessa forma foi possível sobrepor-se mapas de declividade, uso e ocupação do solo e vulnerabilidade à erosão, observando-se que nas áreas identificadas com relevo fortemente ondulado e montanhoso utilizados com pastagens e/ou culturas apresentam-se como áreas mais vulneráveis à erosão. Por outro lado, em locais com relevo plano e suave ondulado em áreas preservadas com floresta estacional semidecidual submontana e solo tipo chernossolo e/ou argilossolo vermelho amarelo apresentam-se como áreas de estabilidade moderada.

Nas proximidades das principais nascentes do rio Enganado, ou seja, na porção norte da sub bacia, ocorrem solos arenosos vulneráveis à erosão, relacionados a rochas sedimentares e formações superficiais do cenozóico, indicando que essas áreas devem ser preservadas por serem vulneráveis a processos erosivos e de assoreamento dos canais de captação de água para geração de energia pelas hidrelétricas.

As áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e nascentes não estão sendo respeitadas em alguns pontos da sub bacia do Rio Enganado, demonstrando que estas áreas antropizadas poderão facilitar o carreamento de sedimentos até os canais de captação de água, podendo futuramente causar assoreamento destes canais, comprometendo a geração de energia elétrica das PCH's.

Na parte central da sub bacia do Rio Enganado, onde se localiza a PCH Castaman I, as áreas ocupadas com florestas apresentam-se com classe de estabilidade moderada, enquanto que as áreas ocupadas com pastagem e/ou culturas mostram-se com classes de estabilidade média e vulnerabilidade moderada.

A região onde se encontram as PCH's Castaman II e Castaman III apresenta as classes de vulnerabilidade moderada, necessitando portanto de preservação, principalmente nas áreas próximas às hidrelétricas.

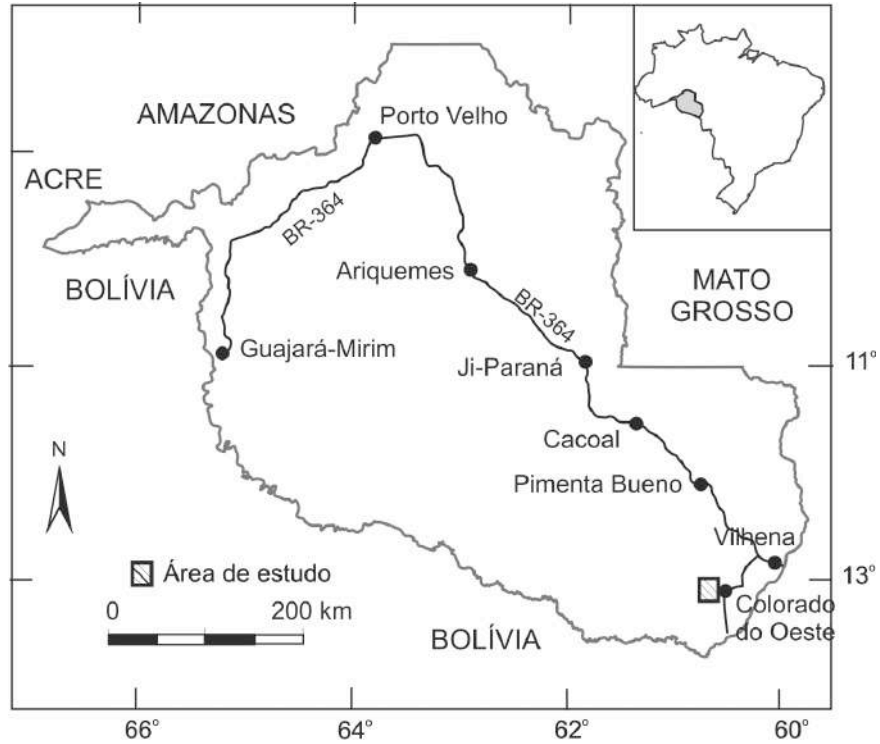


Figura 12 – Localização da área de estudo no Estado de Rondônia.
Fonte: SILVA, Leomar Pereira da; MANIESI, Vanderlei, 2005.

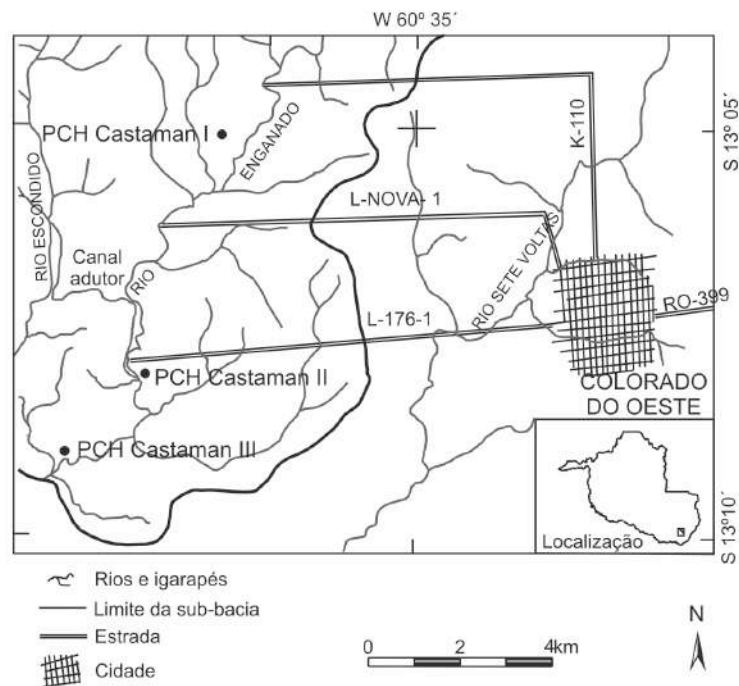


Figura 13 – Localização e acesso às Pequenas Centrais Hidrelétricas Castaman I, II e III na sub-bacia do rio Enganado.
Fonte: SILVA, Leomar Pereira da; MANIESI, Vanderlei, 2005.

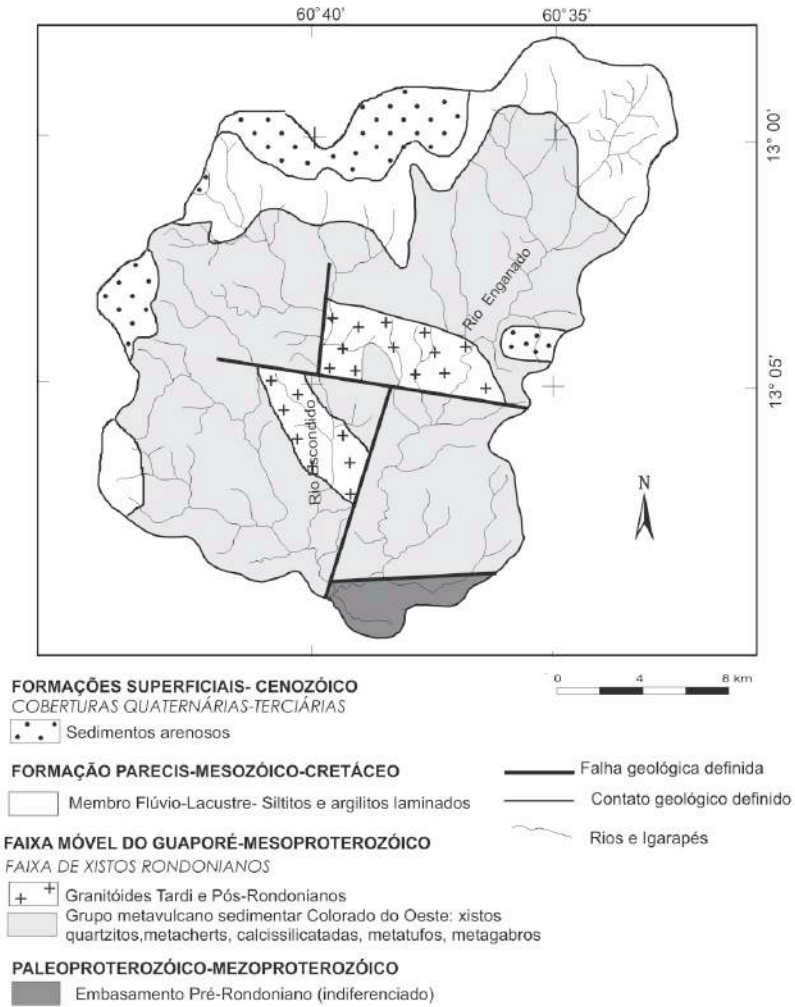


Figura 14 – Mapa geológico da sub-bacia do rio Enganado. Modificado de Rondônia (2000).

Fonte: SILVA, Leomar Pereira da; MANIESI, Vanderlei, 2005.

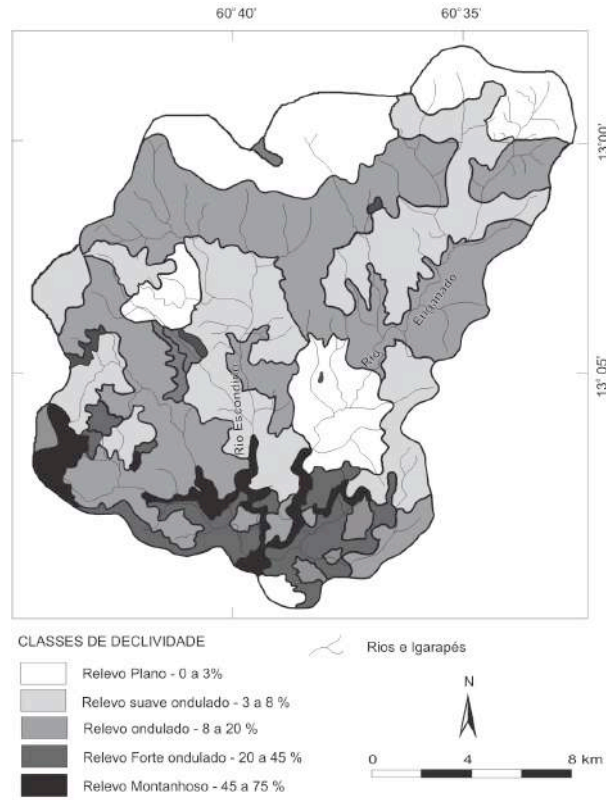


Figura 15 – Mapa de declividade da sub-bacia do rio Enganado.
Fonte: SILVA, Leomar Pereira da; MANIESI, Vanderlei, 2005.

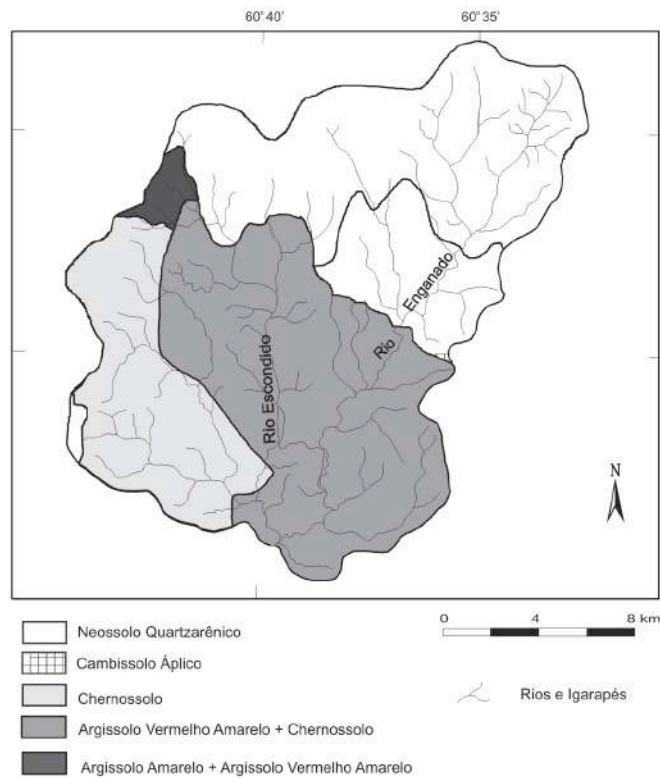


Figura 16 – Mapa de solos da sub-bacia do rio Enganado. Modificado de Rondônia (1998) e EMBRAPA (1995)
Fonte: SILVA, Leomar Pereira da; MANIESI, Vanderlei, 2005

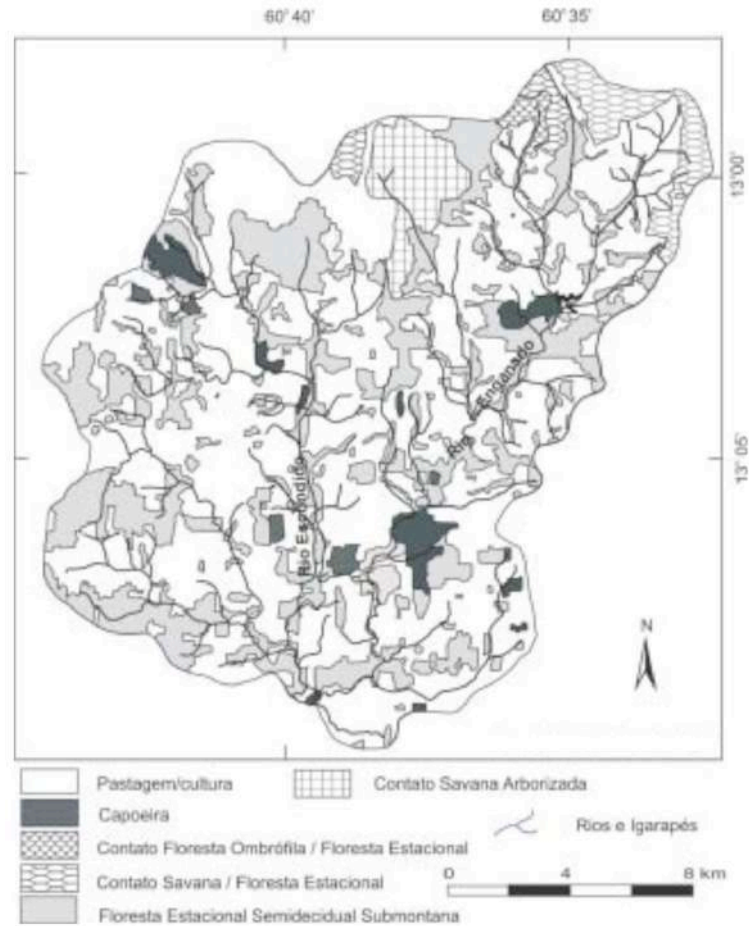


Figura 17 – Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do rio Enganado, com base na imagem Landsat TM – 05/2000 e dados de campo.
Fonte: SILVA, Leomar Pereira da; MANIESI, Vanderlei, 2005.

Verifica-se portanto que as análises prévias com a metodologia dos mapas temáticos permite amplo grau de inferência a respeito de erosões e a tomada antecipada de ações defensivas e protetoras.

5.7 ARENIZAÇÃO E VOÇOROCAMENTO EM PARANAÍ, PR

Stipp (2006) em texto sobre a ocupação do solo e a problemática da arenização e do voçorocamento no município de Paranaíba, PR, avaliou a fragilidade do solo, utilizando-se principalmente de informações de temperatura, de pluviosidade e de direção e velocidade de ventos. A elaboração de cartas temáticas permitiu um melhor entendimento do fenômeno da arenização.

A base cartográfica do IBGE foi aplicada especificamente para a obtenção de planimetria, altimetria, rede hídrica, acessos rodoviários, toponímicos e localização dos centros urbanos, além de subsidiar estudos temáticos voltados a geomorfologia, geologia, pedologia, infraestrutura e outros relacionados a aspectos físicos do terreno.

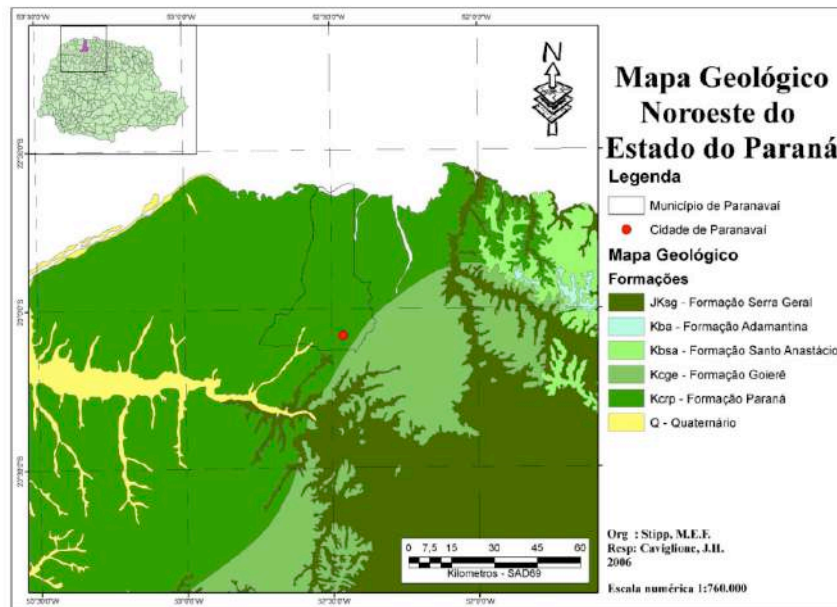


Figura 18 – Mapa geológico da área de estudo.
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.



Figura 19 – Mapa litológico do Paraná. Santos et al., 1991.
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

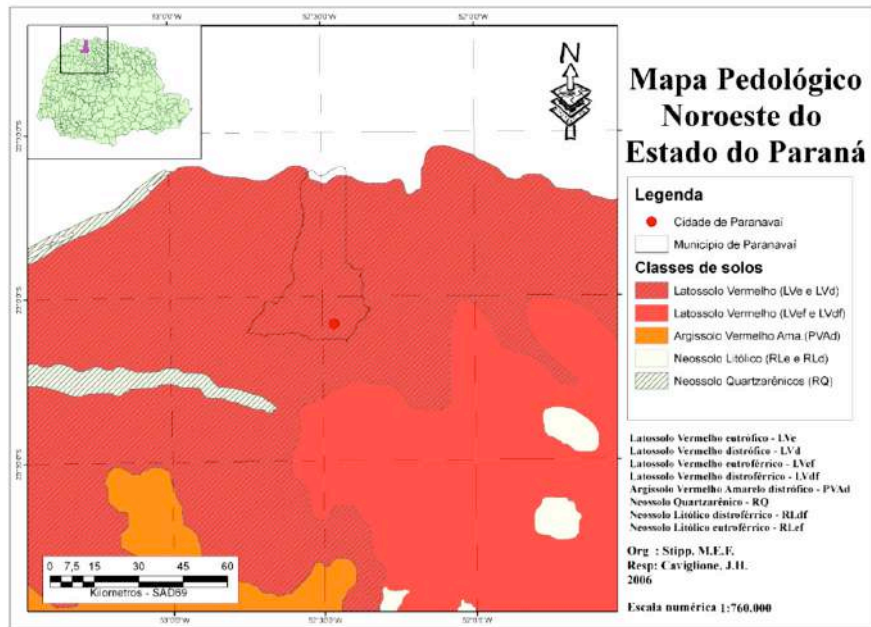


Figura 20 – Mapa de solos do noroeste do Paraná.
 Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

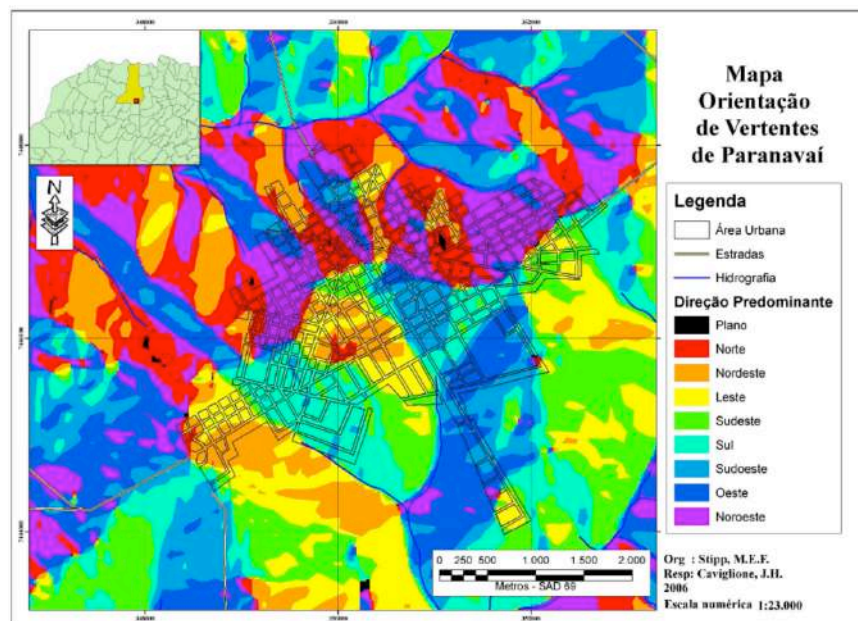


Figura 21 – Carta de orientação de vertentes.
 Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

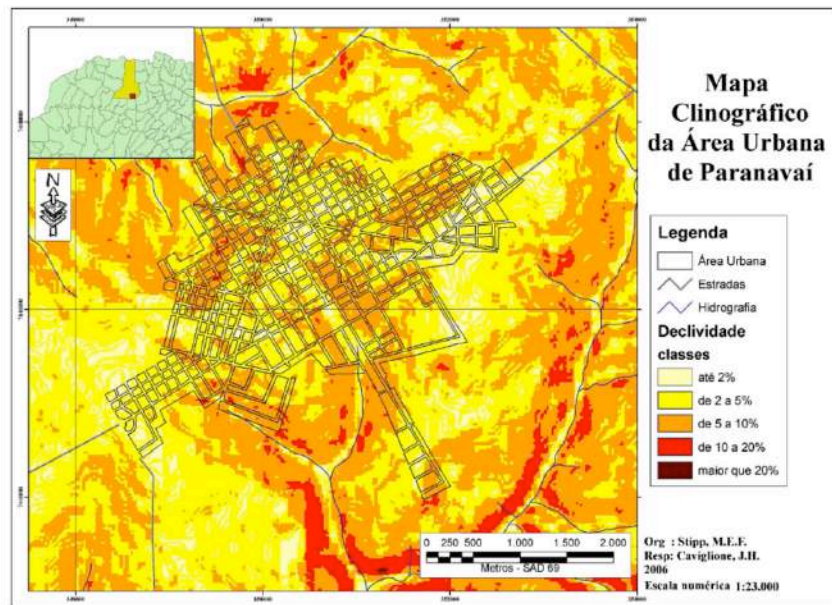


Figura 22 – Carta de declividade da área urbana.
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

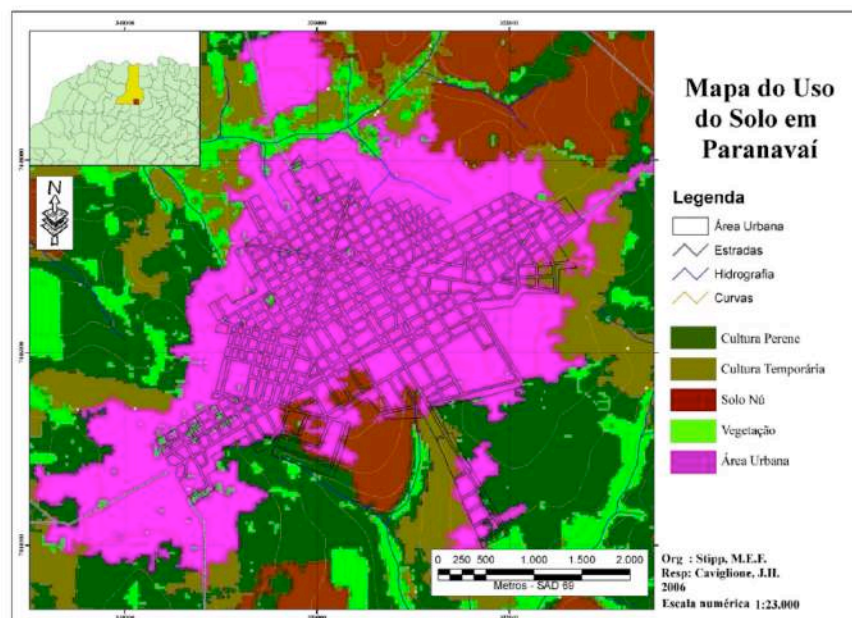


Figura 23 – Carta do uso da terra.
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

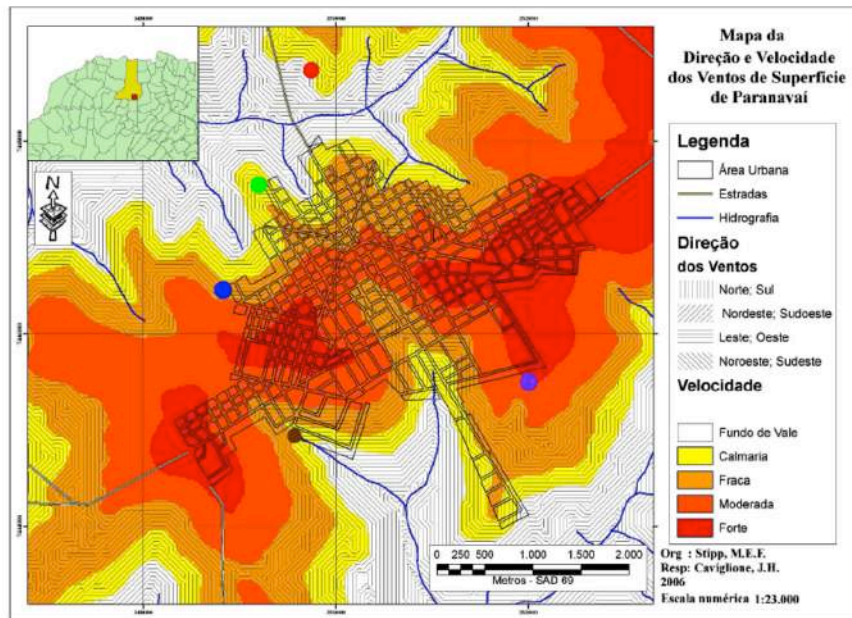


Figura 24 – Carta de direção e velocidade dos ventos de superfície com a localização das áreas de risco apontadas neste estudo.
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

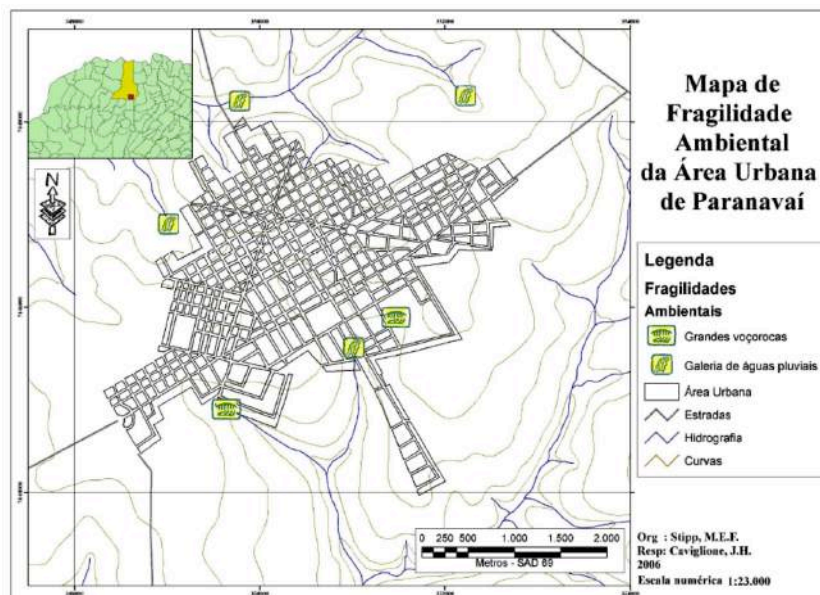


Figura 25 – Mapa de fragilidades ambientais.
Fonte: STIPP, Marcelo Eduardo Freres, 2006.

5.8 EXEMPLO PONTUAL DE EROSÃO PRÉ-EXISTENTE NA REGIÃO DA PCH SANTO ANTONIO, RIO GRANDE, MUNICÍPIO DE BOM JARDIM, RJ



Figura 26 – Fotografia de erosão em encosta do rio Grande, na região da PCH Santo Antônio, município de Bom Jardim, RJ.

Fonte: SCHREUDERS, Leslie Charles, 2009.

Erosão característica de topografia inclinada, em encosta côncava-convexa com *piping* e sulcos. Possivelmente intensificada por ação antrópica, representada tanto por estrada de pequeno porte, quanto por ocupação antiga das áreas envolvidas, além de desmatamento. Pode ter ocorrido após ruptura do talude, com consequente exposição do solo desprotegido.

O *piping* ou erosão interna aparece dentro de maciços de solo e representa a remoção de partículas ao longo de uma linha de fluxo de água interna ao maciço.

Canais de *piping* podem vir a desmoronar, provocando o recalque do solo acima do canal (CONCIANI, 2008).

6 PREVENÇÃO E CONTROLE DE EROSÃO EM PCH's

Os processos erosivos são passíveis de prevenção, quando ainda não tiveram ocorrido, e de controle, se já se manifestaram.

Conciani (2008) menciona que a melhor prevenção da erosão consiste na realização de estudos bem detalhados dos locais de implantação de obras. Para se garantir a implantação de planos preventivos, devem ser seguidos princípios técnicos e legais que assegurem o controle ambiental, de modo a se prevenir a degradação das áreas envolvidas, pois caso contrário, o futuro desses empreendimentos será de recuperações e remediações.

Coloca também que a implantação de medidas preventivas e o enfrentamento de problemas decorrentes do uso e ocupação do solo de forma inadequada demanda o conhecimento dos processos envolvidos para a correta abordagem da questão. Nesse sentido, duas ferramentas são as cartas geotécnicas de risco de erosão e a definição de planos de trabalho por microbacias hidrográficas.

6.1 MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS

Hoje no Brasil é cada vez mais ampla a utilização da visão de bacias hidrográficas para se enfrentar uma séria de questões ambientais ligadas aos rios, muitas vezes já degradados. Também no campo da erosão essa abordagem tem mostrado utilidade, usando-se porém um foco menor, o das microbacias hidrográficas. A propósito, Conciani (2008, p. 90-91) coloca

O conceito de microbacias hidrográficas passou a ser empregado na prevenção e controle da erosão a partir da década de 1960 nos estados do Paraná e São Paulo. Até então os planos de controle olhavam áreas restritas adotando as práticas adequadas, porém limitadas pelos títulos de propriedade. Nos casos dos municípios, os planos eram adotados apenas dentro dos seus limites, ficando as áreas limítrofes desguarnecidas. Este modelo gerou muitas discussões sobre responsabilidades e recursos aplicados. Um fazendeiro cuidava de sua lavoura, outro não. Como resultado, ambas as terras eram atingidas pela erosão. Assim, tomou vulto a idéia de que as práticas prevencionistas não deveriam observar divisas políticas e de propriedade.

Qual o critério a ser empregado para prevenir? Para resolver este dilema, passou-se a adotar o modelo de microbacias hidrográficas. Isto é, cada microbacia merece um projeto específico de controle de erosão. Uma vez que todas as microbacias de um município estejam cuidadas, os municípios de juzante não sofrerão danos e poderão destinar mais recursos a controlar a erosão nas microbacias dentro de sua jurisdição. As microbacias partilhadas por dois ou mais municípios são cuidadas por um consórcio entre os municípios.

A bacia de um curso d'água é toda a área cuja água escoar para ele. Isto é, toda a área drenada por um curso d'água constitui a sua bacia hidrográfica. Esta área é definida topograficamente. Desta forma, cada riacho, ribeirão ou córrego tem sua própria bacia. Assim, é possível definir a micro-bacia de cada curso d'água de um município, que pode ser tão pequena quanto uma fazenda, ou município. Uma microbacia contribui para uma bacia maior. Esta por sua vez contribui para uma bacia maior ainda. Desta forma as bacias vão se ampliando até atingir as dimensões continentais que são tão conhecidas, como a Bacia do Amazonas, do Paraná e do São Francisco.

Uma vez que a microbacia tem suas águas disciplinadas e a erosão sob controle, todas as bacias a jusante serão beneficiadas. Se o plano de controle começa nas cabeceiras de uma bacia, então toda ela estará protegida.

Para definir a área de contribuição de uma microbacia são necessários levantamentos topográficos, mapas regionais, imagens de satélite e até entrevistas com a população local. Assim procedendo, todos os caminhos da água em uma região estarão conhecidos e será possível adotar as práticas adequadas. Nesta etapa pode-se passar à fase seguinte que se constitui no mapeamento de susceptibilidade à erosão das áreas da microbacia.

6.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Os mapas temáticos se desenvolveram nos últimos anos a partir do sensoriamento remoto e da utilização de satélites. Para quase todas as características físicas de uma região, os mapas são aplicáveis: topografia, geologia, clima, vegetação, uso do solo, surgindo a análise de erosão como uma consequência natural do mapeamento geotécnico. Conciani (2008, p. 91-93) explicita que

Existem diversos métodos para produzir mapas de risco de erosão. Os métodos mais conhecidos são o de Zuquete & Gandolfi (1987) e o do IPT (apresentado por PRANDINI et al., 1990). Os métodos são diferentes em suas concepções, porém os resultados são convergentes.

Zuquete & Gandolfi (1987) estabeleceram que para definir as áreas de maior ou menor risco de erosão são empregados critérios técnicos chamados de atributos. Neste caso os atributos observados são aqueles ligados à erosão: clima, solo, relevo e ação antrópica.

Cada atributo é mapeado na bacia de interesse. Como resultado deste processo tem-se mapas de declividade, de solo, de chuvas, de permeabilidade, de uso do solo, etc. A superposição dos mapas permite estimar o potencial de erosão em cada área.

O método IPT baseia-se na análise dos processos erosivos em campo e nas classes pedológicas do solo. Prandini et al., (1990) fizeram uma síntese deste processo que é apresentado na Tabela 5. É interessante observar que este método permite uma extrapolação de informações com base unicamente nas classes de solos. Por outro lado, uma definição segundo o método de Zuquete & Gandolfi (1987) independe da verificação de eventos erosivos no campo.

Etapa	Principais atividades
Levantamento e identificação das ocorrências de voçorocas	Fotointerpretação sucinta para localização de voçorocas
Cadastramento das voçorocas e caracterização de aspectos geométricos / físicos e dos fenômenos	Fotointerpretação, levantamento de campo
Estabelecimento das características de interesse (causas, condicionantes, mecanismos) que reagem a eclosão e evolução dos fenômenos em suas diversas porções e estágios	Compilação de dados existentes, estudos bibliográficos das características de interesse, levantamento de campo
Estabelecimento das evidências mapeáveis das principais características de interesse	Definição da escala de apresentação dos resultados, fotointerpretação de detalhe das características de interesse
Busca orientada dessas evidências, principalmente em seus aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e climáticos	Cruzamento de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos e climáticos. Fotointerpretação final
Síntese das fotointerpretações e elaboração do relatório final	Estabelecimento de áreas homogêneas (unidades geotécnicas) quanto à susceptibilidade ao desenvolvimento de voçorocas, às quais correspondem a diferentes recomendações e orientações de uso

Tabela 5 – Resumo do método de mapeamento do IPT, transcrito de Prandini et al., (1990).

Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

Áreas de risco alto são aquelas constituídas predominantemente por relevos movimentados (escarpas, morros e partes de colinas médias e morrotes), associados a solos altamente erodíveis (podzólicos com alta gradiência textural, cambissolos e litólicos). Áreas de risco baixo, são áreas constituídas por relevos com baixa declividade das encostas (inferior a 6%) e por solos resistentes à erosão.

ESTADO DO TOCANTINS

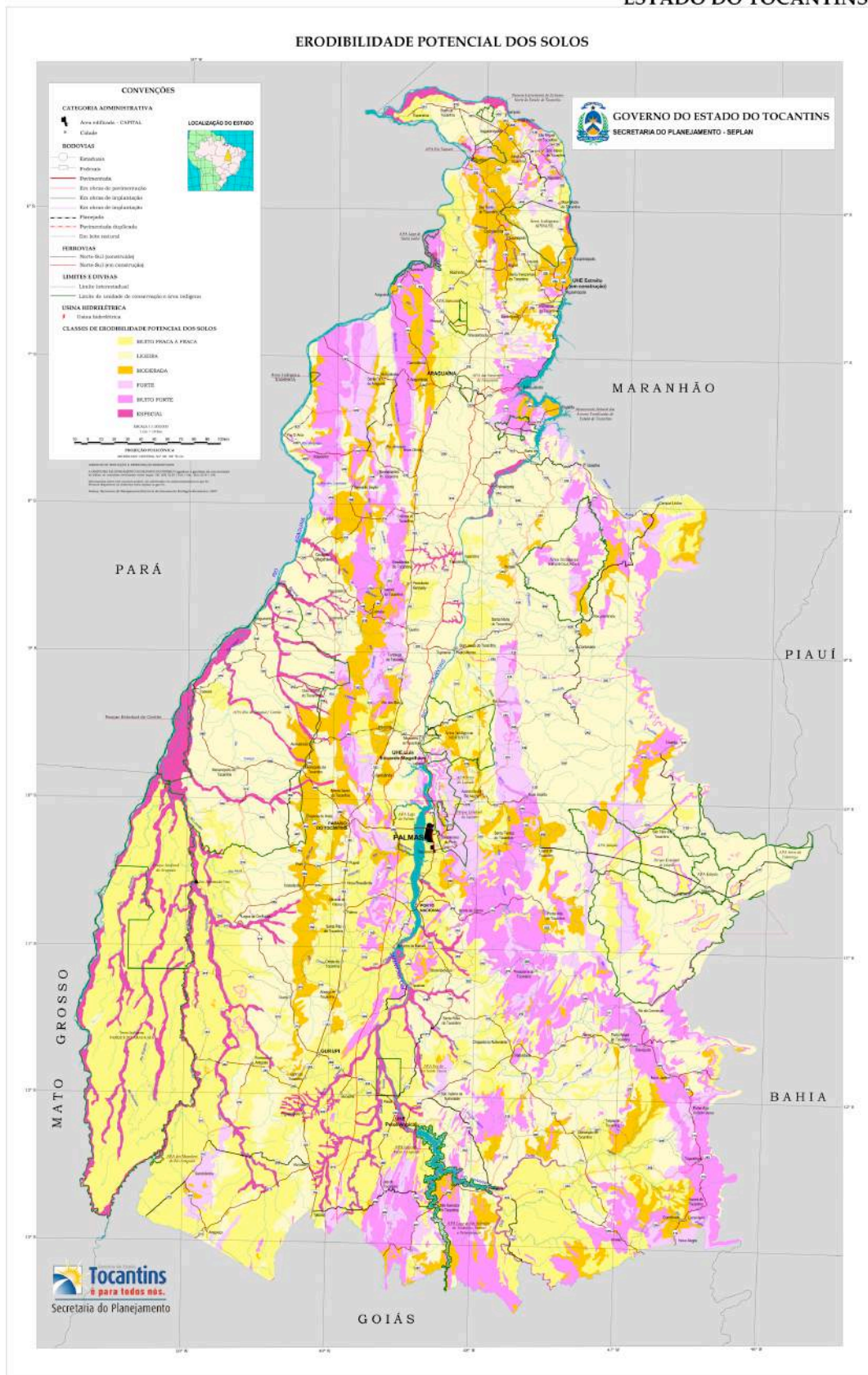


Figura 27 – Mapa de erodibilidade potencial dos solos, Estado do Tocantins.
Fonte: Governo do Estado do Tocantins, Secretaria do Planejamento, 2008

Dentre outros efeitos, os processos erosivos também se manifestam pelo assoreamento de cursos d'água e de reservatórios, assim como pela deterioração da qualidade destas águas. Os materiais carregados durante o processo erosivo terminam por se depositar nas cotas mais baixas de rios, lagoas, açudes e reservatórios, vindo a alterar as respectivas geometrias e dinâmicas de funcionamento.

A esse respeito existe estudo sobre Controle de Erosão realizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica da Secretaria de Energia e Saneamento do Estado de São Paulo, destacando às paginas 56 a 58 (SÃO PAULO, 1989):

Uma das mais sérias consequências provocadas pelo assoreamento é a promoção de enchentes e a perda de capacidade de armazenamento d'água, gerando problemas de abastecimento e de produção de energia.

Tendo em vista a gravidade desses problemas, é fundamental contemplá-los nos estudos regionais de erosão. Entretanto, a carência de dados relacionados ao assoreamento de cursos d'água e enchentes obtidos por monitoração das bacias hidrográficas, dificulta sobremaneira a realização de estudos que permitam regionalmente quantificar ou mesmo qualificar o impacto da erosão nos recursos hídricos.

Apesar dessas dificuldades, os estudos realizados na Bacia do Peixe-Parapanema permitiram desenvolver uma metodologia de análise dos impactos da erosão nos cursos d'água, destacando, satisfatoriamente, as sub-bacias consideradas de maior criticidade quanto aos fenômenos de erosão e assoreamento (Figura 28).

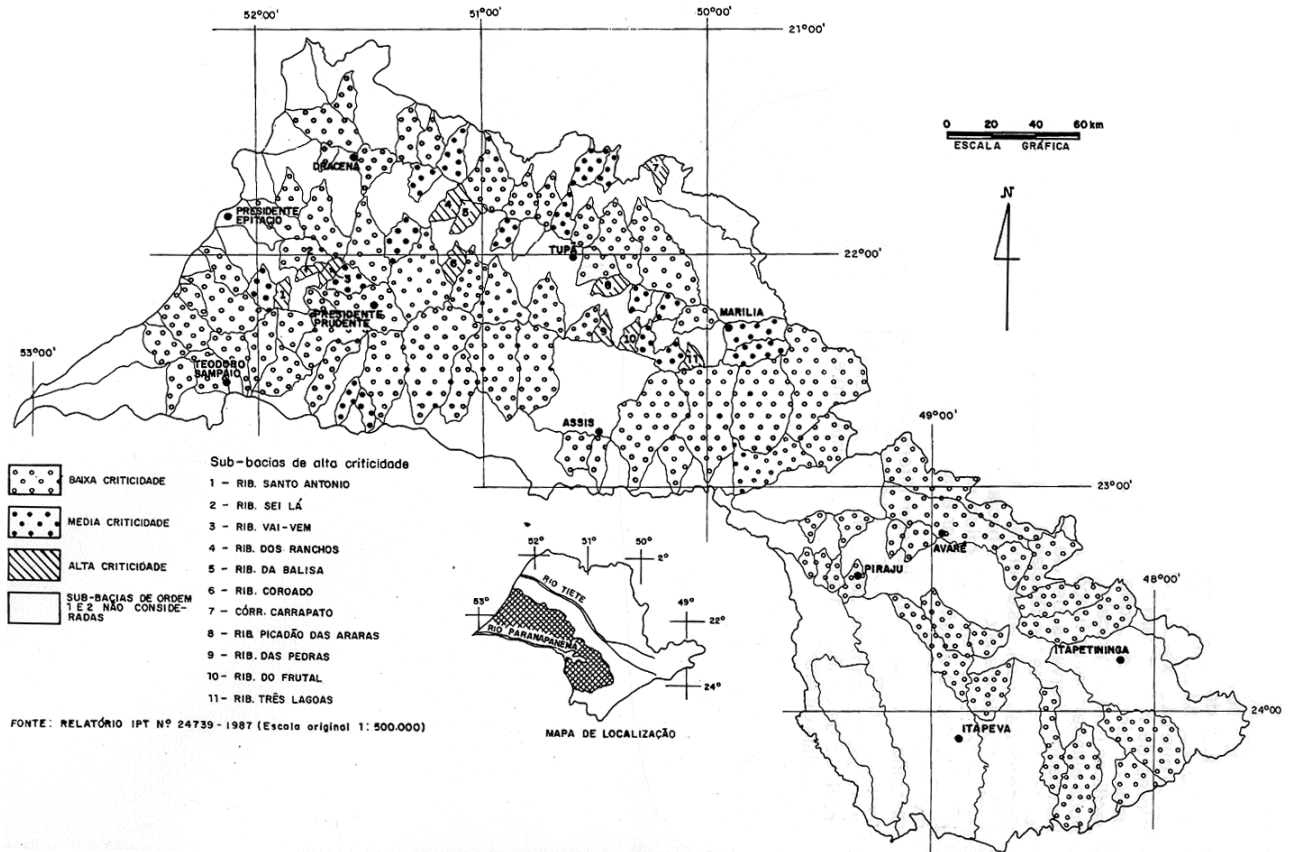


Figura 28 – Mapa de criticidade das sub-bacias quanto ao impacto da erosão nos recursos hídricos.
 Fonte: SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento.
 Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989

A determinação das áreas críticas quanto ao impacto da erosão nos recursos hídricos realizou-se através dos seguintes passos, abaixo relacionados:

1. Elaboração de mapa de sub-bacias de drenagem. Esse mapa foi confeccionado a partir da delimitação de sub-bacias de mesma ordem;

2. Classificação das sub-bacias quanto à tendência de vazões máximas de enchente. Tendo em vista a carência de registros de medidas de vazão, esta atividade realizou-se através de métodos indiretos, utilizando-se o cálculo do índice de compacidade (K_c), com a relação obtida através da seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \cdot P \cdot A^{-1/2}$$

Onde: K_c = índice de compacidade

P = perímetro da bacia de drenagem

A = área da bacia de drenagem

Desde que não existam outros fatores intervenientes, menores valores de K_c indicam maiores potencialidades da bacia em produzir picos de enchente elevados.

Após estabelecer as funções entre K_c e A com vazões máximas, foram correlacionados intervalos de vazões máximas com valores da relação K_c/A , tendo-se então as tendências das sub-bacias quanto à ocorrência de vazões máximas de enchente;

3. Elaboração de mapa das sub-bacias afetadas por alto potencial de erosão. Este mapa foi obtido pela integração do mapa de áreas de risco à erosão laminar e do mapa de áreas de risco a ravinas e voçorocas;

4. Classificação das sub-bacias com diferentes níveis de criticidade quanto ao impacto da erosão, sendo as mais críticas aquelas que apresentaram simultaneamente maior tendência a vazões máximas de enchentes e maior porcentagem em área de altos potenciais de erosão.

Quadro 4 – Determinação de áreas críticas quanto ao impacto da erosão em recursos hídricos.

Fonte: SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento.

Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989.

7 OBRAS PARA CONTENÇÃO DE EROSÕES

Segundo Conciani (2008), “o controle de erosão não é feito apenas com uma obra ou uma ação”. Diversas ações são aplicáveis de modo a se prevenir e combater erosões de solos. De acordo com Zoccal (1998) foi possível executar a recuperação de estradas vicinais na região oeste do estado de São Paulo, consistindo na recomposição de taludes, na elevação do leito carroçável, no parcelamento do trecho em várias secções para captação de águas pluviais, na implantação de lombadas para redução da velocidade da água e na construção de canais lindeiros que impedem a entrada de água na estrada.

Algumas obras de engenharia utilizados para prevenir, controlar e recuperar áreas atingidas por erosão, são as seguintes:

7.1 COMPARTIMENTALIZAÇÃO DE FEIÇÕES

A compartimentalização de feições é baseada ou no regime de águas superficiais e sub-superficiais, ou na interceptação de solos e rochas, ou nos mecanismos erosivos predominantes.

A técnica de compartimentalização baseada no regime de águas superficiais e sub-superficiais é fundamentada no conceito de que o agente da erosão é a água.

Nesse contexto pode-se ter um trecho hipotético com a água atuando de modo superficial e intermitente, provocando o arrancamento e arraste de partículas e outro trecho hipotético com a água brotando do encontro de uma escavação com o lençol freático e atuando de forma intermitente ou contínua.

A técnica de compartimentalização, baseada na interceptação de solos e rochas, fundamenta-se na classificação pedológica do solo e considera a interferência da transição entre camadas de solos ou entre camadas de solos e de rochas no processo erosivo.

A compartimentalização baseada nos mecanismos erosivos predominantes opera com subdivisões por trechos. Por exemplo, um trecho sujeito à queda de taludes laterais, outro trecho sujeito a *piping* e outro ainda submetido a escavação de material de fundo (CONCIANI, 2008).

Em todos os casos, deve-se fazer uma determinação do volume de água a ser disciplinado, de modo a se dimensionar adequadamente as obras planejadas contra a erosão.

De uma forma geral o volume de água que escoar superficialmente após uma chuva depende da área de contribuição, da permeabilidade e capacidade de infiltração do solo, da topografia da área de contribuição, da condição de umidade do solo, da intensidade e duração da chuva e da distância a ser percorrida pela água até o ponto de interesse. Para fins de estimativa expedita, a vazão em um ponto, devido ao escoamento superficial, será dada pela equação:

$$Q = 2,7 \times 10^{-5} C.i.A. \omega$$

Onde:

$$Q = \text{vazão (m}^3/\text{s)}$$

$$C = \text{coeficiente de deflúvio ou coeficiente de } run\ off$$

$$i = \text{intensidade da precipitação (mm/h)}$$

$$A = \text{área de contribuição (m}^2\text{)}$$

$$\omega \text{ (ômega)} = \text{coeficiente de retardamento } (\omega=1/A^{1/n})$$

O valor de n pode ser adotado com base na declividade média do terreno:

$$n = 4 \text{ para declividade inferior a } 5/1000$$

$$n = 5 \text{ para declividade até } 1/100$$

$$n = 6 \text{ para declividade superior a } 1/100$$

O coeficiente de deflúvio é a relação entre o escoamento total em uma área e a precipitação total nesta mesma área. Isto é, durante a precipitação uma parte da água se infiltra no solo ou evapora. Outra parte escoar superficialmente. A relação entre estas frações dá o coeficiente de deflúvio em uma área. Desta forma este coeficiente precisa ser medido experimentalmente. Para tal, existem diversos métodos como o das hidrógrafas, o da hidrógrafa unitária, hidrógrafa unitária sintética e outros.

Quadro 5 – Determinação do volume de água que escoar em uma bacia hidrográfica ou em uma área de interesse.

Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

O Quadro 5 indica o coeficiente de deflúvio ou coeficiente de *run off* que é exemplificado na Tabela 6 a partir de experiências de autores diversos, utilizáveis exclusivamente para estimativas iniciais.

Situação / Solo	C
Áreas urbanas densamente habitadas com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 – 0,90
Áreas urbanas com densidade habitacional menor, com ruas e calçadas pavimentadas	0,70
Zonas residenciais com número médio de habitações	0,55 – 0,65
Zonas residenciais com pequena densidade habitacional	0,35 – 0,45
Parques, superfícies arborizadas, campos de esporte	0,10 – 0,20
Vias macadamizadas e passeios cascalhados	0,15 – 0,30
Quintais e lotes vazios	0,10 – 0,30

Tabela 6 – Coeficientes de deflúvio para alguns solos e situações. Adaptado de Garcez e Alvarez (1988).
Fonte: CONCIANI, Wilson, 2008.

A previsão de chuvas para o dimensionamento de obras de engenharia sempre merece estudos de campo detalhados e prudentes. Conciani (2008, p. 110) coloca

O valor da intensidade pluviométrica a ser empregado nesta estimativa deve levar em conta a distribuição de chuvas na região. Também deve ser levado em conta o tipo da obra a ser estudada. Obras provisórias devem levar em conta períodos de recorrência pequenos que, em geral, não abrangem a possibilidade de eventos mais severos. Por outro lado, obras duradouras e de maior responsabilidade devem observar períodos de recorrência longos para a definição de valores da intensidade da precipitação a ser considerada. Em regiões tropicais e/ou equatoriais ocorrem grandes precipitações em períodos de tempo pequenos e com frequência maior que as geralmente apontadas na literatura internacional. Ao se observar a série histórica de precipitações deve-se considerar todo o período de recorrência.

7.2 CANAIS DE DRENAGEM

Os canais de drenagem procuram disciplinar as águas escoadas e retirar sua energia. Usualmente a água é deslocada da região onde poderia ocorrer ação erosiva e levada ou para reservatórios, ou para locais de dissipação de energia, tais como pedreiras naturais ou estruturas específicas. Dessa forma a água pode evaporar ou se infiltrar, não havendo agressão à paisagem.

Existe um cálculo de dimensionamento de canais de drenagem baseado na determinação do volume de água anteriormente mostrado, mas com particularidades de revestimentos e de geometria que fogem ao objetivo deste trabalho.



Figura 29 – Canal de drenagem

Fonte: http://www.idrc.ca/en/ev-33946-201-1-DO_TOPIC.html.

7.3 – DISSIPADORES DE ENERGIA HIDRÁULICA

Na dualidade escoamento de água–erosão deve-se diminuir a energia da água, de modo a reduzir a possibilidade de erosões. Conciani (2008, p. 116) coloca

Uma vez que a água tem que escoar, é preciso limitar o seu poder erosivo. Para limitar o poder erosivo da água empregam-se estruturas que diminuam a sua velocidade. Uma estrutura simples que pode ser empregada na proteção de taludes é o dissipador de energia da água. Esta estrutura nada mais é que um canal construído com a forma de escada. A cada vez que a água desce um degrau ela perde a energia da queda e recomeça a descida. Assim, no último degrau a água terá apenas a energia de sua última queda. Isto é, a energia será aquela de uma queda de alguns centímetros e não de alguns metros como seria se o talude não tivesse sido escalonado.

7.4 COBERTURA MATERIAL E SINTÉTICA

Os solos e taludes podem ser recobertos com gramíneas naturais, que retêm o solo e retiram energia da água corrente.



Figura 30 – Cobertura de grama sobre talude no canteiro de obras da PCH São Sebastião do Alto, município de São Sebastião do Alto, RJ.

Fonte: GARCIA, Ricardo de O., Energisa Soluções, 2009.

Quando a eficiência de mantas de grama for baixa ou de desenvolvimento com prazo longo, pode-se aplicar coberturas sintéticas baseadas em:

- Pedras e restos de madeira;
- Pinturas com látex e emulsão betuminosa
- Concreto projetado

Conciani (2008, p. 119) coloca

Esta solução visa impermeabilizar a superfície do solo impedindo a ação da água e do vento. Adicionalmente tem-se um ganho de resistência que pode contribuir para a estabilidade da encosta. Este tipo de solução encontra apoio nos meios técnicos e urbanísticos devido ao baixo custo de implantação e manutenção. Em geral estes custos são mais baixos que aqueles decorrentes de plantio de grama, quer seja por mudas (em placas), quer seja por hidrossemeadura. Por outro lado, devido ao aspecto ambiental, a vegetação tem seus defensores.

7.5 RECOMPOSIÇÃO DE TALUDES

Quando um talude tem sua estabilidade ameaçada, é necessário se proceder a uma recomposição que modifique sua geometria e o proteja da ação erosiva da água. O círculo de possível ruptura deve ser recalculado, a declividade abatida e bermas devem ser instaladas, em conjunto com canaletas de drenagem e aplicação de hidrossemeadura. Conciani (2008, p. 57-58) diz

A recomposição de taludes é uma técnica bastante importante na revitalização e controle de áreas degradadas pela erosão. Esta técnica consiste em retificar a inclinação do talude de voçorocas, ravinas e de áreas sujeitas à erosão para diminuir a declividade. Com as declividades menores e os perfis lineares ou côncavos, pode-se reduzir a erodibilidade e tornar os taludes mais estáveis. Além disto, é possível recobrir estes taludes com material que venha a reduzir a ação do vento e da água.

Na recomposição de taludes alguns aspectos do projeto devem ser observados com cuidado. Dentre os aspectos de projeto observa-se: a nova inclinação do talude, a forma da encosta gerada, o comprimento da encosta gerada e a cobertura colocada.

O primeiro aspecto a ser analisado é a estabilidade do novo talude. Neste caso empregam-se os métodos tradicionais de análise de estabilidade de taludes tais como Bishop, Spencer, Morgenstern e outros. O coeficiente de segurança mínimo a ser obtido na análise de estabilidade destes taludes é de 1,5.



Figura 31 – Recomposição de taludes

Fonte: http://www.nce.co.uk/Pictures/web/j/x/yDSC_0205.jpg

7.6 DIQUES DE TERRA E DE SACOS DE AREIA

O dique de terra funciona como obstáculo aos sedimentos provenientes da erosão. Reduz a velocidade da água diminuindo sua ação erosiva e retém o material transportado em suspensão.

Os diques de sacos de areia são mais utilizados em obras emergenciais, quando não há tempo nem condições para a construção de diques de terra.

Conciani (2008 , p. 130-131) elabora que

Estes diques consistem no empilhamento de diversos sacos de areia de forma organizada e estável, para conter o avanço do processo erosivo. A água passa através dos vazios deixados entre os sacos com solo e a redução de velocidade obriga o material em suspensão a decantar. Assim, forma-se um depósito por trás dos diques que fortalece a recuperação da área.

As pilhas de sacos têm a mesma configuração de um dique tradicional. Os sacos para este tipo de serviço são, preferencialmente, de polipropileno, de modo a se assegurar maior durabilidade. O polipropileno é mais resistente ao intemperismo e às solicitações mecânicas que geralmente surgem neste tipo de serviço. A primeira solicitação aparece durante o manuseio na preparação dos sacos de terra. As solicitações mecânicas são caracterizadas pelos esforços devidos ao peso da estrutura, ao peso de água e dos sedimentos que chegam ao dique, ao esforço de atrito entre os sacos e as solicitações de punção decorrentes de impactos de pedras, paus e outros objetos.

Os sacos de areia, apesar do nome, devem ser preenchidos com solo local. Isto confere rapidez e reduz os custos. Algumas situações têm levado à adoção de materiais alternativos para aumentar a vida útil deste tipo de estrutura. Dentre estas soluções tem-se o solo cimento plástico e o solo cal. Quando empregados estes materiais, a mistura se torna estável após alguns dias. Particularmente o solo cimento que tem cura hidráulica, tem seu processo de cura estabilizado em um prazo médio de 28 dias. Após este prazo a estrutura está consolidada e não depende mais do saco para manter-se estável. Isto é, o saco foi apenas um invólucro (forma) que ajudou na construção da estrutura.



Figura 32 – Dique de terra

Fonte: http://www.traditional_flood_retention_basin.jpg.

7.7 GABIÕES

Gabiões são vistos com certa frequência em taludes à beira de rodovias, a partir de sua progressiva popularização desde os anos 60. Representam estruturas simples, econômicas e eficazes. Conciani (2008, p. 132 e 134) aponta

Gabiões são estruturas prismáticas, retangulares, construídas em malhas de aço formando hexágonos, que são preenchidas com pedras. De uma forma simplória pode-se dizer que são “caixas” de pedras construídas com redes metálicas. As malhas que servem para conter as pedras têm seu tamanho, características mecânicas e geométricas determinadas em função do ambiente onde serão empregadas e do papel que este elemento assume no projeto. As caixas são montadas na obra e colocadas no local de instalação. Neste local é que os gabiões são cheios de pedras e as tampas são fechadas e costuradas.

O emprego de gabiões na prevenção e controle de erosão segue duas diretrizes: a redução da velocidade da água e cobertura do solo. Em geotecnia os gabiões acumulam outras funções. Dentre as funções mais comuns dos gabiões pode-se destacar a estabilização de encostas.



Figura 33 – Muro de arrimo por gravidade feito com gabiões. Petrópolis, RJ.
Fonte: dicionario.pro.br Autor: Eurico Zimbres

8 CONCLUSÃO

A questão da erosão em PCH's representa um impacto muitas vezes significativo e que deve ser eliminado principalmente através de planejamentos precoces e detalhados, uma vez ser preferível evitar a erosão do que remediá-la.

Do ponto de vista do gestor ambiental, é de fundamental importância atentar para a instrumentação cognitiva disponível nos diversos campos das ciências físicas, de modo a se interpretar corretamente a possibilidade de erosão em uma bacia hidrográfica onde se cogite construir uma PCH.

Uma vez comprovada a viabilidade econômica de uma PCH planejada, seus responsáveis devem alargar e aprofundar os levantamentos de campo de toda(s) a(s) microbacia(s) hidrográfica(s) na(s) qual(is) o empreendimento se situe, de modo que tais informações subsidiem com vigor a elaboração do Projeto Básico de Engenharia (Ver Figura 7 – Fluxograma de Implantação de uma PCH).

Além dos outros prováveis impactos ambientais, aquele representado pela erosão deve ser precisamente antecipado, dentro de um possível enquadramento em sistemas territoriais naturais (Sotchava ou Tricart) e levantando-se a geometria correta da(s) microbacia(s) hidrográfica(s), a estrutura geológica da região, as classificações pedológicas relacionadas, as variabilidades topográficas completas, a caracterização vegetal, os diferentes usos e ocupações desde tempos anteriores e toda a dinâmica de chuvas, ventos e insolação.

Tal conjunto de resultados poderá então conduzir à percepção de uma maior ou menor probabilidade de surgimento / agravamento de erosão na região, de modo que se acentue ou não a necessidade de investigações adicionais e mesmo, que se explorem localidades distintas para o empreendimento, caso o quadro desenhado venha a se mostrar como muito favorável a erosões.

Classificações claras da composição química e das granulometrias dos solos envolvidos, dos possíveis caminhos de percolação da água através da antecipação dos coeficientes de permeabilidade, inferências a respeito das diferentes resistências ao cisalhamento de vários trechos, análises das ocupações antrópicas e das coberturas vegetais, poderão, em conjunto, encaminhar a mencionada probabilidade. O concurso de técnicas de sensoriamento remoto, as manifestações hidrológicas mensuráveis, o contacto com as populações locais, o apoio de testes geotécnicos e a conseqüente edição de mapas temáticos integradores de todas essas qualificações físicas, ambientais e antrópicas, deverá conduzir a um maior rigor dessa visão antecipada sobre erosão no local.

Vale ressaltar que todas essas ações podem normalmente fazer parte dos estudos de caracterização de uma região passível de receber um empreendimento energético, com a sua menção no presente trabalho se vinculando todavia a um possível e necessário maior grau de rigor aplicado às análises, ainda dentro de orçamentos economicamente aceitáveis.

A ocorrência de ciclos completos – viabilidade do empreendimento, estudos amplos, detalhamentos técnicos, construção, entrada em operação, captação do surgimento de erosão, remediação da erosão – pode vir a fazer deslanchar uma metodologia prática e com elevado grau de acerto a respeito do fenômeno erosão, se as diversas manifestações forem adequadamente registradas e divulgadas. Ao se agir dentro dessa filosofia de ampliação dos conhecimentos sobre erosão em PCH's, irão os envolvidos possivelmente terminar por esbarrar nas limitações dos diferentes universos cognitivos, provocando-se a sua discussão e melhor delineamento.

Ao se investigar a amplitude da questão da erosão em PCH's, foram vistas algumas interpretações e soluções dentro de diversas ciências, superficialmente apontadas nas páginas anteriores.

Embora essa multidisciplinaridade se constitua na proposta cognitiva capaz de melhor encaminhar o tópico erosão em PCH's, ela representa um desafio ao gestor ambiental, que deverá cada vez mais adentrar em outros compartimentos teóricos, seja nas ciências da natureza, seja nas ciências sociais.

O que se conhece a respeito de erosões em PCH's poderá ser adicionalmente sistematizado e enriquecido, de modo a se ofertar à sociedade os encaminhamentos anteriores dos potenciais erosivos, principalmente pelo conceito de microbacias hidrográficas e pelo uso de mapas temáticos, assim como a se incrementar a proteção aos recursos naturais.

Mais do que a serenidade da certeza, o trabalho apontou a inquietude advinda da insuficiente exploração, a percepção da necessidade de evolução epistemológica associada ao meio físico brasileiro e a lembrança do esforço que deverá ser cada vez mais aplicado para se lidar melhor com o meio ambiente no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABREU FILHO, Nylson Paim de. (Org). **Constituição Federal, Legislação Administrativa, Legislação Ambiental. – Atualizado até janeiro de 2010.** 8. ed. Porto Alegre. Editora Verbo Jurídico Ltda., 2010, 1032 p.

AB' SÁBER, Aziz Nacib. **Ecosistemas do Brasil.** São Paulo: Metalivros, 2006.

AB' SÁBER, Aziz Nacib. Erosividade versus erodibilidade. **Scientific American Brasil**, mar. 2006.

AB' SÁBER, Aziz Nacib. Estudo do cotovelo fluvial de Guararema. **Scientific American Brasil**, abr. 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Caracterização da bacia hidrográfica do rio Doce.** 2001. Disponível em: <<http://www.google.erosaoempchs>>. Acesso em 6 novembro 2009.

ALMEIDA, Gerson Salviano de; RIDENTE JUNIOR, José Luis. Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., Goiânia.

BOARI, G et al. Reservoir sedimentation : modelling and control. In: CHOWDHURY, Robin N.; SIVAKUMAR, Siva M. Environmental management GEO-Water and engineering aspects. Rotterdam: Brookfield, 1993. p. 533-541.

BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. **Relatório do estudo para o controle da erosão no noroeste do estado do Paraná.** Curitiba, junho 1972.

CABRAL, João Batista Pereira et al. Intensidade pluviométrica e vulnerabilidade à erosão do solo na área de drenagem do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG. In: Revista eletrônica do curso de geografia do campus avançado de Jataí, GO. Jataí, 2005. Disponível em: <<http://www.google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

CARLSTRON FILHO, Carlos; PRANDINI, Fernando Luiz. A ocupação urbana e o assoreamento de reservatórios de abastecimento na R.M.S.P. Reservatórios Isolina Superior e Inferior. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., 1984, Belo Horizonte. **Anais...**São Paulo, 1986. v.2, p. 209-222

CASTRO, Selma Simões de. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. São Paulo, n. 17, p. 38 – 60, 2005.

CAT LEO CONSTRUÇÃO, INDÚSTRIA E SERVIÇOS DE ENERGIA SA. PCH Conceição do Formoso, MG. Plano de controle ambiental. 2007. 1 CD-ROM.

CAT LEO CONSTRUÇÃO, INDÚSTRIA E SERVIÇOS DE ENERGIA SA. PCH Conceição do Formoso, MG. Pequena central hidrelétrica de Conceição do Formoso, MG. Relatório de controle ambiental. 2007. 1 CD-ROM.

CAT LEO ENERGIA SA, AGRAR. Usina hidrelétrica de São Sebastião do Alto, RJ. PBA – projeto básico ambiental. 2006. 1 CD-ROM.

CAT LEO ENERGIA SA, LIMIAR ENGENHARIA AMBIENTAL. PCH Barra dos Carrapatos, MG. Relatório de controle ambiental, volumes I e II. 2006. 1 CD-ROM.

CAT LEO ENERGIA SA. Usina hidrelétrica Caju, RJ. PBA – projeto básico ambiental. 2006. 1 CD-ROM.

CAT LEO ENERGIA SA. Usina hidrelétrica Santo Antonio, RJ. PBA – projeto básico ambiental. 2006. 1 CD-ROM.

CONCIANI, Wilson. **Processos erosivos: Conceitos e ações de controle**. Cuiabá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, 2008. 148p.

CORDEIRO NETTO, O. de M..Interação de Órgão Gestor de Recursos Hídricos com os Comitês de Bacias Hidrográficas. In: ENCONTRO ESTADUAL DE COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E CONSELHOS DE USUÁRIOS DE AÇUDES, (CBHCOUA) 2., 2007. Gravatá, PE. **Anais eletrônicos...**.Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 5 maio 2010.

CRAIG, Robert F. **Mecânica dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro, RJ. LTC Editora, 2007.

DESTEFANI, Edilaine Valéria; SOUZA, Edvard Elias de. Caracterização da erosão marginal no rio Paraná na região de Porto Rico: período pré e pós barragem de Porto Primavera. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., Maringá, 2002. Disponível em: <<http://www.google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

ENERGISA SOLUÇÕES, ESSE ENGENHARIA E CONSULTORIA. Pequena central hidrelétrica Laje, MG. Estudo de impacto ambiental. 2005. 1 CD-ROM.

ENERGISA SOLUÇÕES, LIMIAR ENGENHARIA AMBIENTAL. PCH Barra dos Carrapatos, MG. Plano de controle ambiental. 2009. 1 CD-ROM.

EUCLYDES et al. Atlas digital das águas de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/impacto_ambiental_relevante_na_bacia_do_rio...> Acesso em 6 novembro 2009.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GALLOIS, Georges. **Manuel du mécanicien de mer, tome 1, mécanique**. Anvers, Bibliothèque de l'Officier de la Marine Marchande Belge, Association Maritime Belge. folha de rosto.

GARTNER, Ivan Ricardo. **Avaliação Ambiental de Projetos em Bancos de Desenvolvimento Nacionais e Multilaterais**. Editora Universa, Universidade Católica de Brasília, 2001. 229p.

GERALDO, Amilton; DINIZ, Noris Costa. Gestão de potenciais hidráulicos: aspectos geomecânicos de projetos de PCH's na otimização dos investimentos de novos agentes do setor elétrico. In: Geomecânica 2002. Disponível em: <<http://www.google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Tubarão e complexo lagunar. Plano setorial de energia hidrelétrica**. p. 64-81. Disponível em: <<http://www.google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

GRANDO, Ângela et al. Erodibilidade do solo de uma microbacia experimental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., p. 19. Disponível em: <<http://www.google.inderbitzen engineering>> Acesso em 26 maio 2010.

GUTHRIE BROWN, J. **Hydro-electric engineering practice, volume 1, civil engineering**. London, Glasgow: Blackie & Son Limited, 1958. p. 372 – 393.

HOUAISS, Antonio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2001.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **ALMANAQUE BRASIL SOCIOAMBIENTAL**. 2. ed. São Paulo, 2007.

KWAN, Ricky T.F.; MAYO, Neil. Study of riverbank erosion and design of bank protection works Mekong River Project. In: CHOWDHURY, Robin N.; SIVAKUMAR, Siva M. Environmental management GEO-Water and engineering aspects. Rotterdam: Brookfield, 1993. p. 579-583.

LELIAVSKY, Serge. Design of dams for percolation and erosion. In: Design textbooks in civil engineering, v. III. Londres, Chapman and Hall, 1965.

LEMOS, Poliana Costa; FERREIRA, Elizabeth. Análise da relação das áreas de forte risco a erosão com os fragmentos de vegetação nativa arbórea na área de influência da UHE-Funil. In: SBSR-INPE, 11., 2003, Belo Horizonte, **Anais...**p.1323-1329. Disponível em: <http://www.google.erosaoempch>. Acesso em 5 novembro 2009.

LIMA, Fredy Ravazzi; MARTINELLI, Marcello. As unidades ecodinâmicas na cartografia ambiental de síntese. In: Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo, 1., 2008, Rio Claro. p. 440-448. Disponível em: <<http://google.unidadesecosdinamicas>>. Acesso em 10 maio 2010.

LOPES, Rafael Emílio et al. O uso de BFTS acionando geradores de indução como solução de baixo custo e eficiência no que se refere a micro e mini centrais hidrelétricas. Universidade Federal de Minas Gerais / Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

MARIOTONI, Carlos Alberto; MAUAD, Frederico Fábio. Incidências ambientais de aproveitamento de baixa potência em Portugal. Unicamp e Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Disponível em: <<http://google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

MARQUES, João Fernando. **Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental**. Tese (Doutorado em Economia) Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MELO, Alexandre Vaz de; MIRANDA, Daniel Augusto de; DIVINO, Paula Luciana. Principais deteriorações em estruturas civis de PCH's: a experiência da CEMIG. In: Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, 6., 2008, Belo Horizonte. p. 1-12. Disponível em: <<http://google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

MELO, Dirce Ribeiro de. Geossistemas: sistemas territoriais naturais. Depto. de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em <<http://ivairr.sites.uol.com.br/dirce.htm>>. Acesso em 10 maio 2010.

MOSS, Gérard; MOSS Margi. Erosão na beira do rio das Mortes onde houve desmatamento. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.brasildasaguas.com.br/galerias-bda/gal-tocantins/galeria.html>>. Acesso em 5 novembro 2009.

NAHUZ, Cecília dos Santos; FERREIRA, Lusimar Silva. **Manual para normalização de monografias**. 4 ed. São Luís: Visionári, 2007.

REDDY, Krishna R. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Laboratory, University of Illinois at Chicago. Disponível em: <<http://tiger.uic.edu/~kreddy/>>. Acesso em 20 maio 2010.

RODRIGUES, Cleide. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. Revista do Departamento de Geografia. USP. São Paulo, n.14, p.69-77, 2001.

SALVADOR, José do Lago Gonçalves. **Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios**. 2. ed. São Paulo: Companhia Energética de São Paulo, 1989.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas**. São Paulo: DAEE / IPI, 1989. 92p.

SILVA, Leomar Pereira de; MANIESI, Vanderlei. AVALIAÇÃO DOS LIMITES DE USO E OCUPAÇÃO E AS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DA SUB-BACIA DO RIO ENGANADO – RONDÔNIA: UMA PROPOSTA DE USO SUSTENTÁVEL. GEOCIÊNCIAS. São Paulo: UNESP, v.24, n.3 p 267-276, 2005. Disponível em: <<http://www.google.erosaoempchs>>. Acesso em 5 novembro 2009.

SILVEIRA, Claudinei Tabora da. **Estudo das unidades ecodinâmicas da paisagem na APA de Guaratuba/PR: subsídios para o planejamento ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2005.

SOUSA, Daniel Vieira de; DELESPOSTE, Aline Guizardi; FARIA, André Luiz Lopes de. Geomorfologia aplicada à assessoria às comunidades atingidas por barragens: o caso da pequena central hidrelétrica Cachoeira da Providência, em Pedra do Anta – MG. Disponível em: <<http://google.erosaoempchs>>. Acesso em 6 novembro 2009.

STIPP, Marcelo Eduardo Freres. **A ocupação do solo e a problemática da arenização e do voçorocamento no município de Paranavaí, PR.** Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, São Paulo, 2006.

TOCANTINS (Estado). Secretaria do Planejamento. 2008. 1 mapa.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Sistema Integrado de Bibliotecas. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: documento eletrônico e impresso. Parte I (ABNT).** 2ª edição. São Paulo: 2009.102p.

Usina hidrelétrica Caju, RJ. EIA/RIMA. 2003. 1 CD-ROM.

Usina hidrelétrica Santo Antonio, RJ. Estudo ambiental. 2004. 1 CD-ROM.

Usina hidrelétrica São Sebastião do Alto, RJ. EIA/RIMA. 2003. 1 CD-ROM.

VIEIRA, José Fonterrada. Estudos dos processos erosivos mais extensivos. 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

WICANDER, Reed; MONROE, James S. **Fundamentos de Geologia.** 4. ed. São Paulo, SP. Cengage Learning, 2009.

GLOSSÁRIO

CAUDAL – Corrente, rio, descarga fluvial, que jorra ou escorre em abundância.

CENOZÓICO – Tempo durante o qual se depositaram sequencialmente as rochas no decurso de 65 milhões de anos até o presente.

CISALHAMENTO – Fenômeno de deformação ao qual um corpo está sujeito quando as forças que sobre ele agem provocam um deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante.

CLINO – Ligado a inclinação.

COLOIDALMENTE – Referente a COLÓIDE.

COLÓIDE – Sistema sólido, líquido e gasoso, aparentemente homogêneo, que contem uma fase dispersante e outra dispersa, com partículas de tamanho intermediário entre as de uma solução verdadeira e as de uma suspensão, e que lhe conferem propriedades peculiares de dispersão de luz, passagem através de membranas, etc.

CÔNCAVO – Diz-se de uma superfície curva, em relação a um ponto, quando o seu centro de curvatura e este ponto estão do mesmo lado da superfície.

CONVEXO – Que tem relevo externo curvo, arredondado, bojudo.

CRETÁCEO – Intervalo de tempo geológico compreendendo aproximadamente entre 135 a 65 milhões de anos.

DECÍDUA – Que cai.

DECIONAL – Relativo ou pertencente a DECÍDUA.

DETRÍTICO – Formado com os fragmentos ou detritos oriundos da destruição de outras rochas.

DISTRÓFICO – Em que ocorre distrofia, com acúmulo de grande quantidade de matéria orgânica, mas poucos nutrientes, em brejos e pântanos.

EDÁFICO – Pertencente ou relativo ao solo; da parte agrícola ou coloidalmente mais ativa do solo.

EPISTEMOLOGIA – Reflexão geral em torno da natureza, etapas e limites do conhecimento humano, especialmente nas relações que se estabelecem entre o sujeito indagativo e o objeto inerte, as duas polaridades tradicionais do processo cognitivo. Teoria do conhecimento.

EPISTEMOLÓGICO – Relativo à EPISTEMOLOGIA.

ESTACIONAL – Próprio de uma estação.

EUTRÓFICO – Fértil ou de elevada saturação das bases (diz-se de solo).

GEOTÉCNICA – Parte da Geologia que estuda as propriedades dos solos e das rochas em função de projetos de construção.

GRADIENTE – Variação de uma grandeza ao longo de uma dimensão espacial, em uma determinada direção. Variação de certas características de um meio.

HIDROGRAFIA – Ramo da Geografia Física que trata das águas correntes, paradas, oceânicas e subterrâneas.

HIDROLOGIA – Ciência que estuda a ocorrência, circulação e distribuição das diferentes formas de água existentes na superfície terrestre, suas propriedades físicas e químicas e suas interações com o meio ambiente.

HIDROSSEMEADURA – Aspersão de água com sementes e adubo sobre uma área degradada, com o objetivo de reflorestá-la ou protegê-la.

HIPSOMETRIA – Altimetria.

HIPSOMÉTRICO – Relativa à HIPSOMETRIA.

INDERBITZEN – Ensaio de avaliação de erodibilidade de solos através da análise dos sedimentos carreados de uma amostra de solo inserida no fundo de uma rampa, sujeita à erosão superficial causada por um fluxo d'água que cria uma lâmina de água de vazão constante.

LATOSSOLO – Tipo de solo tropical laterítico (produto residual de meteorização de rochas preexistentes com ferro e alumínio) lixiviado, de coloração amarela ou vermelha.

LITÓLICO – Relacionado à LITOLOGIA.

LITOLOGIA – Descrição das rochas, com base em características tais como a cor, composição mineralógica e tamanho de grão.

MESOZÓICO – Intervalo de tempo geológico aproximadamente entre 245 e 65 milhões de anos.

METAESTÁVEL – Diz-se de sistema físico capaz de perder a estabilidade através de pequenas perturbações.

MORFOGÊNESE – Desenvolvimento das formas e estruturas do relevo terrestre.

ONOMÁSTICA – Estudo dos nomes próprios.

OSMOSE – Fluxo do solvente de uma solução pouco concentrada, em direção a outra mais concentrada, que se dá através de uma membrana semipermeável.

OSMÓTICO – Referente a OSMOSE.

PEDOGÊNESE – Processo de formação de solos.

PEDOLOGIA – Uma das disciplinas da ciência do solo que trata especificamente da morfologia, gênese e classificação do solo.

PIEZOMETRIA – Parte da Física que trata da aferição da pressão dos fluidos ou da compressibilidade de substâncias, através do emprego de piezômetros.

PLASTICIDADE – Qualidade do que é PLÁSTICO.

PLÁSTICO – Que se pode esticar ou comprimir sem se romper ou quebrar.

PRÉ-CAMBRIANO – Tempo equivalente a aproximadamente 90% do tempo geológico.

PROTEROZÓICO – Divisão superior de duas grandes divisões do PRÉ-CAMBRIANO, equivalente ao intervalo do tempo geológico compreendido entre 2.500 e 570 milhões de anos.

RECORRÊNCIA – Em HIDROLOGIA representa o tempo entre duas chuvas de intensidades equivalentes, estatisticamente determinado e capaz de orientar o dimensionamento das cotas de operação das usinas e reservatórios.

SESQUIÓXIDO – Óxido de fórmula geral X_2O_n , por exemplo, $Al_2 O_3$.

SILTE – Fragmentos de rocha ou partículas DETRÍTICAS menores que um grão de areia, que entram na formação do solo ou de uma rocha sedimentar.

TOPONÍMIA – Parte da ONOMÁSTICA que estuda os nomes próprios dos lugares.