

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 30/05/00
Ass.: 

METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DO
POTENCIAL DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS COM A UTILIZAÇÃO DE SIG

DEDALUS - Acervo - EESC



31100008606

SISSY ELKHER ABE IAMASAKI



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil - área de concentração Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Woodrow Nelson Lopes Roma

São Carlos
2000

Class.	TESE-EESC
Cult.	2749
Tombo	0112100

311 0000 86 06

1084068

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

I11m Iamasaki, Sissy Elkher Abe
Metodologia para verificação de potencial de pequenas centrais hidrelétricas com a utilização de SIG / Sissy Elkher Abe Iamasaki. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Woodrow Nelson Lopes Roma.

1. Potencial hidráulico. 2. Pequenas centrais hidrelétricas. 3. Variáveis ambientais. 4. Sistema de Informações Geográficas. 5. Desenvolvimento regional.
I. Título.

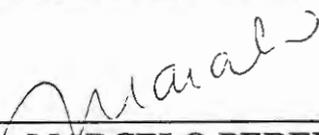
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **SISSY ELKHER ABE IAMASAKI**

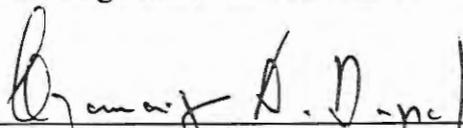
Dissertação defendida e aprovada em 24-03-2000
pela Comissão Julgadora:



Prof. Titular **WOODROW NELSON LOPES ROMA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



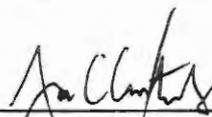
Prof. Associado **MARCELO PEREIRA DE SOUZA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **FRANCISCO ANTONIO DUPAS**
(Escola Federal de Engenharia de Itajubá)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedico
aos meus pais
Cleusa e Shiguemassa Iamasaki

AGRADECIMENTOS

A *Deus e Nossa Senhora* pela dádiva da vida.

À minha mãe *Mirtes Mioko Abe Iamasaki (in memoriam)* com muito carinho e saudade.

Aos meus pais *Shiguemassa Iamasaki e Cleusa Maria Dal Piccolo Iamasaki* pelo exemplo de perseverança, trabalho, e mais ainda, de vida.

Aos meus irmãos *Karin, Ewerton, Maria Angélica e Ana Lúcia* por todo carinho, apoio e acima de tudo por todo direcionamento espiritual tão necessário nos tempos difíceis.

Ao professor *Woodrow Nelson Lopes Roma* pela orientação e paciência no decorrer desta jornada.

Ao CNPq pelos recursos concedidos para realização desta pesquisa.

Aos professores *Marcelo Pereira de Souza, Frederico F. Mauad, Luiz Antônio Daniel* pela ajuda na realização do trabalho.

Ao professor e amigo *Fazal Hussain Chaudhry* por todo apoio e incentivo em todos momentos.

Ao querido *Sidnei* pelo carinho, incentivo e apoio sempre presentes.

Às queridas irmãs adotivas *Thaís, Ana Rita e Maria Paula (Pop)* por todos momentos felizes, e também pelos difíceis, enfim que construíram nossa riquíssima história juntas.

Aos queridos amigos e amigas *Beth, D. Lourdes e família, Marilu, Zezão, Alessandra, Suzy, Tony, Paulinho, Neyson, Diógenes, Gracione, João, Lilia Maria, André, Luciana, Ricardo e Adelino, Luciane, Werner, Dirlane, Marisa, Mari, Montanari, Cláudia, Fernanda, Duda, Amauri e Franzotte*, que próximos ou distantes, auxiliaram na caminhada e acreditaram na concretização desta jornada.

Aos colegas do laboratório *Ruth, Aurélio, Vitinho, Marcão, Marcelo (Minduim), Eva, Karla, João Moreno e Rachel* que contribuíram com valiosos comentários a respeito do trabalho.

Às meninas da secretaria da pós-graduação *Sá e Pavi*, aos *Valdecir e Cido*, e da Biblioteca Central, *Elenise e Trude*, pela criação de um ambiente saudável para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS	4
CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	5
3.1.1. Esforços Internacionais	5
3.1.2. Política Nacional do Meio Ambiente	7
3.2. A EVOLUÇÃO DE NECESSIDADE DE ENERGIA NA SOCIEDADE DE CONSUMO	10
3.3. HIDRELÉTRICAS, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE	11
3.3.1. Impactos ambientais decorrentes da implantação de centrais hidrelétricas	12
3.3.1.1. Susceptibilidade à erosão	18
3.3.2. Potencial Hidrelétrico Inventariado no Estado de São Paulo	20
3.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	21
3.4.1. Software Idrisi	28
3.5. USINAS DE PEQUENO PORTE	29
3.5.1. Vantagens de Minicentrais Hidrelétricas	29
3.5.2. Determinação da potência instalada de uma usina de pequeno porte	37
3.5.2.1. Determinação da Altura de Queda de Projeto	38
3.5.2.2. Determinação da Descarga de Projeto	39

3.5.2.3. Turbinas Hidráulicas.....	44
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1. MATERIAIS.....	46
4.1.1. ÁREA DE ESTUDO	48
4.1.1.1. Localização da Área de Estudo.....	48
4.1.1.2. Caracterização ambiental da área de estudo	52
4.2. MÉTODOS.....	59
4.2.1. Primeira Etapa: Determinação do Potencial hidráulico de quedas potenciais	59
4.2.1.1. Identificação e localização de quedas em potenciais.....	60
4.2.1.2. Determinação da vazão para aproveitamento hidrelétrico.....	63
4.2.1.3. Estudos para geração de energia com reservatório para regularização de vazões.....	66
4.2.2. Segunda Etapa: Avaliação dos Impactos decorrentes da instalação dos empreendimentos.....	68
4.2.2.1. Determinação da susceptibilidade à erosão no entorno das quedas potenciais	69
CAPÍTULO 5: RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	71
5.1. PRIMEIRA ETAPA: DETERMINAÇÃO DOS POTENCIAIS HIDRÁULICOS.....	71
5.2. SEGUNDA ETAPA: INSERÇÃO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA ETAPA DE PLANEJAMENTO DE ATIVIDADE.....	78
5.2.1. EIXO DA QUEDA 1	79
5.2.1.1. Diagnóstico e Análise ambiental do empreendimento	79
5.2.2. EIXO DA QUEDA 6	84
5.2.2.1. Diagnóstico e Análise ambiental do empreendimento	84
5.2.3. EIXO DE QUEDA 7	90
5.2.3.1. Diagnóstico e análise das alternativas em relação ao potencial gerado	91
5.2.3.2. Diagnóstico e análise ambiental das alternativas propostas	92
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	99
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Usina de pequeno porte com adução por tubulação (perfil)	34
FIGURA 2: Usina de pequeno porte com instalação aberta, adução por canal aberto	35
FIGURA 3: Instalação típica de miniusina de derivação. Sugestão baseada em catálogo da Companhia Federal de Fundição	36
FIGURA 4: Mapa de localização da área em estudo	49
FIGURA 5: Mapa de rede de distribuição de energia e infra-estrutura viária da região	50
FIGURA 6: Mapa hipsométrico e da rede hidrográfica da região em estudo	51
FIGURA 7: Imagem para visualização da região em estudo em perspectiva.	52
FIGURA 8: Mapa de vegetação natural da região.....	53
FIGURA 9: Caracterização geológica da região em estudo	55
FIGURA 10 Mapa pedológico da área de estudo.....	58
FIGURA 11: Procedimento de identificação de locais com quedas potenciais no Idrisi.....	62
FIGURA 12: Curva de permanência de vazões mensais do Posto fluviométrico Santa Catarina.....	64
FIGURA 13: Curva de permanência de vazões mensais do Posto fluviométrico Agroceres	64
FIGURA 14: Procedimento para determinação do potencial hidráulico com o auxílio do SIG, Idrisi.....	67
FIGURA 15: Mapa de declividades reclassificadas para definição das quedas em potencial	72
FIGURA 16: Área de contribuição relativa às quedas estudadas.....	74

FIGURA 17: Imagem tridimensional para visualização do entorno da queda 1, gerada através do comando <i>ortho</i> do Idrisi.....	80
FIGURA 18: Aspectos geológicos no entorno do eixo da queda 1.....	81
FIGURA 19: Mapa de vegetação nativa presente no entorno do eixo da queda 1.....	81
FIGURA 20: Mapa hipsométrico, rede hidrográfica e infra-estrutura viária no entorno do eixo da queda 1.....	83
FIGURA 21: Imagem tridimensional para visualização do entorno da queda 1, gerada através do comando <i>ortho</i> do Idrisi.....	84
FIGURA 22: Mapa de geologia no entorno do eixo da queda 6.....	85
FIGURA 23: Aspectos pedológicos no entorno do eixo da queda 6.....	85
FIGURA 24: Mapa de vegetação nativa no entorno do eixo da queda 6.....	88
FIGURA 25: Mapa de susceptibilidade à erosão no entorno do eixo da queda 6.....	88
FIGURA 26: Mapa hipsométrico, rede hidrográfica e infra-estrutura viária no entorno do eixo da queda 6.....	89
FIGURA 27: Imagem tridimensional para visualização do entorno do eixo da queda 7, gerada através do comando <i>ortho</i> do Idrisi.....	90
FIGURA 28: Mapa hipsométrico, rede hidrográfica e infra-estrutura viária no entorno do eixo da queda 7, com detalhes da área de inundação das barragens de regularização propostas.....	95
FIGURA 29: Aspectos geológicos no entorno do eixo da queda 7.....	96
FIGURA 30: Mapa de vegetação natural no entorno do eixo da queda 7.....	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Índice relativo potência instalada <i>versus</i> a área inundada de grandes aproveitamentos brasileiros.....	14
TABELA 2: Síntese dos impactos ambientais de barragem	15
TABELA 3: Potencial hidrelétrico remanescente no Estado de São Paulo	21
TABELA 4: Classificação de centrais hidrelétricas	30
TABELA 5: Método expedito de cálculo da altura líquida.....	39
TABELA 6: Características pedológicas da área de estudo.....	57
TABELA 7: Principais características dos postos fluviométricos Agroceres e Santa Catarina, presentes na região de estudo.....	63
TABELA 8: Valores de vazões regionalizadas dos postos Santa Catarina e Agroceres	65
TABELA 9: Matriz de decisão para determinação da susceptibilidade à erosão.....	69
TABELA 10: Potencial hidráulico de aproveitamento de quedas a fio d'água, resolução do pixel: 50m x 50m	76
TABELA 11: Potencial hidráulico de aproveitamento de quedas a fio d'água, resolução do pixel: 10m x 10m.	76
TABELA 12: Distância encontrada entre quedas de estudo e rede de distribuição de energia elétrica – alta tensão.	78
TABELA 13: Potencial hidráulico de estudo das alternativas de barragens para regularização de vazões na queda 7.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
BD	Base de Dados
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DEPRN	Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais da Secretaria Estadual de Meio Ambiente.
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras
IAC	Instituto de Agricultura de Campinas
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
MCH	Minicentral Hidrelétrica
OLADE	Organização Latino Americana de Energia
ONU	Organização das Nações Unidas
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
SMA/SP	Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SIG	Sistema de Informações Geográficas

TVR	Trecho de Vazão Reduzida
UHE	Usina Hidroelétrica
UNCED	<i>United Nations Conference on Environment and Development</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

H_B	Altura de queda bruta, m.
H_L	Altura de queda líquida, m.
P	Potência, kW
P_R	Potência requerida, kW.
Q	Vazão, $m^3 \cdot s^{-1}$ ou $l \cdot s^{-1}$
Q_{95}	Vazão de 95% de permanência, $m^3 \cdot s^{-1}$ ou $l \cdot s^{-1}$
Q_f	Vazão firme correspondente a Q_{95} , $m^3 \cdot s^{-1}$ ou $l \cdot s^{-1}$
Q_{med}	Vazão média anual da série histórica, $m^3 \cdot s^{-1}$ ou $l \cdot s^{-1}$
Q_n	Vazão necessária para atender demanda de energia na região estudada, $m^3 \cdot s^{-1}$ ou $l \cdot s^{-1}$
ΔQ	Incremento de descarga regularizada, $m^3 \cdot s^{-1}$ ou $l \cdot s^{-1}$
V_R	Volume de Regularização, m^3
η_g	rendimento do gerador
η_t	rendimento da turbina

RESUMO

IAMASAKI, S. E. A. (2000) Metodologia para verificação do potencial de pequenas centrais hidrelétricas com a utilização de SIG. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O presente trabalho visa desenvolver metodologia para encontrar locais propícios para a instalação de mini e micro usinas hidrelétricas, com auxílio da ferramenta Sistema de Informações Geográficas, para suprir a demanda de energia elétrica, inserindo variáveis ambientais no processo decisório. Pequenas centrais hidrelétricas podem ser viáveis, se houver disponibilidade de potencial hídrico próximo a estes locais, em função da baixa tecnologia empregada na sua instalação, manutenção e operação. São abordadas algumas disposições de aproveitamentos de pequenas usinas a fio d'água de acordo com as alturas de queda d'água e as vazões disponíveis. É abordada, também, a maneira de coleta, ou de aquisição, de dados para definir a queda e a vazão necessárias para o cálculo do potencial hidráulico e para a implantação do modelo no SIG. Esta metodologia produz mapas identificando locais com potencial para instalação de microcentrais. Ainda na fase de planejamento de atividade, foram caracterizadas e analisadas variáveis ambientais como características geológicas, pedológicas, vegetação remanescente, susceptibilidade à erosão, distância com a rede elétrica e infra-estrutura viária da região.

Palavras Chaves: potencial hidráulico, pequenas centrais hidrelétricas, variáveis ambientais, sistema de informações geográficas, desenvolvimento regional.

ABSTRACT

IAMASAKI, S.E.A. (2000) Methodology for determining small hydro potential using Geographic Information System. São Carlos, SP. 100p. São Carlos Engineering School, University of São Paulo, Brazil.

Electricity supply is fundamental for regional socio-economic development. Usually electricity in rural areas is very expensive due to excessive costs of long lines and distribution substations. Energy generation through small hydroelectric plants is more viable as it make possible to develop local hydraulic potential. In spite of offering small generating capacity, it is sufficient for local demands and investments. This study presents an application of a methodology to identify and verify small hydroelectric potential sites. This methodology uses Geographic Information System, as a convenient tool, to identify spatially feasible sites for development of small plants close to the energy requirements. Some layouts of run-of-river hydroelectric plants are examined. Further, the procedures are proposed for the acquisition of data necessary for defining available head and discharge to be used in the calculation of power and their implementation in GIS. Environmental viability is analyzed by means of local characterization of geology, pedology, regional remaining vegetation, erosion susceptibility.

Keywords: *hydraulic potential; small hydroelectric plants; Geographic Information System; environmental viability; regional development*

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A energia é essencial para o desenvolvimento social e econômico e para uma melhor qualidade de vida. Boa parte da energia mundial, porém, é hoje produzida e consumida de maneiras que podem não ser mais consideradas sustentáveis caso a tecnologia permaneça inalterada e a qualidade de vida global continue a aumentar substancialmente.

A necessidade de controlar as emissões atmosféricas dos gases que provocam o efeito estufa e de outros gases e substâncias deverá basear-se, cada vez mais, na eficiência da produção, transmissão, distribuição e consumo da energia. Terá, também, uma dependência cada vez maior de sistemas energéticos ambientalmente seguros e saudáveis, sobretudo de fontes de energias novas e renováveis. Todas as fontes de energia deverão ser usadas de maneira a respeitar a atmosfera, a saúde humana e o meio ambiente como um todo.

A AGENDA 21, relatório da **United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)**, chama a atenção à necessidade de efetuar importantes ajustes nas políticas para a agricultura, o meio ambiente e a macroeconomia, tanto no nível nacional como internacional, nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento com vista a criar condições que permitam o desenvolvimento rural e agrícola sustentável. O principal objetivo do desenvolvimento rural e agrícola é aumentar a produção de alimentos de forma sustentável e incrementar a segurança alimentar. Isso deve envolver iniciativas na área da educação, o uso de incentivos econômicos e o desenvolvimento de novas tecnologias, dessa forma assegurando uma oferta estável de alimentos nutricionalmente adequados, garantindo o acesso a essas ofertas por parte dos grupos vulneráveis, paralelamente à produção para os mercados consumidores; o emprego e geração de renda para reduzir a pobreza; e o manejo dos recursos naturais juntamente com a proteção do meio ambiente. (UNCED, 1993)

Para assegurar o sustento de uma população em expansão é preciso dar prioridade à manutenção e aperfeiçoamento da capacidade das terras agrícolas de maior potencial. No entanto, a conservação e a reabilitação dos recursos naturais das terras com menor potencial, com o objetivo de manter uma razão homem/terra sustentável, também são necessárias.

Com o objetivo de criar condições que permitam o desenvolvimento rural e agrícola sustentável, verifica-se a necessidade de uma política de energização rural para que essas várias regiões possam desenvolver-se tecnologicamente, tornando-se viáveis e independentes. O atendimento da demanda de energia dos pequenos produtores promoveria a mecanização do campo, a tecnologia de armazenamento de produtos e de processamento da matéria prima para obter produtos mais elaborados, caracterizando o desenvolvimento sustentável do pequeno produtor, e ainda assim, cumpriria uma função social, ao propiciar a fixação do homem na zona rural.

Procura-se uma alternativa que evite a necessidade de instalação de longas linhas de transmissão de energia elétrica para atendimento da demanda de energia da população situada nas zonas rurais. Este desenvolvimento requer um fornecimento de energia em que a fonte seja segura e sem interrupções, e a um baixo custo para o produtor.

LOBOSCO (1987) atenta para algumas diferenças existentes entre usinas de pequeno e grande porte. Enquanto uma usina de grande porte o custo do equipamento eletro-mecânico amonta pequena parcela do custo total da obra, estes equipamentos em uma pequena central hidrelétrica (PCH) tem uma importância relativa maior. Como segundo fator, o autor cita que PCH são construídas próximas aos centros consumidores de energia, e muitas vezes atuam sobre um sistema isolado, enquanto as usinas de porte, via de regra, situam-se a distâncias consideráveis dos centros consumidores e trabalham sempre interligadas num grande sistema. Por estas características, uma pequena central não pode ser confundida com a miniaturização de uma grande usina.

Além dos impactos de implantação de uma nova usina hidrelétrica, existe um conflito mais intrínseco, no que diz respeito ao uso da energia na região da geração. Trata-se da divergência entre os interesses do setor elétrico e aqueles das

comunidades afetadas pela construção da usina, sobre a questão da partilha desigual dos custos e benefícios dos aproveitamentos hidroelétricos. Dadas as características do sistema elétrico brasileiro, que visa a atender ao mercado nacional, os benefícios diretos da geração de energia por grandes centrais hidrelétricas são difundidos para todo o país, enquanto que os custos ambientais e sociais concentram-se regionalmente no local da produção. No caso das PCH, tanto os custos como os benefícios ambientais e sócio-econômicos terão impactos regionais (VILLELA, 1992).

A tecnologia de miniusinas já está disponível e difundida no Brasil há muito tempo e é bastante acessível, tanto quanto ao acesso a informações como a equipamentos e materiais para a sua implantação. Outra vantagem das miniusinas é a não necessidade de mão-de-obra especializada para as diversas etapas de sua implantação, como instalação, manutenção e operação da miniusina.

O presente estudo pretende analisar os benefícios da implantação de pequenas centrais em uma região ao inserir variáveis ambientais já na fase de planejamento do empreendimento. Isto será garantido através utilização da ferramenta Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a caracterização ambiental da região, com a inserção das variáveis físicas, biológicas e antrópicas. O SIG também deve auxiliar na simulação de locais propícios para instalação de aproveitamento dos potenciais hidráulicos encontrados, e na verificação dos principais impactos causados na região.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em propor um procedimento para verificação de viabilidade de pequenas centrais hidrelétricas para atendimento de demanda de energia na região com auxílio do Sistema de Informações Geográficas. O procedimento consistiu em:

- ✓ Identificação de locais e sítios com potencial hidráulico em função das características locais;
 - ✓ Verificação e determinação do potencial hidráulico local;
 - ✓ Avaliação da viabilidade do potencial local através de análise das características geológicas, pedológicas, matas remanescentes, distância da rede de energia elétrica e infra-estrutura viária presentes na região de implantação dos empreendimentos propostos, ainda na fase de planejamento.
-

CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

3.1.1. Esforços Internacionais

A crescente conscientização da sociedade no que se refere à questão ambiental tem favorecido uma reflexão sobre as perspectivas da humanidade, propiciando um profundo questionamento sobre as condutas sociais de consumo, além de busca de alternativas que harmonizem as atividades humanas com sadias condições ambientais.

A partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo, no ano de 1972, quando foi introduzido o conceito de desenvolvimento ecologicamente sustentado e socialmente justo, surgiu a necessidade de reformulação dos processos de planejamento vigentes, com a incorporação de instrumentos que, por um lado, promovam a minimização dos impactos das atividades produtivas e, por outro, imprimam uma perspectiva mais abrangente no planejamento da utilização dos recursos naturais, com vistas a assegurar sua sustentabilidade a médio e longo prazos, considerando, portanto, os requisitos ambientais na sua concepção (AGRA FILHO, 1993).

Foi o canadense MAURICE STRONG que usou em 1973 pela primeira vez o conceito de ecodesenvolvimento para caracterizar uma concepção alternativa de política do desenvolvimento. SACHS (1976) formulou os princípios básicos desta nova visão do desenvolvimento. Ela integrou basicamente seis aspectos que deveriam guiar os caminhos do desenvolvimento: a) a satisfação das necessidades básicas; b) a solidariedade com as gerações futuras; c) a participação da população envolvida; d) a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; e) a elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas, e f) programas de educação. Conforme BRUSEKE (1995), durante a

década de 70 iniciou-se uma crítica à sociedade industrial e conseqüentemente uma crítica da modernização industrial como método do desenvolvimento das regiões periféricas viraram parte integrante da concepção do ecodesenvolvimento.

Segundo o Relatório da CMMAD (1987), “*desenvolvimento sustentável é desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades*”.

O **Relatório Brundtland** é o resultado do trabalho da CMMAD (da ONU), apoiado nos estudos de três anos de pesquisas e análises, apoiados em depoimentos de centenas de especialistas de quase todos os países, formando um cenário mundial do desenvolvimento e seu impacto nos recursos planetários. O relatório parte de uma visão complexa das causas dos problemas sócio-econômicos e ecológicos da sociedade e política e chama também a atenção para uma nova postura ética, caracterizada pela responsabilidade tanto entre as gerações quanto entre os membros contemporâneos da sociedade atual. O relatório lista várias medidas a serem tomadas, que entre elas se destacam, para este trabalho, a diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias que admitem o uso de fontes energéticas renováveis. Conforme BRUSEKE (1995) “o **Relatório Brundtland** define ou pelo menos descreve o nível do consumo mínimo partindo de necessidades básicas, mas é omissa na discussão detalhada do nível máximo de consumo (e de uso de energia, etc.) nos países industrializados”.

Em relação a maioria dos sistemas de energia renovável, o Relatório da CMMAD (1987) defende a utilização de sistemas de energia renovável, em pequena e média escala, como sendo ideais para aplicações rurais e suburbanas, complementando citando vários benefícios da implantação desses sistemas como a utilização de mão-de-obra locais e no auxílio de se utilizar um recurso renovável local na busca de auto-suficiência regional.

A poluição ambiental é sem dúvida, um produto do próprio desenvolvimento. Por outro lado, a experiência histórica tem demonstrado que a sociedade passou a se preocupar com as conseqüências ecológicas somente após o desenvolvimento ter chegado a um nível elevado. Este fato histórico tem levado os países a procurar seu desenvolvimento econômico a todo custo, sem maiores atenções aos problemas de

degradação do seu meio ambiente. A riqueza lhes proporcionaria condições para correções futuras. Porém, os níveis de degradação ambiental atingiram, nos últimos anos, em alguns países altamente industrializados, índices tão elevados que os investimentos para conter e estagnar esta deterioração têm sido vultosos e significativos. Mesmo para esses países, muitas vezes a poluição chegou a tais níveis que o retorno às condições normais é impossível; a situação é tal, que é preocupação básica que os seres humanos procurem, se puderem, novos equilíbrios ecológicos ou biológicos para sobreviver. Chegou-se à conclusão de que a partir de certo momento, os investimentos crescem em razão geométrica e atingem níveis muitas vezes economicamente insuportáveis. Por esse motivos, o critério de avaliação de crescimento econômico, que se confundia inteiramente com a noção de desenvolvimento, está sendo substituído por novos parâmetros (BARROS, 1975).

Áreas tradicionalmente intocadas ou que sofreram pouquíssimas mudanças por gerações têm sido rapidamente alteradas durante este último século. As conseqüências de algumas mudanças ainda são desconhecidas, alguns porém afirmam que estas podem ser profundas. HAYNES-YOUNG *et al.* (1993) argumentam que “a esta velocidade e escala em que essas mudanças tem acontecido, talvez os sistemas biológicos, sociais e econômicos possam ter uma certa dificuldade em se ajustar, de tal maneira que alguns efeitos possam ser irreversíveis”. Em busca da extensão do efeito desta mudança no meio ambiente, somos cada vez mais forçados a ter uma perspectiva e visão mais integrada.

O propósito básico atrás do desenvolvimento de análises de impacto ambiental, é o de generalizar e fortalecer o papel da análise de longo prazo nas tomadas de decisões e no planejamento governamental (VILLELA, 1992).

3.1.2. Política Nacional do Meio Ambiente

A Política Ambiental no Brasil foi instituída através da lei federal nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981. Nessa lei e alterações foram definidos 12 instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, entre eles se destacam a estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais, o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente

poluidoras e a criação de áreas de proteção ambiental. Vale citar que apesar de duas décadas já terem passado, vários instrumentos ainda não foram implantados, para completa e integral aplicação da PNMA.

Regulamentando esta lei federal, o Decreto Federal n.º. 88.351/83 estabeleceu a vinculação da avaliação de impactos ambientais ao sistemas de licenciamento e outorgou ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) competência para fixar critérios básicos” segundo os quais serão exigidos estudos de impacto ambientais (EIA) para fins de licenciamento, com poderes, para tal fim, de baixar as resoluções que entender necessárias. Atualmente o Decreto Regulamentar n.º. 88.351/83 foi substituído pelo Decreto n.º. 99. 274 de 6 de junho de 1990.

O CONAMA expediu em 23 de janeiro de 1986, a Resolução CONAMA no. 001/86 que dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da avaliação de impacto ambiental como um dos instrumentos do PNMA.

A incorporação pelo direito brasileiro desse instrumento preventivo de tutela ambiental estimulou a participação da sociedade nas discussões democráticas sobre a implantação de projetos e contribuiu para o manejo adequado dos recursos naturais, o usos correto de matérias primas e a utilização de tecnologias de ponta, evitando altos investimentos futuros em equipamentos de controle e monitoramento. Para MILARÉ (1995), o objetivo central do estudo de impacto ambiental é evitar que um projeto (obra ou atividade), justificável sob o prisma econômico ou em relação aos interesses imediatos de seu proponente, se revele, depois, nefasto ou catastrófico para o meio ambiente.

Tendo entre as fases de elaboração, a determinação da área de influência e a definição de áreas alternativas para o empreendimento, o EIA encontra no macrozoneamento um aliado valioso na obtenção de informações preliminares. Estas informações, mais do que dados técnicos, têm sua origem a partir de princípios comuns aos dois instrumentos, podendo assim ter maior êxito na orientação de tomada de decisões (FONTES, 1996). O mesmo autor em sua pesquisa utilizou o SIG, e sua capacidade de gerenciar informações atualizadas em seu banco de dados,

de gerar e facilitar a visualização de cenários, gerar e equacionar problemas para elaboração de macrozoneamento ambiental na região de Ribeirão Preto.

O impacto ambiental de um empreendimento pode ser visto, como a diferença entre o meio ambiente futuro modificado, tal como resultaria após a realização do projeto, e a situação do meio ambiente futuro tal como haveria de evoluir normalmente sem aquela intervenção. Para se ter uma efetiva dimensão do impacto ambiental, deve-se portanto comparar a qualidade ambiental existente com a posterior à ação proposta, ou seja, para se avaliar o impacto de uma ação no ambiente, é necessário configurar e predizer as alterações e implicações na qualidade ambiental (BOLEA, 1984).

Dessa maneira, a avaliação de impacto ambiental (AIA), pode ser entendida fundamentalmente como uma avaliação dos efeitos produzidos pela alterações que se apresentam sobre o meio ambiente, a saúde e o bem estar do homem como consequência de levar ao término um projeto ou um plano. Tem como objetivos prevenir e minimizar as alterações que podem ocorrer diante da localização de um projeto ou atividade determinada, sendo essencialmente um instrumento preventivo. (BOLEA, 1984).

A resolução CONAMA 001/86 exemplifica casos e projetos em que o EIA/RIMA é obrigatório ser submetido à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA e em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente. No caso de usinas de geração de energia, o CONAMA 001/86, art. 2, inciso VII, torna obrigatório para obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragens para fins hidrelétricos, acima de 10 MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para a navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de bacias, diques.

A resolução CONAMA 006 de 16 de setembro de 1987 complementa e estabelece regras especiais, a par de normas gerais da Resolução n. 001//86, sobre o licenciamento ambiental de obras de “grande porte” relacionadas com a geração de energia elétrica, evidenciando a obrigatoriedade de prévio Estudo de Impacto Ambiental quando a solicitação de licença prévia (LP) do empreendimento.

3.2. A EVOLUÇÃO DE NECESSIDADE DE ENERGIA NA SOCIEDADE DE CONSUMO

Cada pessoa possui uma taxa de energia para satisfazer suas necessidades básicas e produzir seu conforto (bem-estar, água, alimento, moradia, aquecimento). Essa taxa de energia não é igual no mundo todo, depende do padrão de vida e base tecnológica local.

O consumo de energia *per capita* anual médio, no mundo, no ano de 1990 era aproximadamente 1,5 TEP ou 15.000 kcal. Há contudo, uma enorme diferença de mais do que um fator de dez entre o consumo de energia *per capita* dos países industrializados – onde moram 25% da população mundial – e os países em desenvolvimento onde vivem os restantes 75%. Os EUA sozinhos, com 6% da população mundial, consomem 35% da energia mundial (GOLDEMBERG *et al.*, 1998).

“A atividade econômica é tão extensiva que produz mudanças ambientais em nível global; a perspectiva de maior crescimento econômico suscita a preocupação com a qualidade do meio ambiente global. A atividade econômica há muito tem sido uma grande fonte de mudança natural fundamental – a conservação da matéria. Qualquer coisa que entre na produção e consumo deve sair, ou como bens e serviços úteis ou como resíduos materiais. Uma vez que a conversão de insumos em produtos úteis nunca é completa, é justo dizer-se que a atividade econômica inevitavelmente pressiona o meio ambiente ao gerar resíduos” (STERN¹ *et al. apud* DUPAS, 1997)

O crescimento da sociedade industrializada exigiu uma elevada produtividade, com um consumo maciço de energia e capital. No contexto atual da produção-consumo, “mais energia está significando menor qualidade de vida, pois ao setor produtivo não importa se a sua atividade é ou não predatória dos recursos naturais e poluidora do ambiente, a não ser que comprometa a continuidade de produção.” (BRITO, 1981).

Outra preocupação é que na medida em que as aspirações por renda *per capita* nos países em desenvolvimento são impulsionadas pela comparação de seus

rendimentos com países desenvolvidos, aqueles são levados a políticas que afetam o meio com uma intensidade e velocidade maior que os países industrializados na sua época de desenvolvimento.

O relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento² (CMMAD) de 1987 prevê vários cenários sobre o crescimento da população e o consumo de energia a longo prazo. Entre os cenários, há um em que seguindo as projeções das Nações Unidas e do Banco Mundial, se a população mundial duplicar para cerca de 10 bilhões em aproximadamente 50 anos, com 90% ou mais desse crescimento ocorrendo nos países em desenvolvimento da África, Ásia e América Latina, e supondo-se que a renda *per capita* cresça 2,5% e 1,5% anualmente nos países em desenvolvimento e nos países desenvolvidos respectivamente (uma baixa projeção em ambos casos, pelos padrões das últimas décadas), a produção econômica global se quadruplicaria entre 1990 e 2040. Conforme o mesmo relatório de 1987, não é somente um questão de aumento de população, porém o problema entre a relação número da população e de recursos disponíveis. O relatório continua, traçando cenários, em um deles prevê que por volta do ano 2025, os países em desenvolvimento consumam tanta energia quanto os industrializados, sendo assim seria necessário aumentar cinco vezes o atual consumo global. O ecossistema planetário não suportaria isso, sobretudo se esses aumentos se concentrassem em combustíveis fósseis não-renováveis. Os riscos de aquecimento do planeta e acidificação do meio ambiente muito provavelmente descartam até mesmo uma duplicação do consumo de energia mediante combinações de fontes primárias.

3.3. HIDRELÉTRICAS, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

O relatório do Ministério da Infra Estrutura – Cadastro Nacional de Usinas e Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica (SIESE) de

¹ STERN, P.C.; YOUNG, O.R.; DRUCKMAN, D. (1993). Mudanças e Agressões ao Meio Ambiente. Título original: Global Environmental Change: Understanding the Human Dimensions. Makron Books, São Paulo, 314p.

² World Commission on Environment and Development (1987) Our Common Future – Relatório de Gro Harlem Brundtland

30/06/1999, compara a capacidade instalada da geração hidrelétrica com a de usinas térmicas, a energia elétrica total utilizada no Brasil é era da ordem de 63.171 MW, deste total 90,8% são provenientes de hidreletricidade³.

MÜLLER (1995) afirma, com base em relatório do Ministério da Infra Estrutura de 1991, que a hidreletricidade é a base do suprimento energético do Brasil, produzida por usinas de grande porte, situadas freqüentemente distantes dos centros consumidores. A escala dos empreendimentos e o volume da energia a transmitir são consideráveis e denotam elevados investimentos. A construção de uma grande usina e de suas linhas de transmissão, por outro lado, requer prazos, desde a decisão pela obra até o início da geração, superiores a cinco anos. Isso impõe planos de longo alcance ao setor para programar, a tempo o suprimento energético indispensável a nação⁴.

3.3.1. Impactos ambientais decorrentes da implantação de centrais hidrelétricas

Se de um lado a construção de represas representa o progresso através da produção de energia elétrica do abastecimento de água potável, da irrigação, da regularização da vazão dos rios, possibilitando o controle das enchentes, por outro lado, de modo contrário, traz como conseqüência uma série de alterações.

Decorrente da preocupação com os impactos que centrais hidrelétricas geram, muitos trabalhos têm revisado e discutido estes efeitos, que se apresentam tanto sobre o meio ambiente físico, quanto sobre o meio social, econômico e cultural. Inundações de terras de alto valor agrícola, impedimento na migração de peixes, interferência no regime de transporte de sedimentos, disseminação de doenças de veiculação hídrica, mudanças hidrológicas à jusante da barragem, ou com repercussões climáticas e ecológicas que, de modo geral, afetam profundamente a flora e fauna tanto aquáticas como terrestres, perda de sítios de valor histórico, paisagístico, arqueológico ou cultural, além dos efeitos sociais na população local

³ Ministério da Infra Estrutura – Cadastro Nacional de Usinas Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica (Siese). Rio de Janeiro, Eletrobrás de 1999. (http://www.eletrobras.gov.br/mercado/siese_sem99_3.htm)

são alguns dos inúmeros aspectos que passaram a ser relatados por diversos autores como MÉRONA & ALBERT, 1999; MÜLLER, 1995; RIDLEY & STEEL, 1975.

“Os componentes ou fatores que entram em uma análise de impactos são classificados em fixos, que em larga escala não podem ser modificados pela ação antrópica, e variáveis, que pelo contrário, sofrem alterações segundo nossas decisões ou reagindo às meteorológicas, sísmicas, a natureza física, química e biológica dos elementos, os processos sinérgicos e/ou biológicos de suas inter-relações e a capacidade (tolerância) do meio de receber impactos (fator de resiliência). Os fatores variáveis referem-se às ações do homem, decidindo o tipo de empreendimento, sua escala, localização, sistema operacional, época em que se processarão as ações impactantes etc. e a intensidade das reações do meio às intervenções, afetando (CUSTO) os padrões ambientais (maior ou menor qualidade), como resultado do empreendimento (BENEFÍCIO)” (MÜLLER, 1995).

Segundo o relato de BARTLE (1991), nos países em desenvolvimento, na Ásia, África e América Latina, problemas sócio-econômicos como reassentamentos populacionais e perdas de terra para a agricultura, foram indicados como os mais sérios. A inundação de vilas e cidades e conseqüentemente a necessidade de indenizações justas, é particularmente grave na China, Índia, SriLanka, Malásia, Filipinas, Colômbia, Quênia e Lesoto.

A decomposição de matéria orgânica presente nos reservatórios afeta principalmente a vida aquática, podendo impossibilitar o desenvolvimento de peixes e de outros seres aeróbios (MÉRONA & ALBERT, 1999).

FEARNSIDE (1989) analisa o desastre de UHE Balbina, no rio Uatumã, onde foram inundados 2.360 km² de floresta tropical para gerar apenas 250MW de eletricidade e em apenas 5 anos de operação foi necessário substituir uma de suas turbinas, corroída pelas águas ácidas e pelo sulfeto de hidrogênio resultante do apodrecimento da vegetação submersa na área do reservatório.

No que se refere a área inundada, as maiores represas brasileiras localizam-se na região Norte brasileira. A relação entre área inundada e a potência instalada

⁴ Ministério da Infra-Estrutura- Plano Diretor de Meio Ambiente do Setor Elétrico, 1991/1993. 2 vol e Anexo. Rio de Janeiro, Eletrobrás, 1991. 284p.

fornece um índice comparativo que pode ajudar a avaliação a extensão das intervenções que a implantação de projetos hidrelétricos produzem ao meio. A ELETROBRÁS havia incluído no II Plano Diretor do Meio Ambiente⁵ (PDMA) o índice entre área alagada e potência instalada de empreendimentos em construção ou em projeto no período daquele plano. Conforme pesquisa de MÜLLER (1995) sobre vários reservatórios, suas respectivas áreas de inundação, e volume acumulado, os valores apresentam variações, tanto na literatura como nas próprias empresas, dependendo da fonte empregada (de projeto ou de operação), de tal maneira que o autor recorreu à ELETROBRÁS e às principais empresas de geração de energia. A Tabela 1 relaciona os maiores reservatórios hidrelétricos do Brasil no ano de 1991 e transcreve o índice relativo à área inundada *versus* potência instalada de cada projeto. Por este índice é possível verificar que UHE Balbina apresenta o impacto ambiental mais desfavorável com relação à área inundada *versus* potência gerada pelo empreendimento.

TABELA 1: Índice relativo potência instalada *versus* a área inundada de grandes aproveitamentos brasileiros

Usina (empresa)	Área alagada (km ²)	Potência (MW)	Relação MW <i>versus</i> km ²
Sobradinho (Chesf)	4.214	1.050	0,25
Tucuruí (Eletronorte)	2.430	4.240	1,74
Porto Primavera (CESP)	2.250	1.818	0,81
Balbina (Eletronorte)	2.360	250	0,11
Serra Mesa (Furnas)	1.784	1.200	0,67
Furnas (Furnas)	1.450	1.312	0,90
Itaipu (Itaipu)	1.350	12.600	9,33
Ilha Solteira (Cesp)	1.077	3.230	3,00
Três Marias (Cemig)	4.059	517	0,13

Fonte: Adaptado de MÜLLER (1995)

A construção de grandes represas pode exercer efeitos antagônicos sobre o clima ou, mais especificamente, sobre a umidade relativa do ar. Em áreas desérticas,

⁵ MINISTÉRIO DA INFRA-ESTRUTURA. (1991). *Plano Diretor de Meio Ambiente do Setor 1991/1993*. Elétrico, 2 vol. e Anexo. Rio de Janeiro, Eletrobrás. 284p.

a grande superfície de água criada pelo represamento permite maior evaporação e aumento da umidade relativa. Em zonas de densa cobertura vegetal, entretanto, dá-se o contrário. A superfície livre de evaporação do lago é forçosamente menor que a soma das superfícies das folhas através das quais se dá a transpiração vegetal, havendo conseqüentemente, decréscimo da umidade relativa. Esse fato pode trazer conseqüências graves para a ecologia local, principalmente no caso de grandes represas construídas em áreas de mata muito exuberante, como é o caso de Itaipu, por exemplo. (FEARNSIDE, 1989; GRIMM *et al.*, 1987).

Alterações no clima e formações de gases nocivos vêm associados à formação de grandes lagos. Alguns autores associam e discutem a parcela do aquecimento global e efeito estufa devido a formação de grandes reservatório nas matas tropicais (FEARNSIDE, 1995; ROSA & SCHAEFFER, 1995; ROSA *et al.*, 1996).

JUNCHEM & MORAIS (1992) propuseram algumas definições e escalas apropriadas para estabelecer áreas de influência de empreendimentos hidrelétricos. JUNCHEM (1992) numa tentativa de síntese agrupou impactos ambientais decorrentes de projetos de barragens de grande porte para fins hidrelétricos representado na tabela 2.

TABELA 2: Síntese dos impactos ambientais de barragem

Modificações na infra-estrutura regional e local
Variação da produção econômica na agricultura, indústria, comércio e serviços
Reassentamentos populacionais involuntários
Perdas de área no meio rural e urbano
Alterações do regime hidrológico do rio e efluentes
Implicações na saúde da população
Alterações do ecossistema
Desmatamento e erosão do solo
Modificações na Qualidade da água a montante e jusante da barragem
Influência na pesca para subsistência, lazer e comercialização
Modificações gerais na qualidade de vida e hábitos das populações
Alterações nas condições sociais das comunidades locais

Fonte: JUNCHEM (1992)

A partir de muitos trabalhos pode-se verificar que os impactos mais relevantes das PCH no ambiente são aqueles relacionados com a água e com a fauna e flora, principalmente as espécies de peixes de que se deslocam nas corredeiras (KUBECKA *et al.*, 1997; PACCA & FABRIZY, 1995). Há ainda em alguns casos de se ponderar também os aspectos culturais impactados pelo empreendimento. Além disso é importante lembrar o caráter local intrínseco de uma PCH que por tal, deve ser analisada de acordo com interesses locais e de uso múltiplo das águas (PACCA *et al.*, 1995; FUSCO, 1997).

KUBECKA *et al.* (1997) estudaram impactos adversos de pequenas centrais hidrelétricas na República Soviética com auxílio de técnicas bentológicas e ictiológicas tradicionais. Em sua pesquisa, os autores apontaram quatro locais, se disponíveis no local, para estudo dos impactos ambientais provocados pela implantação de uma PCH: (1) os trechos de vazão natural (TVN) antes e (2) depois da área da PCH, (3) o trecho do canal de tomada d'água para a turbina, (4) e o trecho em que a vazão é reduzida (TVR) formado no curso do rio.

Uma característica fundamental nos arranjos de PCH que vai refletir na ictiofauna e na água é a extensão do trecho de vazão reduzida (KUBECKA *et al.*, 1997), citado por PACCA (1996) como “trecho curto-circuitado”, pois esse ambiente pode nas épocas de estiagem secar totalmente em detrimento da operação da hidrelétrica. Além de modificar a ecologia do trecho, tal fato pode impedir a passagem de peixes migratórios ou até mesmo o acesso da água para um outro uso.

KUBECKA *et al.* (1997) verificaram que apesar da maioria das PCH usarem uma alta percentagem da vazão média (da série histórica) do rio (capacidade de entrada da turbina encontrada, normalmente, a vazão de projeto era maior que a média da vazão anual do rio em um dado ponto), o decréscimo na área molhada do rio encontrada foi relativamente baixa (normalmente 0-30%). O canal de desvio (que normalmente distribui a vazão entre o trecho de vazão reduzida e o canal de tomada d'água), em combinação com a redução de água para a PCH foi dada como uma barreira importante na migração de peixes residentes e constatado em 30% da PCH estudadas. A redução de água causou a sucessão de peixes de porte maior desta região (*adult brown trout, chub, dace, grayling, etc.*) para de menor porte (*small-*

bodied fish: trout, fry, minnow, bullhead, stone loach, gudgeon). O peso médio individual e a biomassa dos peixes diminuíram em quatro vezes na TVR. Perdas de biomassa mostraram relação negativa entre a proporção da capacidade de tomada d'água para a turbina, e a vazão do rio.

Estes autores sugeriram entre as várias medidas mitigadoras, a utilização da vazão Q_{90} (vazão de permanência de 90% do tempo), ou com o intuito de minimizar os impactos na perda de biomassa de espécies estudadas, desviar para as turbinas menos da metade da vazão média anual do rio, quando necessário regularização do mesmo.

A partir de preocupações neste sentido, na Europa já ocorre a existência de uma legislação específica e a França pode ser tomada como exemplo neste sentido. Neste país, em 1984, uma lei relativa à pesca em água doce definiu a vazão não turbinável, que é aquela que permanece entre a tomada de água e a restituição e que deve representar, durante o ano todo, 10% da vazão total da corredeira; quando esta for inferior a $80 \text{ m}^3/\text{s}$. Para vazões acima de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, este valor é fixado em 5%, mas pode ser aumentado pela vontade das autoridades (FABRIZY *et al.*; 1994).

Além de proteger a fauna aquática, esta exigência procura não comprometer a salubridade pública, pois visa garantir o suprimento de água a jusante da tomada d'água. Especialmente para a fauna aquática, está previsto no regulamento do uso de água de 1981 a necessidade de se manter condições para a livre circulação e a reprodução dos peixes, ou seja questiona-se sobre a necessidade e adequabilidade de construção de escadas de peixes.

Nos países europeus mas representativos as PCH estão sujeitas à legislação que dispõe sobre a energia e a gestão das águas superficiais.

Em se tratando dos recursos hídricos, os EIA para programas energéticos foram substituídos, no início dos anos 80, pela aplicação de estudos de impacto locais. Isso fez com que se desenvolvesse, em alguns países, um método de análise local específica para PCH e conseqüentemente uma legislação correspondente, muitas vezes originada a partir do poder regional. Entretanto, há uma forte disparidade entre os países europeus quanto aos aspectos legais vigentes e as

restrições ambientais constituem a barreira não técnica mais significativa ao desenvolvimento das PCH (PACCA; 1996).

Uma situação desse tipo aqui no Brasil seria inconveniente. As PCH encontram-se ainda pouco disseminadas no país como fonte energética, apesar de serem vistas com interesse, pois podem atender a demandas localizadas de energia, geralmente, com baixos investimentos, impulsionando o desenvolvimento em áreas carentes (FABRIZY *et al.*, 1994).

Atualmente, seguindo a legislação do setor elétrico, elas podem ser construídas ou recuperadas por atores independentes do poder público como um negócio. Além do mais, se comparadas com outras fontes energéticas, as PCH apresentam aspectos menos agressivos ao meio ambiente. Nesse aspecto muitos autores chamam a atenção a importância da recuperação das pequenas centrais hidrelétricas por meio de várias técnicas como DENNING (1993) e NATALE & MANES (1997).

3.3.1.1. Susceptibilidade à erosão

Visando à minimização dos efeitos muitas vezes trágicos causados por acidentes geológicos naturais ou induzidos por atividades antrópicas, passou-se a adotar, no âmbito internacional e nacional, estudos preventivos expressos em uma série de produtos cartográficos geotécnicos, executados sob diferentes enfoques e denominações e aplicados à gestão dos problemas impostos pelo uso do solo.

A erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como os mares, os rios, o vento ou a chuva.

A erosão constitui um processo natural no desenvolvimento da paisagem terrestre. A atuação lenta e contínua dos processos erosivos traduz-se por modificações normalmente perceptíveis após longos períodos de tempo. A interferência do Homem altera esse processo natural, diminuindo, ou como é mais freqüente, aumentando a sua intensidade.

O processo natural, fruto de ação isolada das forças da natureza, recebe o nome de erosão natural ou geológica, enquanto o processo que sofre a interferência do Homem é denominado de erosão.

A erosão do solo constitui, a principal causa do depauperamento acelerado das terras. Como a implantação de empreendimentos em áreas sensíveis (suscetíveis a erosão) podem provocar conseqüências como precipitação de processos erosivos que levam ao assoreamento de córregos e de reservatórios e comprometimento da qualidade da água, pela sua contaminação.

Várias conseqüências advêm da erosão, como a modificação do meio físico, como desmatamentos, certas práticas agrícolas, etc.; a concentração de chuvas em determinados meses do ano e as formações arenosas presente em grandes áreas são fatores essenciais que tem contribuído para as diversas manifestações erosivas que ocorrem no Estado de São Paulo. Além de áreas agrícolas, não são poucas as ocorrências induzidas por obras, como ocorre em algumas estradas, ou em loteamentos e expansões urbanas, em que não se tem dado a devida importância aos meios de prevenção do fenômeno (VILAR & PRANDI, 1993; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Vários autores implementaram e aplicaram metodologias para avaliar a susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos a partir da vulnerabilidade e características da região, entre eles ZUQUETTE *et al.* (1990); BROLLO (1991), BERTONI & LOMBARDI NETO (1992), PEJON (1992), RANIERI (1996).

RANIERI (1996) analisa e discute métodos e escalas de trabalho para obtenção de mapas de risco de erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão de Marins - Piracicaba/SP. A pesquisa constituiu de um método quantitativo e qualitativo, baseados em mapas pedológicos, planialtimétricos e de uso do solo para geração de mapas de risco à erosão, os quais foram comparados via SIG com relação às áreas totais e a sobreposição espacial para verificação das similaridades ocorridas entre escalas e métodos. Os resultados mostraram que o maior acréscimo nos custos dos mapas ocorreram entre mudanças de escalas e não na alteração de métodos.

3.3.2. Potencial Hidrelétrico Inventariado no Estado de São Paulo

Em relação a geração hidrelétrica, o Estado de São Paulo é o principal centro consumidor de energia elétrica do país, respondendo por aproximadamente 55% do consumo da região sudeste do país e 40% do consumo brasileiro. Conforme levantamento do governo do estado de São Paulo, no Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1989:

- ✓ A capacidade hidrelétrica instalada total do estado de SP é de 10.105 MW; outros 3.906 MW se encontravam em construção e 14 MW representavam capacidade desativada, o que totalizaria, no estado, um potencial de 14.025 MW;
- ✓ Das usinas desativadas, destacavam-se as de Salesópolis (2,0MW) no rio Tietê, Jacaré (2,0 MW) no rio Jacaré Pepira e Feixos (1,0 MW) no rio Camanducaia, sendo as restantes, aproveitamentos de pequeno porte.

O potencial hidrelétrico remanescente do Estado de SP é estimado em 2.800 MW. Este potencial é constituído em sua grande parte por aproveitamentos de médio (10 a 50 MW) e pequeno porte (menores de 10 MW), com exceção de Canoas I e II no rio Paranapanema; Batatal, Funil, Divisa, Tijuco e Itaoca no rio Ribeira de Iguape com potenciais superiores a 50 MW, totalizando 623,5 MW instaláveis. Segundo relatório do SIESE de 30/06/99 que compara a energia gerada por potencial hidráulico em relação a de usinas térmicas, relata que o potencial hidráulico instalado no estado é de 12.203 MW, o que corresponde a 96,3% da potência total.

Conforme o mesmo Plano Estadual de Recursos Hídricos, atualmente, com o alto grau de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos eletromecânicos e com a aplicação de novos critérios de projeto, já dirigidos especificamente a aproveitamentos de médio e pequeno porte, tem-se conseguido obter custos de kWh gerado competitivos aos grandes empreendimentos, vislumbrando sua importância como fonte de energia economicamente utilizável.

Dessa maneira, inventários dos potenciais remanescentes vêm sendo constantemente aperfeiçoados e atualizados. Neste sentido, na Tabela 3 é apresentado o potencial avaliado pelas empresas concessionárias de energia elétrica do Estado de São Paulo, avaliado num total de 2.795 MW de potencial remanescente para o estado, levantado pelo governo do Estado de SP. É importante observar que a

maioria deste potencial disponível encontra-se na faixa das usinas de pequeno e médio porte.

TABELA 3: Potencial hidrelétrico remanescente no Estado de São Paulo

Empresas	Projeto Básico (MW)	Viabilidade (MW)	Inventário (MW)	Estimativa (MW)	Total (MW)
CESP	18	308	842	1.076	2.244
CPFL	50	115	27	70	262
ELETROPAULO	-	-	60	229	289
TOTAL	68	423	929	1.375	1.795

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1989. Governo do Estado de São Paulo

O aproveitamento do potencial hidrelétrico remanescente no Estado de São Paulo para a exploração desse potencial estimado em 2.800 MW ou 1.400 MW médios de energia firme, são necessários ao aprimoramento dos levantamentos disponíveis, avaliações técnicas econômico-financeiras e legais, o estímulo ao desenvolvimento tecnológico de equipamentos e, principalmente, o estabelecimento de políticas de aproveitamento dos recursos hídricos.

3.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Não somente a economia tem se globalizado, mas também os impactos decorrentes do processo de desenvolvimento, ou seja, atualmente os impactos ambientais resultantes não tem respeitado fronteiras políticas, e percebe-se a necessidade de gerenciamento dos recursos naturais em uma escala regional e também global. Dessa maneira percebe-se a necessidade de uma ferramenta que gerencie o ambiente em multi escala e que seja também multi temporal.

Diferentes autores definem SIG, mas diferenças residem na inclusão ou não de alguns componentes, das características e das aplicações do SIG. A maioria dos SIG possuem alguns programas computacionais sofisticados, porém, para PEUQUET & MARBLE (1990), todos devem conter quatro componentes. Primeiramente, devem conter um *subsistema de entrada de dados* que armazena e

processa dados espaciais derivados de mapas existentes, sensoriamento remoto, etc. Segundo, um *subsistema de armazenamento e de recuperação de dados espaciais* em uma forma que permita a recuperação rápida e precisa pelo usuário para uma análise subsequente, assim como facilidades na atualização e correção do banco de dados. Deverá conter também, um *subsistema de manipulação e análise de dados* que desempenhe uma variedade de tarefas como a mudança de forma de dados seguindo regras estipuladas pelo usuário ou produzindo estimativas de parâmetros ou de variáveis para vários modelos de otimização ou simulação. E para finalizar, um *subsistema de relatórios de saída* que é capaz de mostrar parte ou todo o banco de dados, assim como manipular dados e a saída de modelos espaciais na forma tabular ou de mapa.

PEUQUET & MARBLE (1990) defendem que um SIG para ser considerado como tal, deve incluir as quatro funções, e ainda mais, este deve desempenhar eficientemente as quatro áreas. A mera adição de algumas áreas ou pacotes com funções ineficientes de manipulação de dados espaciais direcionados a fazer apenas uma função não podem ser considerados como verdadeiros SIG. A interface de modelagem espacial se constitui como uma das funções mais importantes e obrigatórias de um SIG verdadeiro.

Os programas SIG podem organizar os diferentes tipos de dados em um único ambiente de dados contendo localizações espaciais e dados não espaciais, em geral os respectivos atributos geográficos. Assim SIG são sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente. Estes sistemas manipulam dados de diversas fontes como mapas, imagens de satélites, cadastros e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise de dados (PAREDES, 1994, HAYNES-YOUNG *et al.*, 1993).

Uma forma de visualização do SIG é a sua capacidade de lidar com várias *layers* de mapas relacionados com uma área de estudo. Cada *layer* descreve um aspecto diferente do local estudado. A importância do SIG recai na integração dos fatores, ao conseguir combinar diversas variáveis através da combinação desses *layers*. Além de solucionar um determinado problema, esse mesmo banco de dados

pode ser utilizado para solucionar outros problemas, mostrando-se uma ferramenta altamente flexível (HAYNES-YOUNG *et al.*, 1993).

A utilização em larga escala de tais sistemas tornou-se possível a partir da disponibilidade, a custos aceitáveis, de diversas tecnologias como a cartografia digital de imagens. Tipicamente, um SIG combina essas tecnologias com técnicas de análise e manipulação da informação espacial.

O SIG manipula grande coleção de informações espaciais, além de ser uma ferramenta gráfica flexível. Recursos operacionais e recursos funcionais estão incluídos no SIG como ferramentas analíticas e de manipulação, ajudando, pois sem estas habilidades seriam complexas e difíceis de serem executadas somente em um banco de dados geograficamente estruturada. Estes recursos incluem ferramentas como identificação automática de relacionamento entre dados dos mapas, seleção de rotas ótimas numa rede de linhas e análise de fluxos dentro do relevo (PAREDES, 1994; ANTENUCCI *et al.*, 1991, p.96).

Na abordagem ferramentalista do SIG, este está projetado para a entrada, gerenciamento, manipulação, análise, pesquisa, e visualização de grande coleção de dados espaciais. As ferramentas operacionais são tipicamente organizadas em torno de uma Base de Dados (BD) do SIG, de modo a prover múltiplos usos com referência na BD.

Em relação aos métodos de conversão de mapas pode-se dizer que o método manual tem a desvantagem de ser dependente da qualidade e da escala da fonte de dados e de ser um processo lento, especialmente quando gráficos densos são digitalizados. É bom lembrar que erros humanos podem reduzir a precisão buscada, usando-se este método (PAREDES, 1994).

O desenvolvimento da tecnologia do sensoriamento remoto, fonte de dados digitais de várias cartas temáticas do ambiente, auxiliou ainda mais a divulgação e consolidação do SIG como uma ferramenta potente no mercado, ao facilitar o processo de aquisição de dados. Sensoriamento remoto é simplesmente a aquisição de dados da superfície terrestre, mar e atmosfera através de sensores localizados a alguma distância do local de estudo. Os sensores normalmente dependem de propriedades espectrais do alvo e de suas características requeridas. Em geral, esses

sistemas coletam informações no formato digital, que podem ser processados na Terra, para revelar informações necessárias para o pesquisador ou profissional (WICKLAND, 1989; HOBBS & MOONEY, 1990).

Armazenamento, recuperação e análise de dados ecológicos por coordenadas geográficas e pelo uso de estruturas de dados espaciais são bases poderosas para considerar o SIG como uma ferramenta para estudos multi-escalas (PEUQUET & MARBLE, 1990). A estrutura do SIG tem sido eficiente em ambos casos de análises locais quanto em modelagens espaciais (STOW, 1993).

Armazenamento na forma matricial pode apresentar algumas vantagens, entre elas: facilidade de implementação de entrada de dados, tendo como principais fontes, imagens de satélite (NELLIS *et al.*, 1990), e curvas de nível digitalizadas; modelo de dados do tipo matricial, conceitualmente simples e fácil de trabalhar e normalmente de baixo custo; facilidade de implementação, nos computadores, das funções necessárias sem perda de velocidade; possibilita interface com um banco de dados alfanuméricos; apresenta bom desempenho em operações *booleanas* com mapas da mesma área e normalmente apresenta técnicas de compactação para armazenamento mais eficaz dos dados (PAREDES, 1994). Na opinião de STOW (1993), a maior vantagem em estruturas *raster* para aplicações no ecossistema é na sua representação dos dados de maneira contínua ou como uma superfície, tais como elevação, temperatura de superfície ou biomassa.

A representação vetorial de um elemento é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Assume-se o espaço como contínuo, o que permite que todas as posições de distâncias e áreas sejam definidas com um grau de precisão muito maior. Os métodos vetoriais assumem que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas. Além disso, usam relações implícitas permitindo que dados complexos sejam armazenados em menor espaço do que na forma matricial (PAREDES, 1994).

MAFFINI (1987) acrescenta que estruturas *vector* têm-se mostrado mais eficientes nos estudos de gerenciamento dos recursos, e produzem estruturas mais eficientes no armazenamento de dados. Apesar da modelagem de sobreposição espacial ser executada mais diretamente em *raster*, os resultados de tentativas

recentes integrando SIG com modelos espacialmente explícitos de processos de paisagem (por exemplo *run-off*) sugere que a codificação *vector* produz uma estrutura mais eficiente para a finalização desta integração (SILFER *et al.*, 1986; HABER & SCHALLER, 1988).

Durante a conversão de *vector* para *raster*, comumente conhecida como matriciação, ocorrem diversos fatores que afetam a eficiência do processo de conversão como diferenças dos tamanhos dos arquivos vetores e disponibilidade de memória, área total do mapa, densidade dos pontos e sinuosidade das linhas.

Em pesquisa, STOW (1993) percebe a necessidade de uma ferramenta que possa integrar diversas escalas espaciais e temporais, neste sentido RISSER (1986) escreve: “*The range of spatial and temporal scales of ecosystem processes and the desire to assess ecological structure at the landscape and regional scales, gives rise to the need to integrate hierarchical aspects of ecological theory and database formats. GIS is a database tool that can be used effectively to handle environmental data of a variety of scales*”.

Segundo FERREIRA (1997)⁶, a escolha da escala de trabalho para geração de imagens de SIG dependem de aspectos exigidos de cada projeto como: grau de detalhamento necessário, erro admitido e tempo de processamento (associado ao tamanho da imagem). Esses aspectos devem ser definidos pelo usuário no início de cada etapa ou seja a resolução adotada pode ser *relativizada* de acordo com os objetivos do estudo.

Estudos com abordagem integrada sobre sistemas naturais são uma necessidade às transformações operadas pelo homem nesses sistemas. Os reservatórios artificiais modificam os sistemas naturais e estão diretamente relacionados ao uso/ocupação do solo nas bacias hidrográficas de captação. O manejo ambiental permite gerenciar esses sistemas naturais, desenvolvendo formas de solucionar problemas advindos das alterações produzidas pelo homem. Neste sentido REFOSCO (1996) avaliou, com auxílio do SIG, algumas características impostas através da ocupação humana, em duas microbacias que drenam para o reservatório da hidrelétrica de Barra Bonita, SP. O autor avaliou também a qualidade

⁶ FERREIRA, M.C. (1997) CURSO DE IDRISI. *Notas de aula*. Rio Claro, UNESP.

da água em cada microbacia utilizando como indicador a quantidade de sólidos totais em suspensão.

Planejamento para o desenvolvimento e conservação dos recursos naturais sem colocar em risco o ambiente, é uma tarefa difícil, árdua. Tal incumbência requer uma fonte de dados confiável no que diz respeito a extensão e distribuição dos recursos naturais, tanto espaciais como temporais. A tecnologia do sensoriamento remoto emergiu como uma poderosa ferramenta ao preencher a lacuna e fornecer dados confiáveis e de realimentação sobre várias cartas temáticas dos recursos naturais. Não se resume somente a esta função, dados de sensoriamento remoto fornecem oportunidade de se verificar dados no passado e travar comparações em relação ao posicionamento dos recursos entre o passado e o presente (KUSHWAHA *et al.*, 1996).

Em pesquisa, KUSHWAHA *et al.* (1996) aplicam as ferramentas de sensoriamento remoto e SIG para planejamento e desenvolvimento sustentável de uma área rural na região de Bahal Singhani, distrito Bhiwani, no noroeste da Índia. O plano de ação final desenvolvido para ser implantado na região teve boa aceitação em consequência da praticidade, da profundidade dos assuntos tratados e da confiabilidade dos resultados. Os autores complementam que isso se deu em decorrência a duas ferramentas bases, o sensoriamento remoto e o SIG, ao atuarem em conjunto, podem fornecer suporte em termos de fonte de dados relevantes, confiáveis e temporais necessários para o desenvolvimento econômico e proteção ambiental. NELLIS *et al.* (1990) defendem que através da interface do sensoriamento remoto e o SIG, vários cenários diferentes podem ser processados permitindo análises de várias alternativas de gerenciamento antes da escolha da mais viável.

Em outra pesquisa, MACMILLAN *et al.* (1991) descrevem o progresso no uso de dados digitais de elevação, modelos de simulação hidrológica e SIG para avaliar a distribuição da variação temporal de superfícies de água não-permanentes em uma escala local e para estimar os possíveis padrões de redistribuição que devem resultar da drenagem. Para tal foram analisadas um número de modelos e técnicas alternativas, com ênfase nos modelos de simulação que enfocam o controle geomorfológico de padrões de escoamento de água superficial e acumulação. A

geometria do escoamento da água superficial é controlada pela topografia enquanto a acumulação nas depressões são relacionadas ao solo, clima e cobertura do solo, em conjunto a geomorfologia. Os autores afirmam que a ferramenta SIG, teve papel fundamental, ao adquirir, armazenar, coordenar e exibir os dados necessários para os modelos e para saída dos resultados.

SCARTAZZINI (1993) pesquisou o potencial hidráulico na bacia do rio Pardino, no Rio Grande do Sul utilizando-se de dois métodos, enquanto o primeiro consistiu de um inventário das quedas de água através do reconhecimento expedito em período de vazante e dos moradores sem energia elétricas em suas casas, bem como do reconhecimento e discretização das quedas por altura e por potência; na segunda etapa foi empregado o software *Sistema Geográfico de Informações (SGI)*, desenvolvido pelo INPE, para a localização do potencial hidroenergético e os resultados obtidos pelos dois métodos foram comparados. A escala utilizada da fonte de dados foi 1:50.000. A técnica utilizada para detectar pontos de potencial para geração de hidreletricidade com auxílio de Sistema de Informações Geográficas, no caso o software *SGI*, facilitou a atividade de localização em campo, visto que o programa apontou todos os pontos que haviam sido inventariado e mostrou mais alguns locais possíveis que provavelmente poderão ser localizados caso se trabalhe com alturas em cascata. De acordo com SCARTAZZINI (1993), o resultado foi decorrente das diferentes formas estabelecidas para a obtenção dos pontos de potencial, onde o parâmetro expedito foi de inventariar apenas as quedas verticais, enquanto o programa trabalha com a declividade analisada na extensão de cada pixel seguindo o canal. Dessa maneira, o programa (*SGI*) determinou maior número de amostras de locais possíveis de potencial energético, e conferiu aos pontos amostrais um maior valor de potência gerável.

Na Escócia, GRAHAM (1998) desenvolveu metodologia para identificação e localização de quedas para aproveitamento hidráulicos com auxílio do SIG. Utilizou os programas *Arcview e ARC/INFO* com o objetivo de identificar e suprir demanda de energia das fazendas do país, através de levantamento do potencial hidráulico presente nas vizinhanças dos locais onde ocorriam a necessidade. O método foi composto de análise expedita dos locais e de levantamento das fronteiras e características das fazendas escocesas na escala de 1:50.000 e 1:25.000. Deste estudo

prévio, os locais identificados como viáveis em função da presença de queda potencial estavam distribuídos próximas à 419 fazendas que constitui cerca de 16% do total das fazendas do país que podem ter o potencial hidráulico desenvolvido. Nesse estudo, havia 69 de 342 fazendas com quedas superiores a 50m. Dessa forma, 16% da maior parte da amostragem de 419 fazendas têm rios com um grande queda superior a 50m próxima às suas fronteiras. Esta pesquisa porém não abordou a vazão presente em cada queda, para posterior definição do potencial a ser suprido, e se restringiu a utilizar o SIG com a finalidade de cadastrar as quedas potenciais e demandas de energia de fazendas em determinada região da Escócia.

SOUZA (1999) utilizou SIG, no caso o programa *Idrisi* para geração de cartas para verificação da viabilidade ambiental de pequenas centrais hidrelétricas com estudos de caso no Alto da Bacia do Jacaré-Guaçu/SP através de produção de mapas e documentos com a identificação dos fatores ambientais preponderantes, bem como a análise de alternativas locacionais e os impactos decorrentes pela construção de diferentes alturas de barragens. O diagnóstico ambiental das alternativas utilizadas por SOUZA (1999) seguiram método consolidado proposto por ELETROBRÁS (1986) e citado por JUNCHEM (1992) de identificação e análise de impactos mais frequentes para empreendimentos hidrelétricos dos aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos e culturais.

3.4.1. Software Idrisi

Lançado em 1987, este sistema desenvolvido pela Clark University, Massachusetts, baseado na forma *raster* de representação de dados, foi especialmente desenhado para microcomputadores da linha PC-AT 386m e PS 2 (EASTMAN, 1992; EASTMAN, 1997). Um aspecto importante é a possibilidade do usuário escrever programas específicos que possam ampliar a gama de aplicações, utilizando de banco de dados externo, com interface para LOTUS, QUATRO, etc.

Outro aspecto interessante do IDRISI é o fato de permitir migração direta de dados, tanto para o ERDAS como para o ARC-INFO. É um sistema que se adequa às atividades de pesquisa e ensino devido ao seu custo relativamente baixo e a sua estrutura modular, o que permite o desenvolvimento de novos módulos com o

conhecimento mínimo da estrutura interna de funcionamento. Os módulos podem ser desenvolvidos em qualquer linguagem. Por outro lado, o sistema já oferece um número razoável de possibilidades em relação às operações sobre os dados, contemplando mais de 80% dos itens analisados anteriormente .

PAREDES (1994) descreve outros programas e as características principais dos seguintes softwares de Sistemas de Informação Geográfica: MGE, GRASS, GEOVISION, GDMS, APIC, MIPS, GEO-INF + MAP, SAGA, SGI, SIR, ARC/INFO, ERDAS, ER MAPPER, GISMO, GEO/SQL.

3.5. USINAS DE PEQUENO PORTE

O objetivo deste capítulo é de fornecer as informações sobre as principais necessidades de usinas de pequeno porte, os parâmetros orientativos para a análise dos locais mais propícios para sua instalação, mostrando algumas disposições dos elementos que influenciam o desempenho, a importância deste tipo de geração de energia em devidas condições, a evolução da pesquisa sobre usinas de pequeno porte.

Complementa-se mostrando alguns elementos que podem ser influenciados e sofrer impacto com a instalação destas, tanto a jusante como a montante da usina.

3.5.1. Vantagens de Minicentraís Hidrelétricas

Após o esgotamento dos grandes potenciais hidrelétricos, e com a crise energética da década de setenta, passou-se a olhar com mais seriedade o potencial que pequenas quedas poderiam oferecer.

De fato, qualquer energia se torna uma fonte importante de energia na zona rural se esta for abundante na região. De acordo com as estatísticas de 25 países em desenvolvimento cerca de 41.000 MW em pequenas centrais hidrelétricas podem ser economicamente desenvolvidas. Tomando a China como um exemplo, o potencial é de cerca de 150 GW, dos quais 70 GW podem ser economicamente desenvolvidas. De 2300 vilarejos na China, cerca de 800 podem ser eletrificados na base do desenvolvimento de pequenas centrais. Para os países em desenvolvimento, os equipamentos industriais rurais possuem capacidade máxima de 100 KW e as indústrias rurais podem ser energizadas por minicentraís se o potencial de

minicentraís for abundante na região. Nestas últimas décadas, o governo chinês produziu muitas políticas preferenciais para o desenvolvimento de pequenas e minicentraís. E apesar da indústria ser pequena, atualmente, as estações de minicentraís estão amplamente espalhadas nas áreas rurais, representando um grande papel no desenvolvimento econômico rural (JIANDONG *et al.*, 1997).

A classificação das centrais hidrelétricas é baseada em sua potência instalada, sendo apresentada de forma diversa pelo Manual da OLADE (Organização Latino Americana de Energia) e pelo Manual de Centrais Hidrelétricas Brasileiras S. A. da ELETROBRÁS (Tabela 4).

TABELA 4: Classificação de centrais hidrelétricas

Denominação Hidrelétricas	Potência Instalada [kW] (OLADE)	Potência Instalada [kW] (ELETROBRÁS)	Queda (m)		
			Baixa	Média	Alta
Microcentrais	< 50	< 100	15	15-50	>50
Minicentraís	50 – 500	100 – 1.000	20	20-100	>100
Midicentraís	500 – 5.000	1.000 – 10.000	25	25-130	>130
Centrais	>5.000	>10.000	30	30-150	>150

Fonte: ELETROBRÁS (1985)⁷

Segundo o Manual de Minicentraís hidrelétricas editado pela ELETROBRÁS (1985), minicentral é aquela capaz de gerar potências entre 100kW e 1000kW. Quanto aos outros critérios de classificação são praticamente indistintos para os dois tipos citados e são classificados conforme: a sua potência instalada, altura de queda, forma de captação de água e a forma de utilizar as vazões naturais.

A importância do aproveitamento de pequenas potências é facilmente percebida. Há locais por onde passam linhas de alta tensão, cuja energia para ser aproveitada exigiria subestações de custo incompatível com o consumo de energia local. Em outros casos, a energia pode ser conduzida de subestações de cidades

vizinhas, mas é necessário recorrer a longas linhas de transmissão, e conseqüente elevado custo de investimento pela empresa concessionária. A instalação de uma micro, ou miniusina, pode representar, no caso uma solução vantajosa.

JIANDONG *et al.* (1997) defendem que o suprimento de energia por pequenas e microcentrais são técnica e economicamente viáveis pois solucionam a demanda de energia dos pequenos centros aproveitando o grande potencial da disponibilidade hídrica existente nestas regiões. Os autores descartam a solução técnica de se utilizar suprimento de energia centralizada, pois estas tem a desvantagem de serem longas redes de distribuição para atender áreas remotas, o que torna o custo inviável economicamente. Na realidade, uma estratégia flexível e diversificada para a eletrificação rural deve ser considerada, baseada nas condições regionais e locais.

Já a partir de 1981 a legislação, através do Decreto-lei nº 1872 de 21/05/81, prevê até mesmo a possibilidade do proprietário da usina, designado como “autoprodutor”, vender através de concessionária local de energia, o excedente de energia para consumidores vizinhos, como um estímulo à construção de uma usina com capacidade um tanto superior às necessidade reais do proprietário. Esta sobra de energia pode ser vendida pela concessionária, com remuneração ao “autoprodutor”, representando alívio no consumo do sistema e contribuição para aumento da energia utilizável.” (MACINTYRE, 1983). Atualmente o novo Decreto Lei nº. 2.003 de 03/09/96 regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor.

MACINTYRE (1983) defende que para um proprietário rural ou uma indústria possuir uma usina se mostra vantajoso, pois esta tem baixo custo de manutenção, representando economia no pagamento de energia da concessionária, além disso por haver possibilidade de venda da energia excedente. Em razão dos motivos acima citadas, abre-se uma perspectiva no investimento da construção de minis ou pequenas centrais, pois a possibilidade de vender o excesso de energia estimula o interesse em construir usinas maiores que o que seriam estritamente

⁷ ELETROBRÁS (1985) Manual de Minicentrais Hidrelétricas. Brasília -DF

necessário ao proprietário, pois montando uma usina maior, o custo de kW gerado baixará e pode haver uma receita sempre atualizável.

Conforme ELETROBRÁS & DNAEE (1985), essas usinas de pequeno porte são empregadas quando a vazão mínima do rio é maior que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima do mercado consumidor.

Neste caso a captação da água poderá ser feita através de uma pequena barragem, desprezando-se o volume do reservatório criado e projetando-se todo o sistema de adução para conduzir a descarga necessária à potência que atenda a demanda máxima. O aproveitamento energético do local será parcial e haverá descargas pelo vertedouro.

Os aproveitamentos de pequeno porte apresentam, dentre outras, as seguintes simplificações: nos estudos dispensam estudos sazonais de carga elétrica do consumidor e de regularização de descargas e facilitam a concepção de tomada d'água; em relação aos serviços topográficos dispensando levantamento detalhado da área do reservatório.

Na etapa de projeto as barragens serão baixas e as áreas inundadas serão pequenas, ocasionando poucas perdas em áreas inundadas próprias (do proprietário ou concessionária) e pouco danos a terceiros em decorrência de terras inundadas. Como não haverá significativas flutuações no nível d'água do reservatório, não será necessário que a tomada d'água seja projetada para atender as depleções desse nível de água. Do mesmo modo quando a adução primária é projetada através de um canal aberto, a profundidade deste canal será a maior profundidade possível pois não há necessidade de se atender as depleções citadas.

MACINTYRE (1983) afirma que com relação aos equipamentos eletromecânicos, no caso geral em que não ocorre depleção do nível de água do reservatório, ou seja a queda é constante e não há necessidade de instalação de turbinas com rotores de pás móveis, tipo Kaplan, o que torna a unidade turbogeradora mais econômica.

JIANDONG *et al.* (1997) abordam a importância do desenvolvimento social que instalações de mini centrais hidrelétricas podem proporcionar, principalmente nos países em desenvolvimento. Neste sentido, SCARTAZZINI (1993) enfatiza

ainda mais a função social da instalação de micro centrais hidrelétricas como de suma importância, ao abastecer às necessidades de famílias isoladas e distantes dos centros urbanos e adiciona: “atendendo a demanda de uma família desprovida, de um morador rural que é produtivo em seu habitat e que poderá vir a ser um ônus social na periferia de uma grande cidade, caso não lhe seja dada a oportunidade desta melhoria na qualidade de vida, o balanço econômico toma outro enfoque. Para esta família rural, a energia elétrica pode representar o marco entre a permanência em uma atividade da qual ela domina, ou a busca ilusória da melhoria de vida causada pela luzes dos grandes centros”. E complementa: “o investimento na realização das necessidades de energia desta facção de desabonados evitaria o agravamento dos problemas sociais que são combatidos de forma paliativa pelos executivos com aumento de policiamento, gastos com saúde e saneamento básico”.

As disposições das usinas de pequeno porte dependem exclusivamente do terreno, das condições de vazão dispostas e formação geológica presentes no local em estudo. A seguir são mostrados alguns tipos de disposições de PCH, respeitando as condições locais de implantação da usina citados em MACINTYRE (1983).

Em um terreno acidentado próximo das nascentes, trata-se de aproveitar um riacho capaz de fornecer algumas dezenas de litros por segundo. No caso de se aproveitar uma instalação aplicável seria uma microusina a fio d'água mostrada na Figura 1.

Neste local, escolher-se-ia um ponto alto da encosta, local para construção de uma pequena obra de represamento para tomada d'água de uma tubulação que desceria tão diretamente quanto possível à usina localizada no nível mais baixo que se pudesse conseguir. Nessa pequena represa se deixaria um vertedouro que permitiria a saída de uma parte da água, de modo a não deixar a seco o leito natural do riacho com prejuízos ecológicos eventuais.

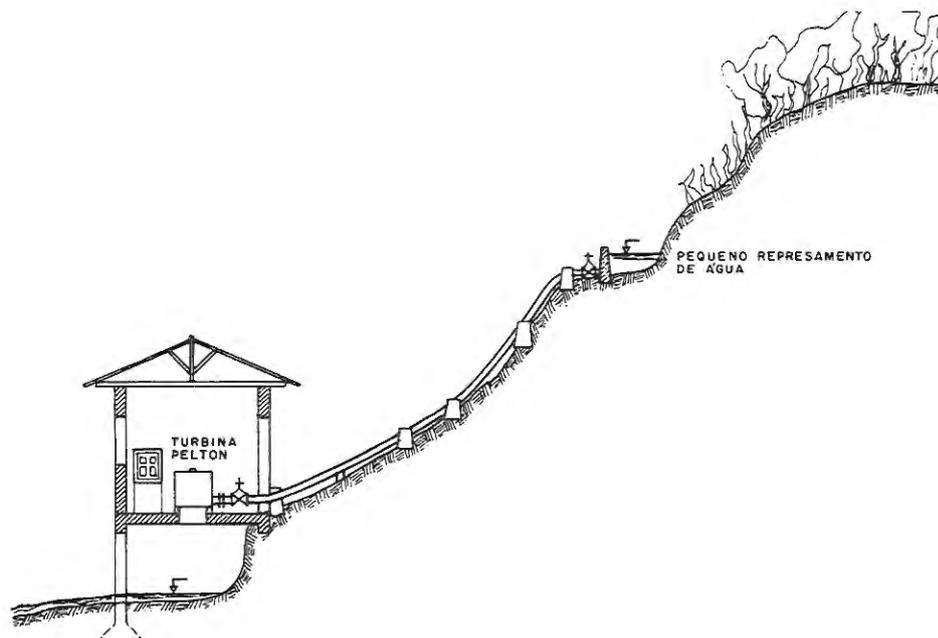


FIGURA 1: Usina de pequeno porte com adução por tubulação (perfil)

Fonte: MACINTYRE (1983)

Podem-se distinguir dois casos de **usinas de pequeno porte de derivação com instalação aberta**. No primeiro caso aproveita-se um riacho ou córrego no qual se pode construir pequena barragem com vertedouro e uma tomada d'água lateral ao rio. Desta tomada d'água, a água segue em um canal aberto, com pequena declividade, até a câmara ou poço de adução, onde fica a turbina de instalação tipo aberta mostrada na Figura 2. Este tipo é adequado a pequenos desníveis.

O segundo caso ocorre quando não for conveniente represar o corpo d'água, devido aos problemas com ocupantes de terras a jusantes, ou porque obrigaria obras dispendiosas. Neste situação faz-se simplesmente uma tomada d'água lateral, protegida por uma tora de madeira flutuante entre guias (estacas cravadas) e um canal de adução até o poço onde fica a turbina. O excesso de água por ocasião das cheias é evitado fechando-se parcialmente uma comporta na tomada d'água para o canal.

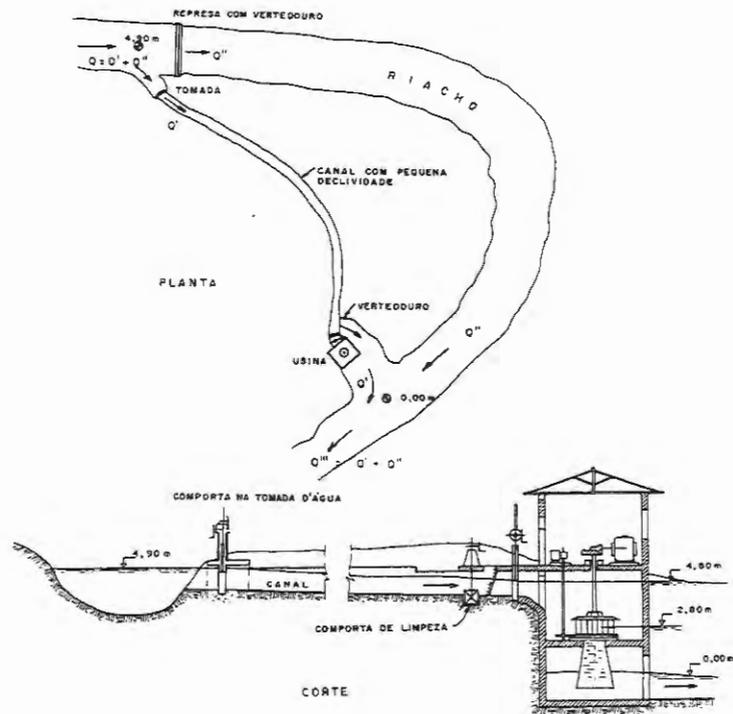


FIGURA 2: Usina de pequeno porte com instalação aberta, adução por canal aberto

Fonte: MACINTYRE, 1983

Este tipo de instalação é usada para iluminação de fazendas, sítios e situações em que não há freqüentes variações de carga.

Uma **usina de pequeno porte de derivação com instalação fechada** ocorre quando a vazão do rio supera as exigências da capacidade da usina que se pretende instalar, e há um desnível considerável a aproveitar, assim desaconselha-se a instalação aberta. Há diversas variantes, conforme as condições topográficas locais. Uma das soluções é indicada na Figura 3.

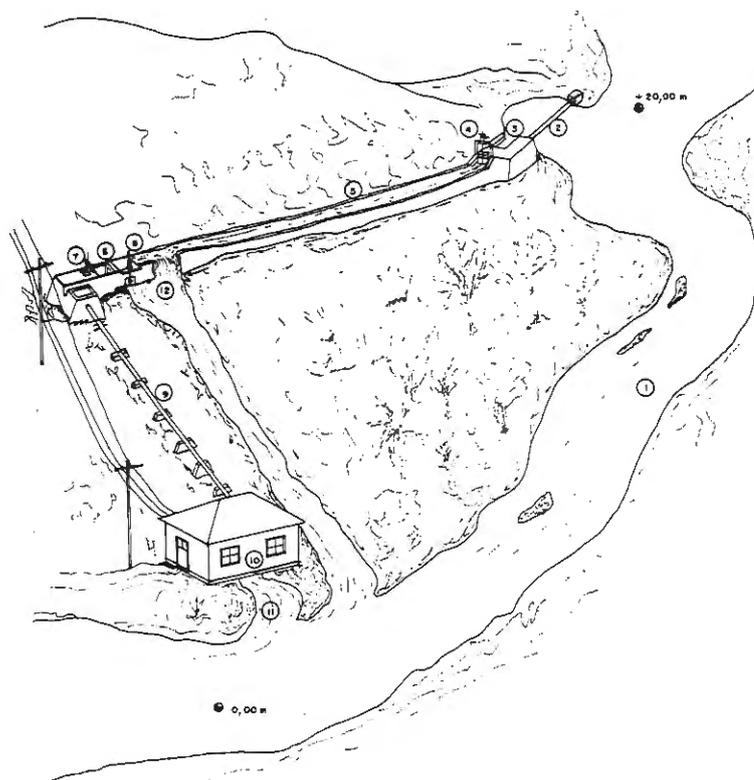


FIGURA 3: Instalação típica de miniusina de derivação. Sugestão baseada em catálogo da Companhia Federal de Fundição

Fonte: MACINTYRE, 1983.

O maior problema que ocorre neste aproveitamento hidrelétrico, seja qual for sua magnitude, é que cada caso deve ser elaborado um projeto específico, e no caso de usinas de certo porte também as turbinas devem ser projetadas para as condições particulares.

Para as miniturbinas, alguns fabricantes procederam a uma certa padronização para simplificação, obtenção de menor custo e fornecimento rápido. Em certos casos haverá sacrifício do rendimento, mas nas pequenas instalações, o rendimento não tem a relevância indiscutível própria das turbinas de média e grande potências. MACINTYRE (1983) cita alguns fabricantes encontrados no mercado e descreve o funcionamento de alguns tipos de turbinas para esse tipo de aproveitamento.

Quando se trata de aproveitamentos de baixas quedas, existe um canal adutor terminando em uma câmara de carga, na qual se encontram as tomadas d'água

localizadas praticamente à entrada das caixas espirais das turbinas, sem a existência de condutos forçados, com a água sendo restituída diretamente ao rio ou a canais de fuga.

Pelo exposto (os diversos componentes de um aproveitamento hidrelétrico), conclui-se que para cada local aproveitável pode-se encontrar diversos esquemas de utilização, cada um com diversos variantes, todos tecnicamente corretos e viáveis. É impossível estabelecer-se qual a solução mais correta e adequada a cada caso, sem um estudo criterioso de cada um e sem um estudo econômico comparativo entre eles. Consequentemente, cada central hidrelétrica possui sua própria individualidade.

Para a escolha de locais para implantar minicentraís, várias etapas devem ser obedecidas, como a regulação de cargas para o planejamento regional, a escolha de turbina apropriada para o local em estudo, a definição da potência instalada conforme condições oferecidas no local, impactos decorrentes da implantação do projeto em si entre outros.

Para fins de produção de energia elétrica, as centrais hidrelétricas devem adequar-se à exigências das demandas de potências elétricas dos sistemas em que serão inseridos. Essas demandas variam continuamente pois a cada momento cargas elétricas são ligadas e desligadas. O registro em gráficos dos valores das demandas totais de potências ativas em cada instante durante um determinado período de tempo é denominado diagrama de carga.

Se houver uma empresa concessionária, esta deverá, evidentemente, atender a demanda da ponta de carga, para o que são necessárias instalações com potência de geração suficiente. Se o fator de carga for alto, esse equipamento será mais bem utilizado. Se for baixo, haverá uma subutilização, o que influencia inclusive o custo da energia elétrica fornecida (custo de kWh).

3.5.2. Determinação da potência instalada de uma usina de pequeno porte

A determinação da potência de uma usina de pequeno porte requer vários processos que incluem-se também os procedimentos a adotar para aquisição dos dados, no caso, das variáveis queda e vazão, necessários para o cálculo de potência instalada.

Complementa-se apresentando alguns elementos que podem sofrer impacto com a instalação destas, tanto a jusante como a montante da usina.

O Potencial Hidráulico pode ser dado pela seguinte fórmula apresentada pela Equação 1:

$$P_H = 9,81 * Q_{95} * H_L * \eta_T * \eta_g \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

P_H : potência nos bornes do gerador, em kW

Q_{95} : vazão de 95% de permanência [m^3/s]

H_L : altura líquida [m]

η_T : rendimento da turbina

η_g : rendimento do gerador

A ELETROBRÁS (1985) supõe máquinas com rendimentos de aproximadamente 95% para o gerador e de 77% para a turbina, e utiliza a seguinte fórmula da potência a ser instalada em uma usina de pequeno porte, mostrada pela equação 2.2:

$$P_H = 7,16 * Q_{95} * H_L \quad (\text{Equação 2})$$

Esta expressão é uma simplificação adquirida através da fórmula de ELETROBRÁS, Manual de Minicentrals hidrelétricas de 1985, que considera as perdas de carga nas tubulações e nas turbinas, e a eficiência do gerador, que prevê um cálculo simplificado para atingir os objetivos desta etapa de trabalho, ou seja possibilita estudar previamente a viabilidade dos locais a implantar minicentrals tendo como parâmetro o cálculo da potência instalada.

3.5.2.1. Determinação da Altura de Queda de Projeto

A determinação da altura de queda líquida sugerida por ELETROBRÁS (1985) é de procedimento expedito. Porém, no presente estudo sugere-se uma alternativa, ou seja a utilização do SIG como ferramenta que propicia a localização destes pontos de queda para determinação do potencial hidráulico.

A queda líquida (H_L) é a queda bruta deduzida da perda de carga total no sistema de adução. A queda bruta (H_B) é a diferença entre a cota do nível d'água máximo normal no reservatório, ou tomada d'água e a cota de nível d'água normal no canal de fuga. Dois métodos podem ser usados para o cálculo da perda de carga no sistema de adução (ELETROBRÁS, 1985):

Método Expedito – geralmente empregado nos primeiros estudos de avaliação do potencial do local do aproveitamento.

Método Clássico – baseado nas teorias desenvolvidas para os estudos hidráulicos de escoamento dos fluídos e, por apresentar resultados mais precisos, é empregado para o projeto definitivo do aproveitamento das obras civis do sistema de adução.

O presente trabalho implementará o método expedito sugerido por ELETROBRÁS (1985) apresentado pela Tabela 5:

TABELA 5: Método expedito de cálculo da altura líquida

Comprimento do sistema de adução (distância da casa de máquinas até a tomada d'água em planta) (m)	Relação (H_L/H)
< 80	0,97
80 – 320	0,96
320 – 800	0,95
> 800	Método clássico

Fonte: ELETROBRÁS (1985)

3.5.2.2. Determinação da Descarga de Projeto

a) Regionalização de vazões

O DNAEE mantinha uma grande rede de postos fluviométricos até 1989, espalhados em todo o Território Nacional, como pode ser verificado em DNAEE (1987). Porém devido à grande quantidade de cursos de água existentes no Brasil, muitos rios de médio porte não possuem registros de suas vazões.

Freqüentemente nos estudos para aproveitamento dos recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas, o hidrólogo é convocado para avaliar a disponibilidade hídrica superficial em locais onde não existe série histórica de vazões, ou se existe, o tamanho da série observada é pequeno. Nestes casos torna-se necessário aplicar técnicas que permitam a transferência de informações de outros locais para a bacia hidrográfica em questão. Uma das técnicas de transferência de informações comumente empregada é a regionalização hidrológica (PALOS *et al.*, 1987). Para atender a necessidade de se quantificar o fluxo de água nestes locais, onde há falta de informações, foram desenvolvidas técnicas que utilizam informações sobre sazonalidade e quantificação de precipitação, tipificação de solos e drenagem, características físicas e geomorfológicas locais que permitam estabelecer uma relação com os postos fluviométricos existentes, através de uma correlação estatística adequada.

As características hidrológicas a serem regionalizadas dependem fundamentalmente da finalidade do projeto. Em estudos de qualidade de águas superficiais, o objetivo é avaliar a capacidade de autodepuração da descarga mínima associada a um determinado período de retorno. No caso de pequenos aproveitamentos hidrelétricos deseja-se quantificar a energia possível a ser gerada, que é comumente estimada pela análise de curva de permanência. Quando, por outro lado o objetivo é atender uma determinada demanda (tanto para abastecimento quanto para geração de energia), é necessário verificar se a vazão a ser captada é menor que a descarga mínima para um dado período de retorno (captação a fio d'água). Caso a demanda seja maior que a mínima, e menor que a média de longo período, é preciso avaliar qual o volume de armazenamento necessário para regularizar essa demanda, associado a um determinado risco de não atendimento em um ano qualquer (PALOS *et al.*, 1987).

A técnica de regionalização de vazões foi aplicada na região pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas em 1985, que apresentou equações capazes de determinar vazões em rios da região Sul, a partir de algumas características locais. No trabalho de CEE-IPH (1991) é apresentada uma metodologia de regionalização de vazões para o estado do Rio Grande do Sul que permitem calcular vazões máximas médias e

mínimas para o ponto do curso de água onde se conheça a área de contribuição, a precipitação, a densidade de drenagem ou outras características locais.

SCARTAZZINI (1993) utilizou da curva de permanência e da área de contribuição para determinação de vazão em determinado trecho do rio para posterior cálculo do potencial hidráulico na bacia do rio Pardinho/RS. O modelo aplicado à determinação de vazões foi considerado pelo autor bastante ajustado aos valores obtidos em campo, tomados nos períodos de seca para registrar valores mínimos de fluxo d'água.

Em PALOS *et al.* (1987) foram apresentadas, através da técnica de regionalização hidrológica, parâmetros que tornem possível o cálculo de vazões mínimas, vazão média de longo período, curva de permanência e volume de regularização intra-anual para pequenas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Com este intuito os autores selecionaram séries históricas de vazões mensais de 219 postos fluviométricos. O critério de seleção destes postos foram: a presença de área de drenagem superior a 5.000 km² e período de observação maior que 10 anos. Entretanto, em algumas regiões do estado, os postos existentes não atendiam a uma ou a duas condições. Nesses casos, a série observada serviu para auxiliar o trabalho de regionalização, indicando a tendência das variáveis hidrológicas em estudo.

Segundo o Manual de Minicentrals Hidrelétricas da ELETROBRÁS (1985), os estudos hidrológicos a serem realizados nos projetos de minicentrals hidrelétricas compreendem basicamente a definição de cada projeto do regime fluviométrico do rio, com determinação de vazões para utilização no cálculo de potência a ser instalada.

➤ No caso de não haver dados fluviométricos numa dada seção do rio, haverá necessidade de regularização de vazões. A curva de regularização de vazões é a curva obtida para uma determinada seção de um curso de água em função da curva conhecida para uma outra seção do mesmo ou de outro curso de água.

Essa regularização baseia-se no fato de serem as vazões obtidas para uma determinada seção proporcionais a área da bacia hidrográfica que lhe fica a montante. Assim, esses dados podem ser extrapolados para outras seções do mesmo

rio ou de outros rios da mesma bacia, desde que as condições climatológicas, do subsolo, da cobertura vegetal, etc. possam ser consideradas semelhantes.

A vazão média permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético, entre outros usos. A vazão média de longo período é a maior vazão possível de ser regularizada numa bacia (TUCCI, 1997).

Nesta pesquisa, considerou-se que os aproveitamentos serão a fio d'água. ELETROBRÁS (1985) sugere que nesses casos a vazão adotada seja vazão de permanência de 95% do tempo.

A curva de permanência apresenta a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores de uma série temporal. No caso de valor de garantia de 95% significa que a seção fluvial apresenta-se com vazões acima dele em 95% do tempo. LANNA (1997) mostra que há diferenças entre curvas de permanência geradas de séries anuais, mensais e diárias. Normalmente dados anuais superestimam a curva gerada em comparação com a de dados mensais, o autor aconselha a utilização da série diária, para uma maior precisão da informação gerada. O autor mostra o procedimento para o traçado da curva de permanência das vazões médias anuais do rio Almada em Itajuípe, BA.

LANNA (1997) afirma que a utilização da curva de permanência para avaliação de disponibilidade hídrica neste tipo de análise dependerá do período disponível de dados. Se existirem 10 anos ou 50 anos, os resultados poderão ser totalmente diversos. Idealmente, o período de dados utilizado deveria ser igual à vida útil do projeto, que geralmente é da ordem de 30 a 50 anos.

Sobre regionalização da curva de permanência, TUCCI (1997, p.603-604) descreve dois procedimentos principais para determinação da curva de permanência são os da metodologia empírica e do ajuste de uma função matemática.

b) Determinação da Descarga de um projeto a fio d'água

Com o conhecimento da descarga firme, ou seja da vazão de 95% de permanência do tempo, e da queda líquida, calculada de forma expedita pode-se decidir sobre a descarga de projeto, tendo em vista os parâmetros do mercado consumidor, em especial a curva de carga típica e potência necessária, determinado

nos *Estudos de Mercados* do Manual de Minicentrals Hidrelétricas da ELETROBRÁS (1985).

Essa descarga de projeto vai depender não apenas de disponibilidade do curso d'água como da possibilidade ou não, por questões topográficas e/ou construtivas, de se fazer uma regularização diária de vazões. Dependerá, também, do nível de motorização mais adequado, tendo em vista os citados parâmetros de mercado. Finalmente, dependerá do fato de haver ou não possibilidade e/ou conveniência da minicentral ser integrada a um sistema existente.

c) Estudos para geração de energia com reservatório para regularização de vazões

ELETROBRÁS (1985) sugere o seguinte procedimento para avaliar a disponibilidade hidrológica de um local para geração de energia por meio de construção de um reservatório para regularização de vazões.

A carga necessária para gerar a potência requerida pelo mercado consumidor é obtida através da equação 3.

$$Q_n = P_R / (7.16H_L) \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo: Q_n , a descarga necessária, em m^3/s ; P_R , a potência requerida pelo mercado consumidor, em kW; e H_L , a altura líquida, em m. Se o valor de Q_n for igual ou inferior à descarga firme, Q_f , do curso d'água, isto é a descarga diária de 95% de duração (Q_{95}), a central será a fio d'água e a descarga natural excedente verterá sobre as estruturas projetadas para tal. Nesse caso o potencial do local não será totalmente aproveitado e a vazão de projeto, em m^3/s , a ser adotada será a vazão necessária (Q_n).

Quando a descarga necessária for superior à descarga firme Q_f do curso d'água, pode-se recorrer à contribuição do reservatório sob a forma de um incremento de descarga ΔQ , resultado da capacidade de regularização do mesmo, o que, para pequenos reservatórios como os considerados no Manual de Minicentrals Hidrelétricas da ELETROBRÁS (1985), é geralmente pequena e feita apenas durante um período diário.

Com a finalidade de evitar novos custos com serviços topográfico, o mesmo manual, adota um método expedito para o cálculo do volume de inundação desses pequenos reservatórios de compensação. O volume de regularização (V_R) adotado é um terço do volume do reservatório, equação representada pela equação 4.

$$V_R = V/3 \quad (\text{Equação 4})$$

É necessário verificar se há condições topográficas e construtivas que permitam elevar a altura da barragem, do valor correspondente à depleção. Se a altura da barragem já estiver no limite, então dever-se-á verificar se é significativa a perda de queda correspondente a depleção. Desta forma o incremento de descarga regularizada (ΔQ) diariamente (em m^3/s) é mostrada pela Equação 5.

$$\Delta Q = V_R / 86400 \quad (\text{Equação 5})$$

Uma vez que o regime de variação das descargas naturais permita reencher diariamente o volume de depleção, dever-se-á adotar o volume de regularização (V_R) como válido (Equação 6); caso contrário, o valor de V_R deverá ser diminuído.

$$\text{Se } Q_R = Q_f + \Delta Q \geq Q_n \quad (\text{Equação 6})$$

A descarga regularizada atende à demanda necessária e a vazão de projeto assume o valor da vazão necessária (Q_n). E quando esta for superior à regularizada Q_R , deverá adotar a Equação 7 relacionada com vazão média, em m^3/s :

$$Q = 2 Q_R = 2 (Q_f + \Delta Q) \leq Q_{med} \quad (\text{Equação 7})$$

3.5.2.3. Turbinas Hidráulicas

Uma vez obtidas a queda líquida e a descarga, pode-se definir o tipo de turbina recomendado para o aproveitamento em estudo. Para isto deve-se utilizar de ábaco, onde estão representadas, em caráter orientativo, as faixas de utilização de cada turbina.

MACINTYRE (1983) apresenta um guia do comportamento de vários tipos de turbinas. Em caráter orientativo, CAMPOS (1991) levantou vários tipos de turbinas de acordo com as alturas de queda d'água e com as vazões que se

enquadram mais especificamente ao uso de minis e microcentrais hidrelétricas e são encontradas no Brasil.

CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

Os documentos cartográficos e fonte de dados utilizados na geração das cartas temáticas para o estudo proposto foram:

- a) Carta de planialtimetria do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) representados pelas quadriculas Luís Antônio, Santa Rita do Passa Quatro, Descalvado e Pirassununga em escala 1:50.000 do ano de 1972 – utilizados para digitalização das curvas planialtimétricas para definir o relevo da área de estudo. Destas cartas foram extraídos dados de hidrografia e de infra-estrutura viária da região;
- b) Carta de vegetação natural do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) da Secretaria do Meio Ambiente (SMA/SP), intitulado Mapeamento de Vegetação natural do estado de SP em escala 1:50.000, das quadriculas citadas anteriormente, que mostraram a vegetação natural da região e as áreas desmatadas, atualizadas até o ano de 1997;
- c) Carta pedológica do Instituto Agronômico intitulado Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, cuja quadricula foi utilizada a de Descalvado, na escala 1:100.000, do ano de 1982;
- d) Carta geológica do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, intitulado Formações Geológicas de Superfície, quadriculas de Pirassununga, Luís Antônio, Descalvado e Santa Rita do Passa Quatro em escala 1:50.000, dos anos de 1981, 1986, 1984 e 1981 respectivamente.

O estudo de GANDOLFI (1968) da Bacia do Mogi-Guaçu, sob os aspectos de morfologia da drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas foram

utilizadas na caracterização da área em estudo e também como fonte de dados para simulações deste estudo.

Parte dos dados relativos a caracterização sócio-econômico da região e referentes a exploração da água na região vieram do relatório *Caracterização de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo*. Este foi desenvolvido pelo DAAE pelo Governo de Estado de São Paulo em 1984 com objetivo de gerar diagnósticos que fornecessem subsídios para a definição de uma política de recursos hídricos com a finalidade de orientar o direcionamento e a intensidade do desenvolvimento regional e estadual de forma a não comprometer através da super exploração ou exploração inadequada a degradação desse recurso renovável, a água.

Relatórios de projetos de macrozoneamento da região do Mogi-Guaçu, regulamentação da Lei Estadual nº 7.641/91, foram utilizados e mesmo não contemplando a utilização do SIG facilitaram a obtenção dos mapas bases e dados pertinentes da região em estudo.

De posse das informações geográficas necessárias para o trabalho, parte dos dados foram digitalizados com auxílio do software TOSCA 2.12, e outra parte no CartaLinx, em mesa digitalizadora Summagraphics Summagrid IV, formato A1. Foram digitalizados arquivos para cada quadricula dos mapas de IBGE em vector e estes foram concatenados e editados no TOSCA 2.12 ou no CartaLinx (EASTMAN *et al.*, 1998) respectivamente, e então introduzidos no Sistema de Informações Geográficas, cujo programa utilizado foi o IDRISI for Windows, versão 2.0 (EASTMAN, 1997).

4.1.1. ÁREA DE ESTUDO

4.1.1.1. Localização da Área de Estudo

Para a realização dos objetivos deste trabalho optou-se por analisar uma região que tenha uma grande disponibilidade de recursos hídricos e quedas que possam vir a apresentar potenciais hidrelétricos para instalação de minicentraís. Para tanto, escolheu-se uma área situada na Bacia Hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, localizada no Estado de São Paulo.

A área em estudo é de aproximadamente de 2496 km² e abrange os municípios de Luís Antônio, Descalvado, Porto Ferreira, Santa Rita do Passa Quatro, Pirassununga e Santa Cruz da Estrela. As coordenadas geográficas da área na projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM), são 218.000 mE, 266.000 mE, 7.566.000 mN, 7.618.000 mN, cujo fuso tem origem no Equador e Meridiano 45°W.Gr., o referencial é o norte verdadeiro (Figura 4). A região estudada apresenta como ponto mais baixo nesta área a cota de 532 m acima do nível do mar e o ponto mais alto se situa a 1002 m.

O mapa de rede de distribuição de energia e de infra-estrutura viária está apresentada na Figura 5.

Segundo estudos de GANDOLFI (1968) “a bacia do Mogi-Guaçu tem o relevo muito movimentado, talvez em consequência da proximidade de dois grandes rios, o Mogi-Guaçu e o Pardo, com seus afluentes recortando intensamente a região e também apresenta desníveis consideráveis entre o topo das escarpas e o leito do rio Mogi-Guaçu, chegando a atingir mais de 500 metros, o que confere aos afluentes desse rio considerável energia, resultando num aprofundamento de seus cursos” (Figuras 6 e 7).

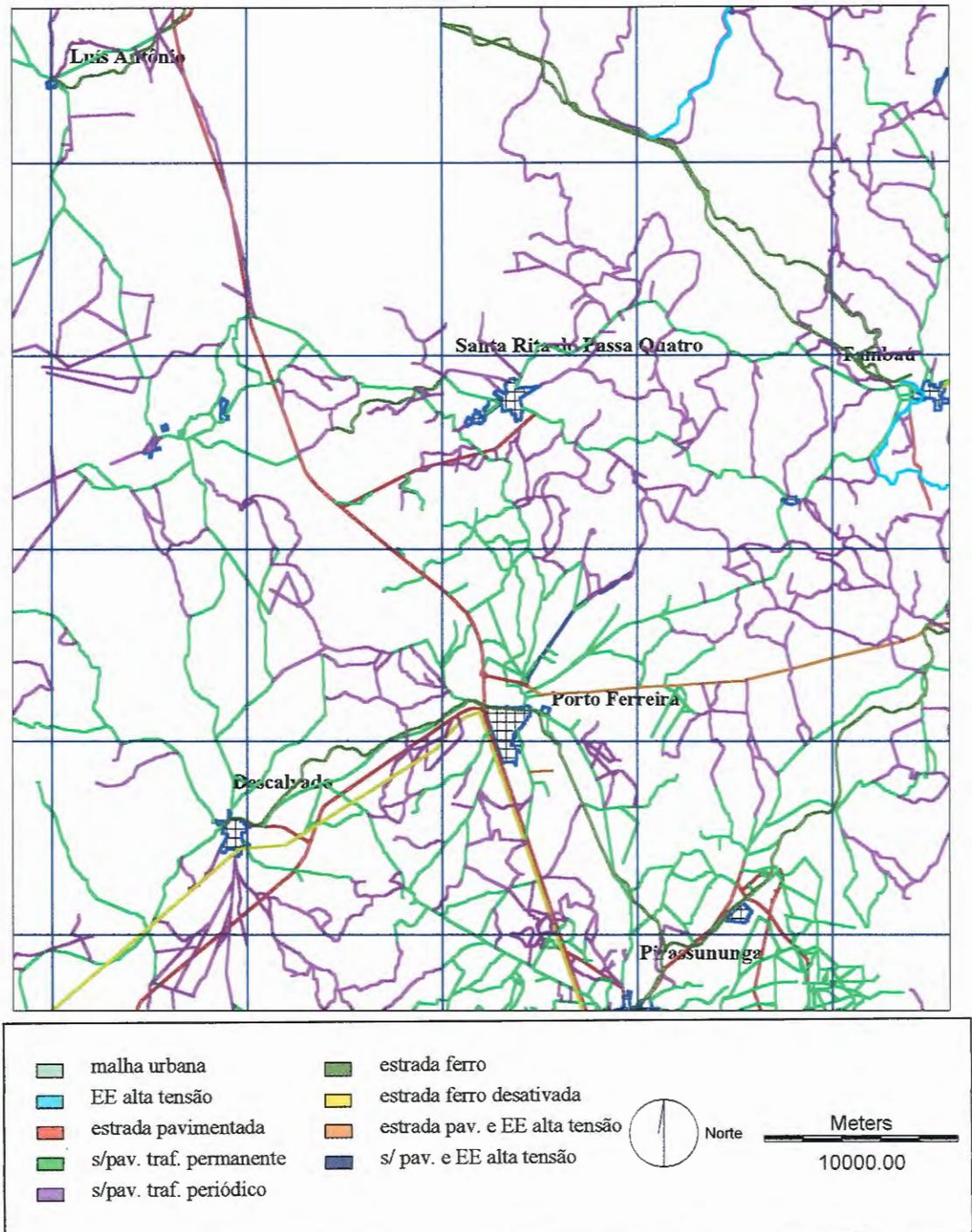


FIGURA 5: Mapa de rede de distribuição de energia e infra-estrutura viária da região

Fonte: IBGE



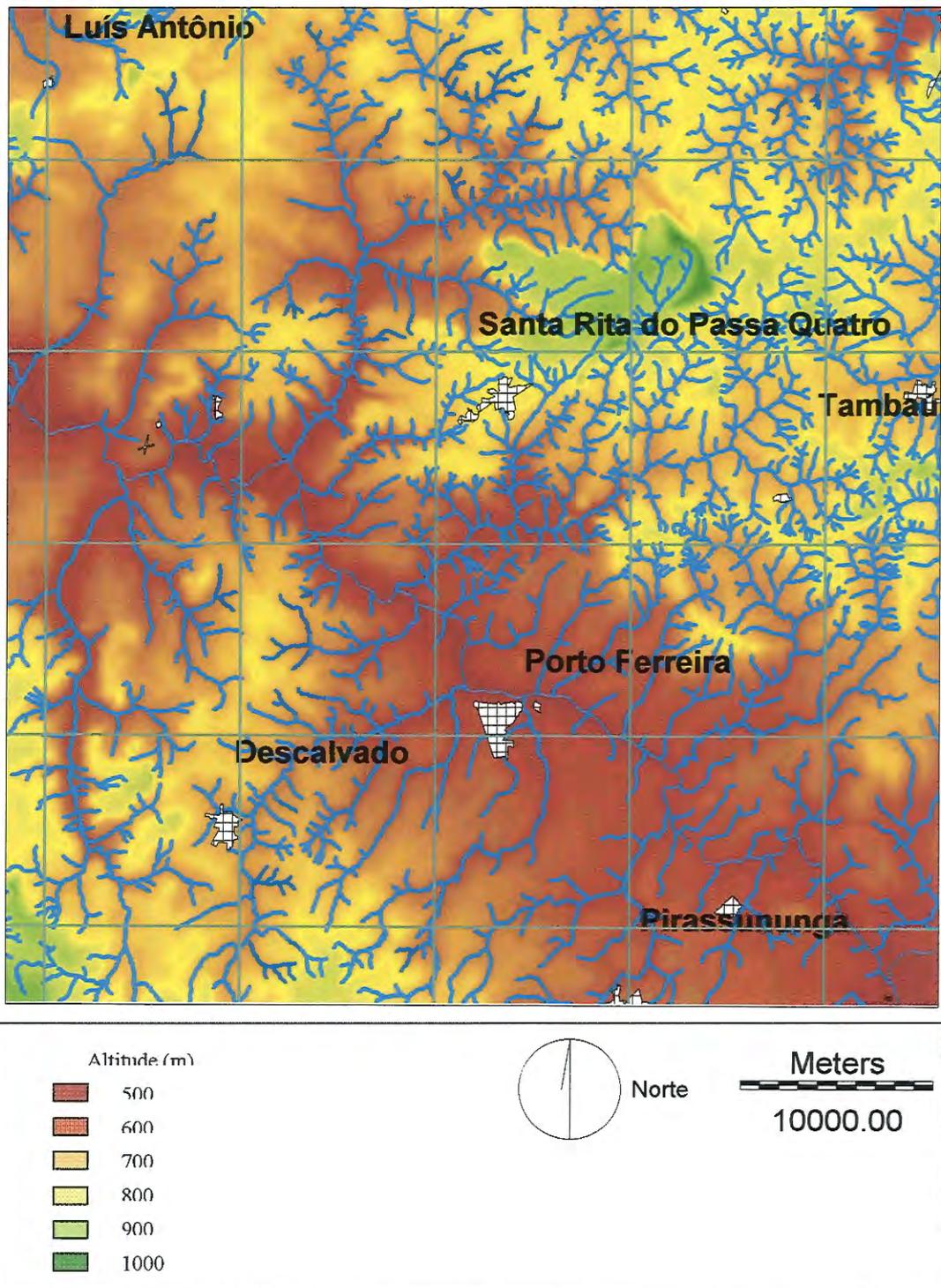


Figura 6: Mapa hipsométrico e da rede hidrográfica de região em estudo. Grid: 218.000mE, 266.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000mN

Fonte: IBGE

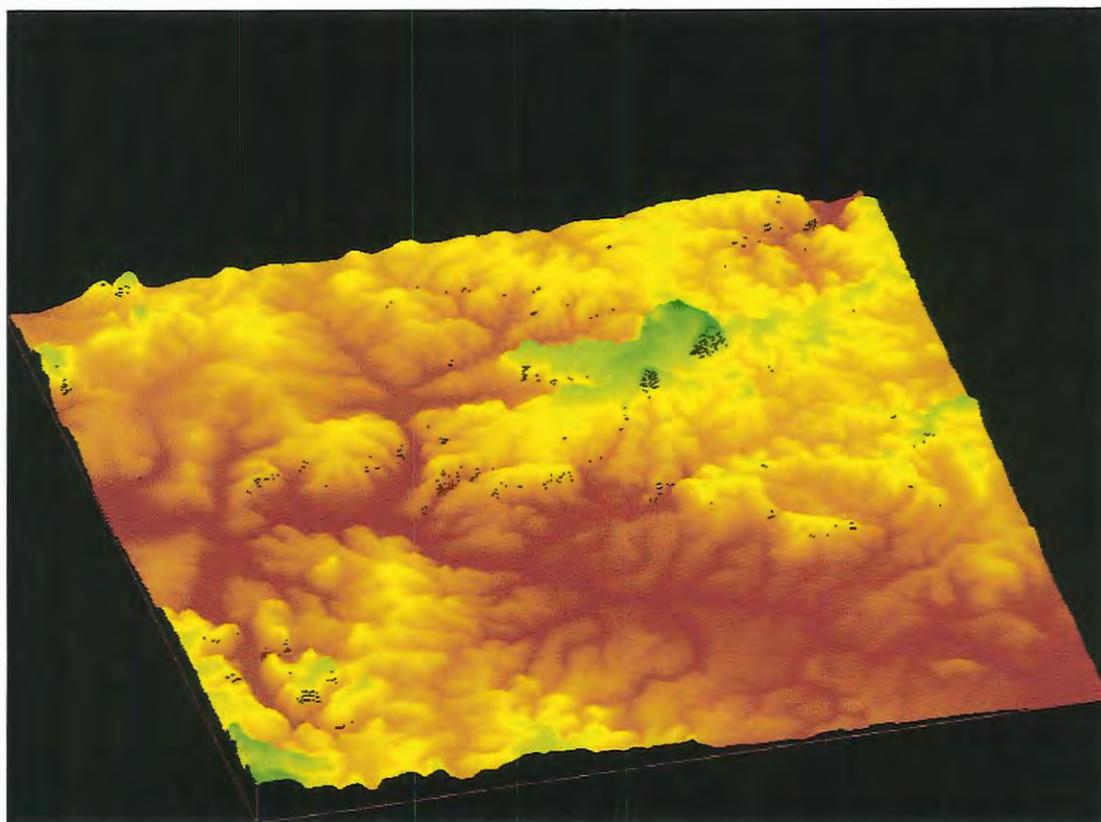


FIGURA 7: Imagem para visualização da região em estudo em perspectiva¹.

4.1.1.2. Caracterização ambiental da área de estudo

No que se refere a vegetação e ao uso natural, à medida que se atinge as imediações de Pirassununga e prossegue no sentido leste, predominam solos arenosos ou de textura média. Nesta área, apesar do relevo suave ondulado, persiste a maior reserva de vegetação natural da região, representada por cerrados e cerradões, em parte preservados devido às limitações mais sérias impostas pelos solos e, em parte, por se encontrarem aí reservas ecológicas estaduais. A agricultura, representada especialmente por *Citrus* e cana-de-açúcar, progressivamente vai invadindo também essas terras, porém o reflorestamento é seu principal uso (OLIVEIRA *et al.*, 1982).

A presença de cerrados e cerradões na região, descritos por OLIVEIRA *et al.* (1982), pode ser verificada nos mapas levantados do DEPRN (1997) de vegetação natural remanescente na região e apresentado na Figura 8. Não menos predominante na região aparece a capoeira, enquanto ocorre a presença de áreas de várzea em pequenas áreas.

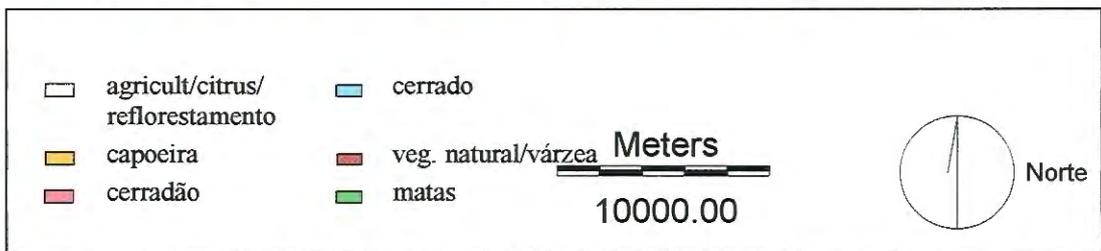
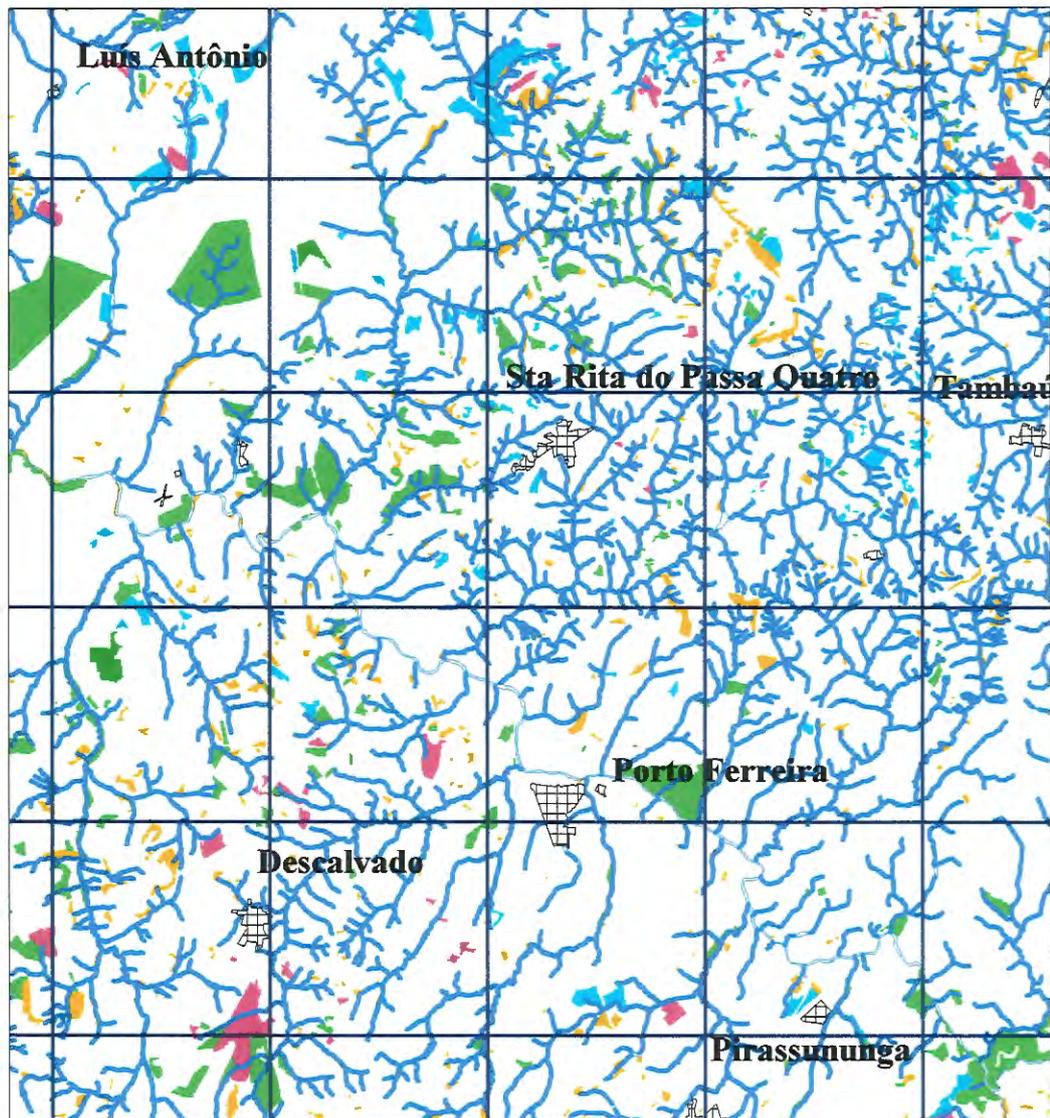


Figura 8: Mapa de vegetação natural da região. Grid: 218.000mE, 266.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000mN.

Fonte: DEPRN

Nas partes úmidas, representadas pelas planícies aluvionais mal drenadas, ocorrem vegetações de campos higrófilos, enquanto nas áreas mais bem drenadas próximas à calha dos rios predominava a mata ciliar, agora restrita a uma estreita faixa descontínua às margens do R. Mogi-Guaçu.

Em áreas bem drenadas da planície aluvional do Mogi-Guaçu, porém afastadas da calha dos rios, pontilham, esparsas, algumas espécies de cerrado, sugerindo penetração dessa vegetação nas partes mais recuadas e secas dessas planícies.

Em relação ao clima da região, os dados de temperatura e precipitação pluvial apresentados por OLIVEIRA *et al.* (1982), de cidades muito próximas (Casa Branca e Rio Claro), permitem identificar, segundo o sistema Köppen, um clima do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco, nestas localidades.

Os balanços hídricos, por sua vez, assinalam discreto período de deficiência hídrica, que se estende de maio a setembro com um mínimo de 11mm em Casa Branca e um máximo de 46mm em Rio Claro. As diferenças de excedentes já são mais bem expressivas, com 259mm em Rio Claro e 692mm em Casa Branca (OLIVEIRA *et al.*, 1982)

Em relação aos aspectos geológicos, as principais características das partes baixa e média da bacia do Mogi-Guaçu, foram apresentadas em pesquisa por GANDOLFI (1968) sobre a morfologia de drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas. Este autor conclui que a região apresenta padrão de drenagem dendrítico, sem controle estrutural e em estágio inicial ou recente do ciclo erosivo. O autor observou que as rochas mais antigas que ocorrem são sedimentitos pertencentes ao topo do Grupo Tubarão, aflorando no limite SE, cobrindo área muito pequena da região estudada. O rio Mogi-Guaçu corta esses sedimentitos na altura do Município de Pirassununga. A cachoeira de Emas se localiza no contato entre eles e os magmatitos básicos, muito comuns na área. A formação do Grupo Tubarão não é encontrada nesta região do presente estudo.

Em levantamento através de mapa geológico da área estudada (Figura 9) observou-se predominância da formação Santa Rita do Passa Quatro, encobrindo um terço da região. Também foram verificadas as presenças de Formações Serra Geral e

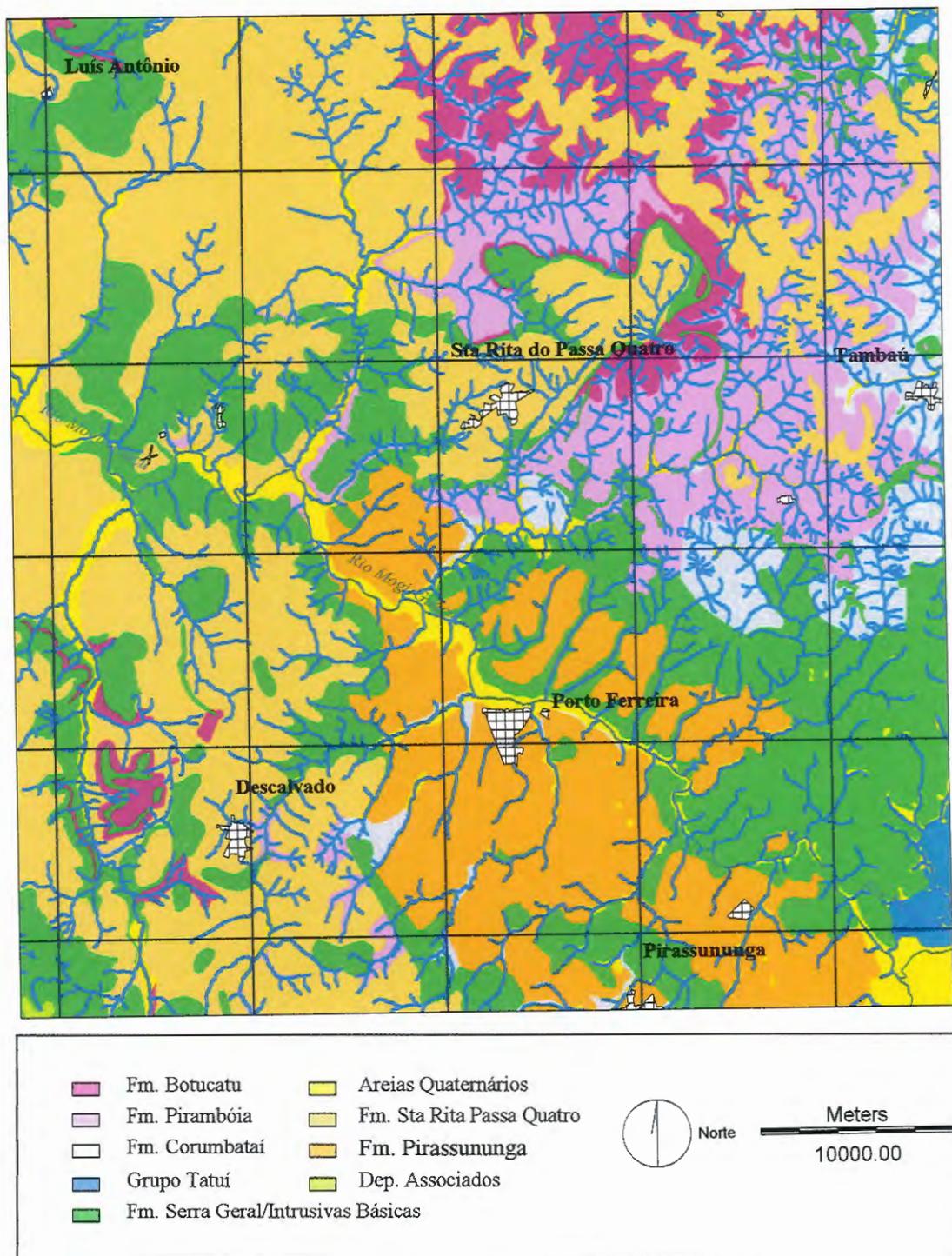


Figura 9: Caracterização Geológica da região em estudo. Grid: 218.000mE, 266.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000mN.

Fonte: Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo

Intrusivas Básicas apresentando como características a presença de basaltos e diabásios respectivamente. Optou-se pelo agrupamento das duas formações como uma única (com auxílio do Idrisi), pois esta caracterização é usualmente encontrada na literatura e nos estudos ambientais, e por apresentarem comportamentos semelhantes.

A Formação Corumbataí (GANDOLFI, 1968, p.7) também ocorre em uma pequena área à SE da região, em sua parte topograficamente mais baixa, ao longo da calha do rio Mogi-Guaçu. Apresenta-se predominantemente como siltitos laminados de coloração cinza escura, quando ocorrem próximo ao rio, mostram-se bastante alterados. Porém a formação que acompanha predominantemente o Mogi-Guaçu é a da Era Quaternários, tendo areias e argilas em sua composição.

Sobre a Formação Botucatu podem ser tanto eólicos, com estratificações cruzadas típicas de dunas e textura fina, quanto aquosos, com estratificação cruzada acalanada, intercalações de leitos argilosos e textura grossa. Cumpre notar a freqüente ocorrência de extensos depósitos de megaclastos, principalmente de quartzitos, nos sedimentitos aquosos dessa formação. Ainda na formação Botucatu encontram-se rochas que cobrem mais de um terço da área, representadas pelos magmatitos básicos. Parecem estar mais comumente associados ao processo de derrame e, seguidos por intrusões na forma de extensos “*sills*”, secundariamente se observam ocorrências de diques (GANDOLFI, 1968).

Caracterização Pedológica da região em estudo

Por falta de dados existentes da região, os aspectos pedológicos só foram caracterizados nas áreas correspondentes aos municípios de Descalvado e Luís Antônio, ou seja na extensão das coordenadas: 218.000mE a 240.000mE de longitude e 7.566.000mN a 7.618.000mN de latitude. Os dados encontrados foram extraídos do mapa intitulado: **Levantamento Pedológico detalhado do Estado de SP**, quadrícula de Descalvado, folha SF-23-V-C-IV, 1982, escala 1:100.000, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Os dados disponíveis foram digitalizados mostram as características dos solos presente na região com informações pedológicas fornecidas pelo Idrisi apresentados pela Tabela 6 e Figura 10.

Na área em estudo, no trecho em que ocorre informações pedológicas, é possível verificar a predominância de latossolos, constituindo 56% entre latossolo roxo, vermelho escuro e vermelho amarelo, sendo a maior parte de latossolo roxo, 24%. As areias quartzosas profundas estão presentes em toda região abrangendo 31,9% de toda área. Os solos hidromórficos acompanham a calha do Rio Mogi-Guaçu, e de alguns dos seus tributários.

TABELA 6: Características pedológicas da área de estudo

Classes	Área (km ²)	Percentagem equivalente
Latossolo roxo	293,8	24,1%
Latossolo vermelho escuro	199,9	16,4%
Latossolo vermelho amarelo	195,0	16,0%
Podzólico vermelho amarelo	12,4	1,0%
Terra roxa estruturada	7,6	0,6%
Areias quartzosas profundas	388,8	31,9%
Solos litólicos	65,5	5,4%
Solos hidromórficos	55,5	4,6%
Total	1218,5	100%

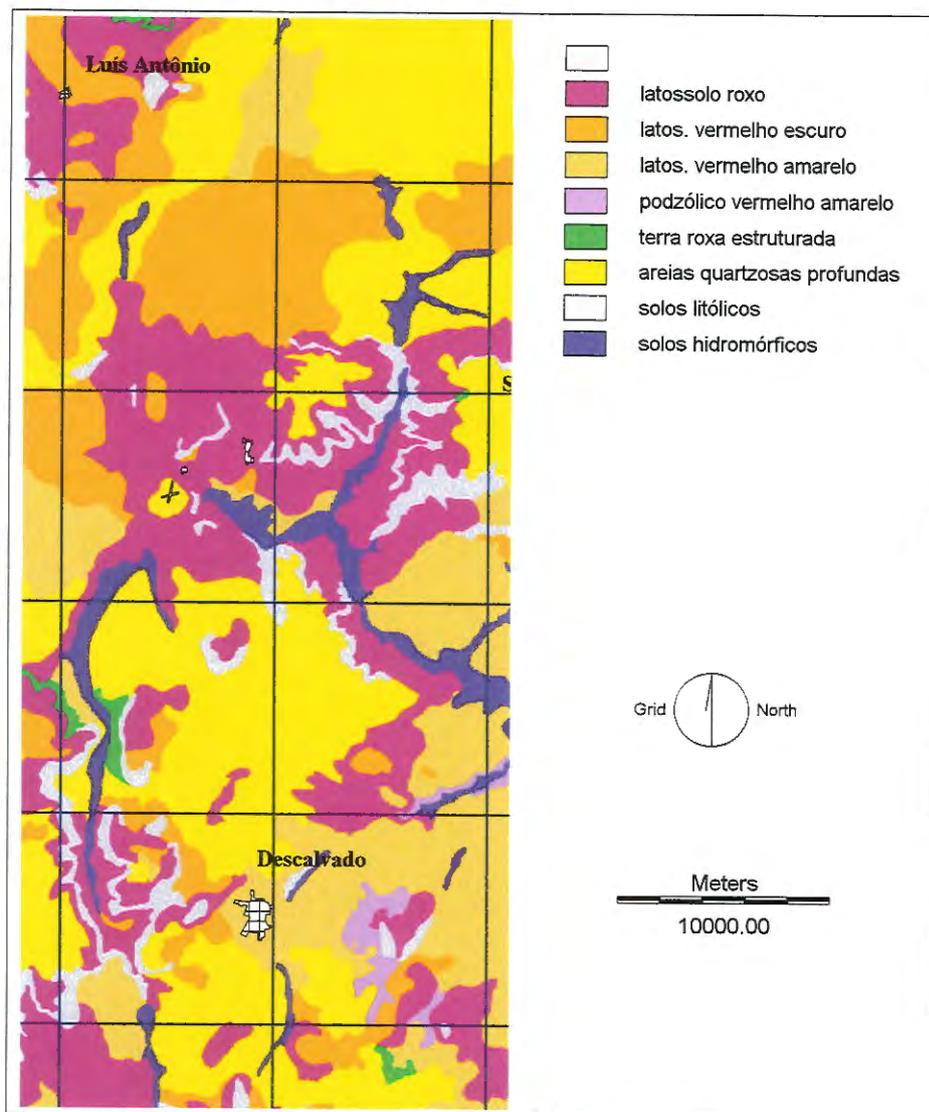


FIGURA 10 Mapa pedológico da área de estudo. Grid: 218.000mE, 241.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000mN.

Fonte: IAC

4.2. MÉTODOS

O enfoque desta pesquisa é desenvolver metodologia de identificação e verificação de viabilidade de instalação de pequenas centrais hidrelétricas com o auxílio da ferramenta SIG, para atendimento da demanda local.

Para o atendimento desta meta, dividiu-se o trabalho em duas fases:

- (1) Identificação de quedas potenciais e cálculo dos potenciais das quedas:
 - a) Identificação de possíveis localizações de PCH, tendo como parâmetro o potencial hidráulico de várias quedas presentes na área de estudo;
 - b) A partir de locais pré-selecionados que apresentaram bons potenciais, geraram outras cartas temáticas com resolução do pixel ampliada. Simulou-se o potencial das quedas e verificou-se a resposta para diferentes resoluções de pixel no cálculo de potência
- (2) Para verificação da viabilidade do empreendimento em função das características locais, discutiu-se sobre os impactos positivos e negativos decorrentes da implantação do projeto proposto.

4.2.1. Primeira Etapa: Determinação do Potencial hidráulico de quedas potenciais

Para a elaboração dos “Estudos Hidrenergéticos”, um projetista tem que conhecer parâmetros básicos, como as vazões naturais do curso d’água, queda bruta do aproveitamento e a potência necessária para suprir o centro consumidor. Resta nesse item determinar a queda líquida aproximada, através do cálculo expedito das perdas de carga na adução, assim como a descarga do projeto, através dos estudos de regularização. Com esses dois parâmetros, a potência aproximada do aproveitamento pode ser calculada.

Nesta fase é verificada o potencial hidrelétrico de vários locais, através da equação sugerida pela ELETROBRÁS (1985) de potencial hidráulico (vide Equação 2). Para esta etapa são necessários a geração de dados de vazão e das alturas de pontos escolhidos para a confirmação do potencial hidrelétrico local, simulado com o auxílio do Idrisi.

4.2.1.1. Identificação e localização de quedas em potenciais

As quedas foram localizadas com auxílio do Sistema de Informações Geográficas, programa *Idrisi for Windows versão 2.0*. O mapa de topografia foi gerado a partir das cartas do IBGE, escala 1:50.000 da região. Os mapas foram digitalizados no *Tosca 2.12*, em *vector*. Os arquivos foram concatenados e editados para posterior utilização no SIG. Nesta primeira etapa, no IDRISI foi gerado um arquivo básico com a área em estudo, através do comando *INITIAL*, onde a matriz base é de 960 colunas por 1040 linhas, totalizando uma área de 2.496 km², cujos pixels têm resolução de 50m x 50m.

No Idrisi, os mapas foram convertidos de *vector* para *raster* sobre a imagem base, através dos módulos *pointras*, *lineras* e *polyras*. Com estas operações foram geradas os mapas temáticos georreferenciados na forma de imagens digitais de topografia, rede hidrográfica, pedologia, geologia e matas.

A imagem rasterizada das curvas de níveis da região foi processada pelo módulo *intercon* produzindo-se o modelo de elevação digital ou *Digital Elevation Model (DEM)*, da topografia da região. O modelo digital de terreno gerado pelo Idrisi gera alguns ruídos. Um dos métodos de suavização destes ruídos é a utilização dos filtros disponíveis no Idrisi. Neste caso foi utilizado o filtro de média (células 5 x 5). Deve-se atentar ao fato que a utilização dos filtros pode vir a distorcer a imagem trabalhada, para tal acompanhou-se este processo analisando a distorção nos pontos de máximos e mínimos presentes na imagem. Estes apresentaram pequena distorção, ou seja os pontos de máximos e de mínimos presentes na área de estudo não apresentaram muita variação dos valores originais, do mapa de altimetria. Procurou-se não utilizar comandos de filtros em seqüência pois a distorção é acumulada. Para melhor verificação do desempenho dos filtros é necessário a utilização dos filtros sobre as imagens e comparação com cotas conhecidas da região e/ou verificação expedita no terreno de vários pontos presentes na região.

Para identificação das quedas com grande potencial, de posse do modelo digital do terreno, ou DEM foram geradas cartas de declividades, utilizando-se o módulo *surface/slope*. As declividades foram posteriormente agrupadas em classes

com o módulo *reclass*. Esta carta foi agrupada em quatro classes: declividades menores que 5%; de 5 a 10%, de 10 a 20% e maiores de 20%.

A carta de declividade agrupada em classes foi sobreposta com o arquivo de hidrografia, gerando uma carta onde se pode identificar locais de alta declividade ao longo dos rios. Esses locais foram pré-selecionados. O procedimento de identificação das potenciais quedas foram demonstradas na Figura 11.

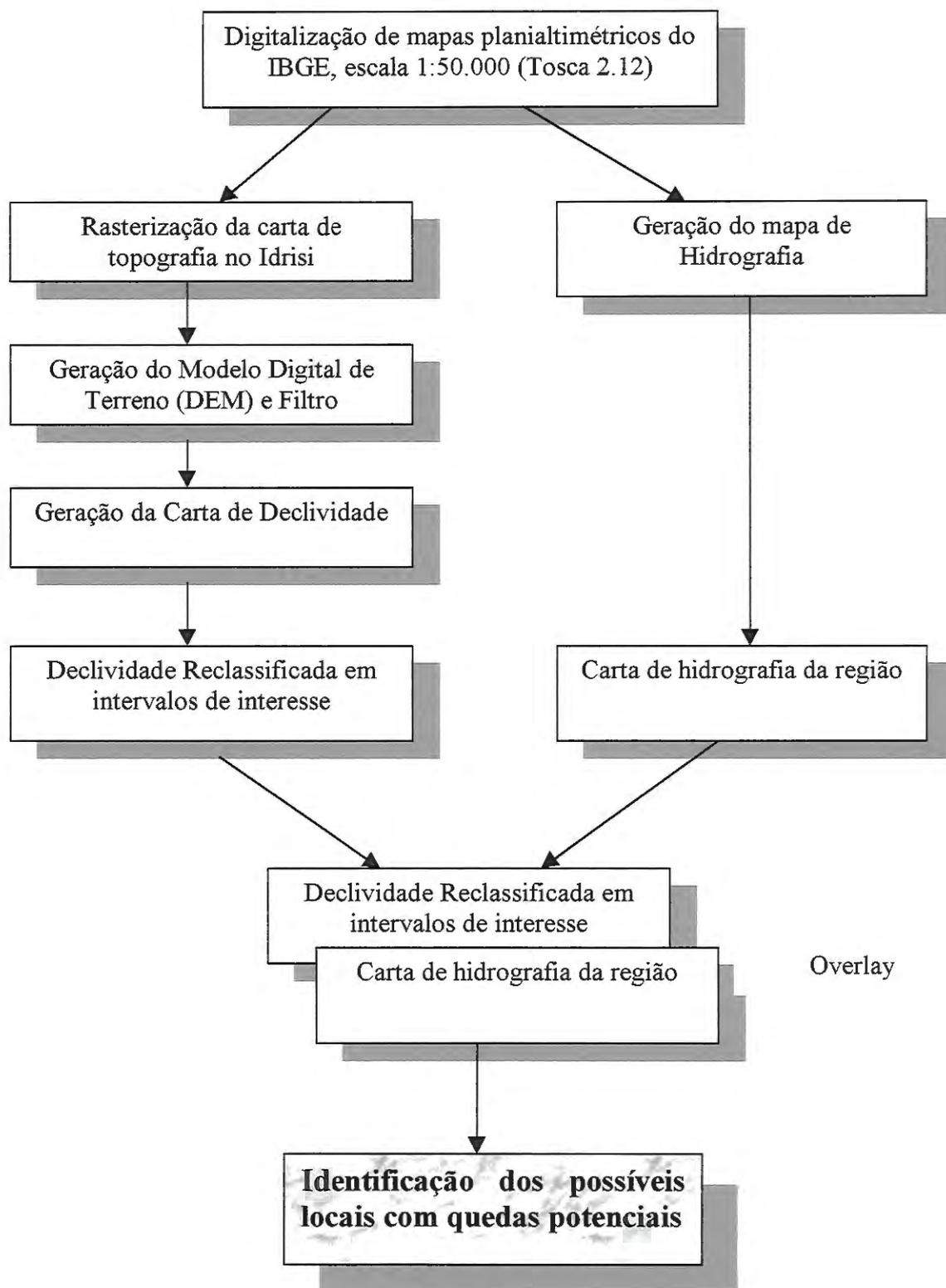


FIGURA 11: Procedimento de identificação de locais com quedas potenciais no Idrisi

4.2.1.2. Determinação da vazão para aproveitamento hidrelétrico

Para definição da vazão de projeto utilizou-se de dados fornecidos pela CESP em conjunto com o DNAEE, dados de postos fluviométricos presentes na região. Os dados principais dos postos fluviométricos Agroceres e Santa Catarina são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7: Principais características dos postos fluviométricos Agroceres e Santa Catarina, presentes na região de estudo

Características dos Postos Fluviométricos da Bacia de Mogi-Guaçu					
Nome posto fluviométrico	Localização		Município	Área de drenagem (km ²)	Período de dados em estudo
	Latitude [S]	Longitude [W]			
Agroceres	21°57'10''	47°18'45''	Pirassununga	9.519,0	Junho/1981 a junho/1997 (192 dados)
Santa Catarina	21°55'00''	47°24'00''	Pirassununga	9.650,0	Ago/1944 a dez/1976 (260 dados)

Com base nos dados fluviométricos de vazão destes postos anteriormente referidos, foram gerados curvas de permanência de vazões mensais, seguindo o procedimento de LANNA (1997, p. 84-86) para dois postos presentes na região em estudo.

Os dados do posto fluviométrico Santa Catarina, localizado às margens do Rio Mogi-Guaçu, foram utilizados para geração da curva de permanência e fonte de dados para quedas presentes no Rio Mogi-Guaçu. Outro posto fluviométrico utilizado como fonte de dados foi o posto fluviométrico de Agroceres localizado às margens de um rio secundário presente na região. A curva de permanência gerada deste posto foi utilizada para simulação das vazões dos rios secundários da região. As curvas de permanência dos postos fluviométricos Santa Catarina e Agroceres são apresentadas nas Figuras 12 e 13, respectivamente. A simulação da vazão no ponto de estudo, ou seja na queda propícia, pode ser calculada através de regularização de vazões.

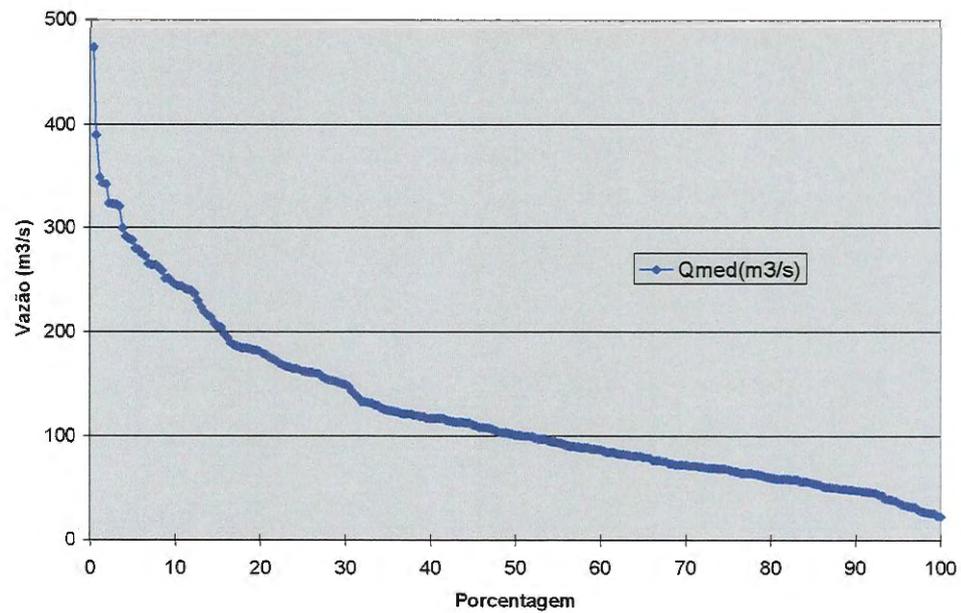


FIGURA 12: Curva de permanência de vazões mensais do Posto fluviométrico Santa Catarina

Fonte de dados: CESP/DNAEE, 1997

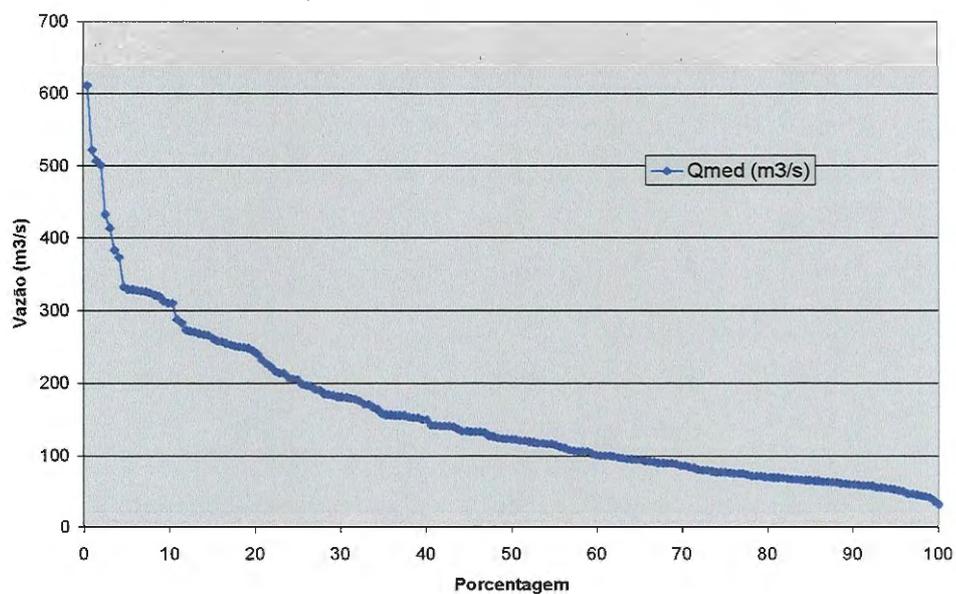


FIGURA 13: Curva de permanência de vazões mensais do Posto fluviométrico Agroceres

Fonte de dados: CESP/DNAEE, 1997

Com base nas curvas de permanência, valores de vazão de permanência de 95% (Q_{95}) foram definidos e foram calculadas as taxas de vazão por unidade de área de contribuição (q_{95} dado em $l/s \cdot km^2$) para cada posto fluviométrico. Esta taxa é valor de referência para o cálculo da vazão, a partir da área de contribuição de cada queda. Estes valores são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8: Valores de vazões regionalizadas dos postos Santa Catarina e Agroceres

Posto fluviométrico	Q_{95} (m^3/s)	Área de drenagem (km^2)	q_{95} ($l/s \cdot km^2$)
Agroceres	54,31	9.519,0	5,71
Santa Catarina	36,03	9.650,0	3,73

O presente trabalho preocupa-se com o aproveitamento de pequenas usinas sem reservatório a montante e apenas uma tomada d'água, dado necessário para verificação da altura para o cálculo do aproveitamento hidráulico.

A partir das quedas pré-estabelecidas, são digitalizadas linhas (*vector*) que definem as áreas de contribuição de cada queda, produzindo uma imagem de área de contribuição para as potenciais quedas. Define-se através do comando *area*, a área de contribuição para uma determinada queda encontrada pelo Idrisi, conseqüentemente, se estabelece a vazão deste ponto.

Em paralelo, ocorre a determinação do desnível da queda bruta (H_B) através da sobreposição dos arquivos do modelo digital do terreno (DEM) com a imagem de hidrografia da região, forçando os mapas a mostrarem os desníveis somente nos trechos dos rios.

A sobreposição das imagens é feita através do módulo *analysis/database query* e do comando *overlay*. Com o auxílio do COMPOSER do Idrisi, é possível a adição de *layers* de *vectors* nas imagens geradas. Dessa maneira, arquivos em formato *vector* (de locais com alta declividade preestabelecidas) foram adicionados, o que permitiu definir o desnível de referido grupo de pixels.

Este procedimento também foi válido para se verificar o comprimento do trecho do rio em que a vazão será reduzida (trecho de vazão reduzida, TVR) em

decorrência do desvio de vazão para a turbina. Como estudo preliminar, o trecho compreendido entre a tomada d'água e a entrada da turbina foi estimado com extensão próxima a da TVR. De posse desta informação, é possível calcular as perdas de carga compreendida no sistema, conseqüentemente a altura líquida (H_L), e o potencial hidráulico desta queda. O procedimento é mostrado pela Figura 14.

4.2.1.3. Estudos para geração de energia com reservatório para regularização de vazões

A energia hidrelétrica gerada pode ser acrescida por meio de construção de barragem para regularização de vazões. Nesta pesquisa, foi simulada a construção de barragens de 5 e 10 metros para verificação do potencial gerado. Também foram simulados impactos decorrentes das propostas, como área de inundação e discutiu-se os impactos positivos e negativos provenientes das alternativas.

Para análise de vazões regularizadas, foi utilizado método proposto por ELETROBRÁS (1985), que propõe estudos direcionados a minicentrais hidrelétricas⁸. Este método utiliza de uma relação do volume regularizado (V_R) de barragem com o volume inundado⁹ pela construção de uma barragem. O método foi adaptado, e a aquisição do volume de reservatório gerado foi encontrado com auxílio do Idrisi. Este procedimento possibilitou os cálculos de:

- ✓ volume regularizado em m^3 ;
- ✓ incremento de vazão regularizada (ΔQ_R) em m^3/s ;
- ✓ potencial gerado pela construção de barragem em kW.

Em vias de analisar o impacto no ambiente físico, relacionado a alterações hidrológicas da implantação dos empreendimentos, calculou-se a relação (Q_R/Q_{med}), que relaciona a vazão regularizada e a vazão média de toda série histórica, que será comparada com literatura.

⁸ Relativo ao item 3.5.2.2.

⁹ Conhecendo-se a cota de inundação, os limites que definem a área inundada e as cotas associadas à área inundada (carta de DEM), foi possível calcular o volume inundado em m^3

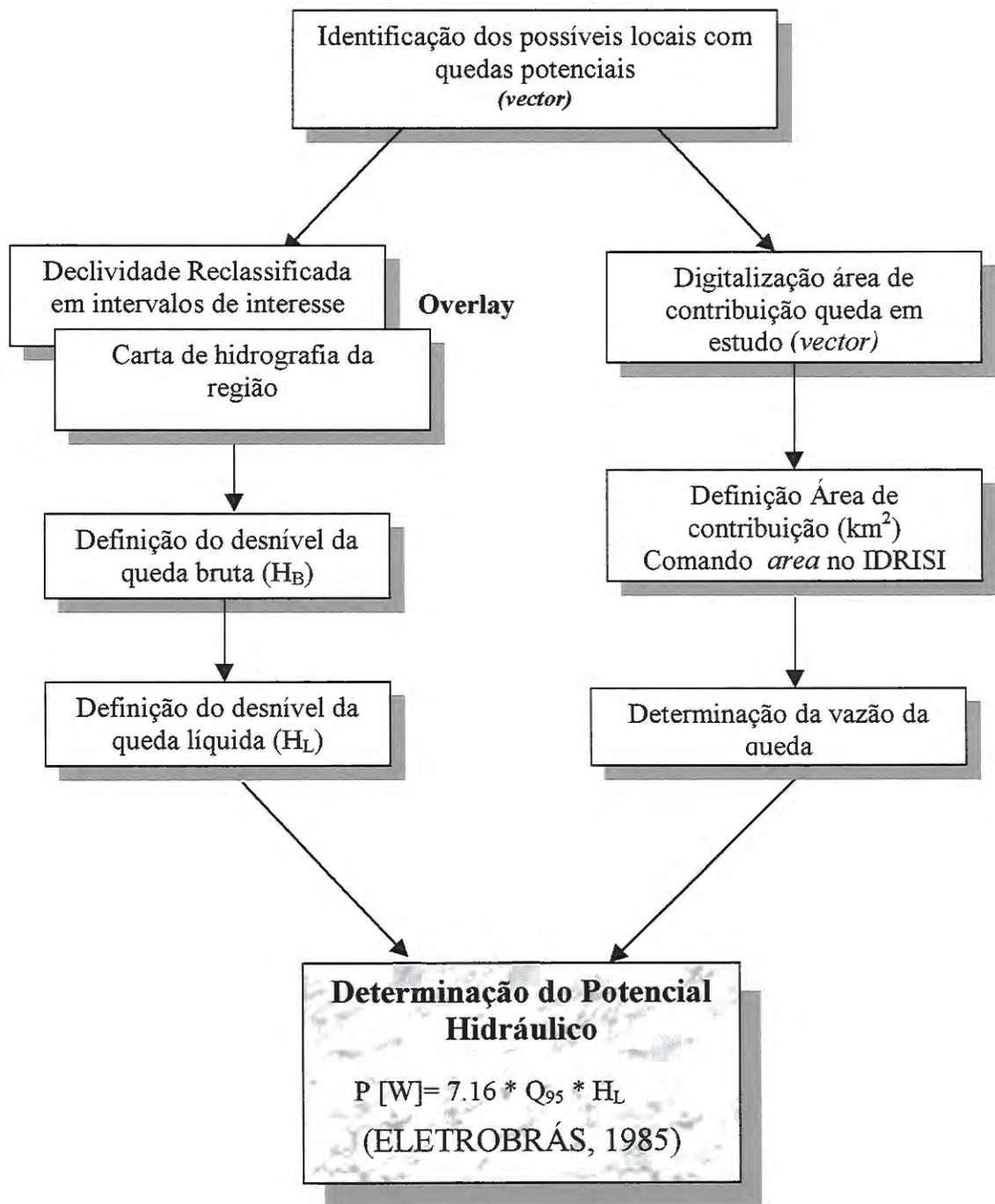


FIGURA 14: Procedimento para determinação do potencial hidráulico com o auxílio do SIG, Idrisi

4.2.2. Segunda Etapa: Avaliação dos Impactos decorrentes da instalação dos empreendimentos

A segunda etapa foi constituída do estudo de caso de locais pré selecionados como potenciais para o desenvolvimento hidrelétrico com a inserção de variáveis ambientais no processo de decisão. O SIG é fundamental ao possibilitar que diferentes mapas temáticos tivessem seus dados analisados espacialmente, inclusive utilizados em modelos e geração de mapas sínteses, de forma a criar cenários, importantes para o processo decisório para o planejamento regional.

Estes estudos constam da análise do potencial hidrelétrico, e de análise do impacto resultante da implantação da obra no local. Foi analisado o entorno das quedas e com o objetivo de melhor representar graficamente essas imagens, ampliou-se a resolução do pixel de 50m x 50m para 10m x 10m.

Com auxílio do Idrisi foi possível gerar imagens do no entorno dos locais com quedas para caracterização da região e análise dos impactos gerados pelo empreendimento.

O modelo para caracterização do potencial de risco local foi simulado, no caso a susceptibilidade a erosão. A carta gerada possibilitou análises e verificação da adequabilidade da implantação da atividade, e definição de medidas mitigadoras em relação ao grau de risco característico do local. O modelo e importância da análise de susceptibilidade serão apresentados e discutidos na seqüência.

Imagens foram geradas com o comando *ortho* para reconhecimento da disposição do relevo no entorno das quedas. Cabe ressaltar que estas imagens são somente uma representação gráfica tridimensional para visualização do entorno das áreas de estudo, e não podem ser utilizadas como fontes seguras para determinação de cotas de quedas ou outras verificações.

No contexto da legislação ambiental brasileira as principais fases para a elaboração de estudos ambientais, segundo o CONAMA, podem ser resumidas em: a) delimitação da área de influência; b) diagnóstico dos elementos ambientais; c) análise dos impactos ambientais; d) definição e proposição de medidas mitigadoras e compensatórias e; e) programa de acompanhamento de monitoramento.

4.2.2.1. Determinação da susceptibilidade à erosão no entorno das quedas potenciais

Nesta pesquisa aplicou-se teoria de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990). Para averiguar a susceptibilidade a erosão da região foi feita uma matriz de decisão adaptada que corresponde a interseção de dados relativos a pedologia e declividade do terreno local (Tabela 9). Como a vegetação influencia no grau de susceptibilidade do solo, considerou-se o uso do solo como destinado a culturas anuais, uma situação desfavorável de proteção do solo.

TABELA 9: Matriz de decisão para determinação da susceptibilidade à erosão

Classes de declividade	Grau de susceptibilidade à erosão			
	0 - 2,5%	2,5% - 5%	5 - 12%	> 12%
Características pedológicas				
Areias quartzosas	Média	Alta	Alta	Alta
Solos litólicos	Alta	Alta	Alta	Alta
Solos podzólicos	Baixa	Média	Média	Alta
Terra roxa	Baixa	Baixa	Média	Alta
Latossolo roxo	Baixa	Baixa	Média	Alta
Latossolo vermelho-escuro	Baixa	Baixa	Média	Alta
Latossolo vermelho-amarelo	Baixa	Baixa	Média	Alta

Fonte: Adaptado de BERTONI & LOMBARDI NETO (1990)

O procedimento adaptado de BERTONI & LOMBARDI (1990) foi aplicado no SIG (Idrisi) e gerou o mapa síntese de grau de susceptibilidade à erosão.

Para tal, a carta de declividade foi gerada, e as declividades foram agrupadas nas classes de interesse. Foi feito um cruzamento das cartas de pedologia e de declividades agrupadas, com o comando *crosstab*. Em seguida, as seqüências de cruzamentos foram reclassificadas (pelo comando *reclass*) em classes de susceptibilidade à erosão conforme a matriz de decisão na tabela anterior.

Como dados pedológicos não foram encontrados para toda a área em estudo, a carta de susceptibilidade à erosão, com posterior aplicação nos aproveitamentos analisados, somente foi gerada nos locais onde os dados estavam disponíveis.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no levantamento cartográfico e através da metodologia empregada foram divididos em duas etapas: a primeira composta pela definição da localização potencial e a determinação do potencial hidráulico das quedas e a segunda pela simulação dos impactos ambientais da implantação dos empreendimentos propostos.

5.1. Primeira Etapa: Determinação dos potenciais hidráulicos

A perspectiva de geração de energia através de mini centrais hidrelétricas e abastecimento de pequenas comunidades locais vem ao encontro do fornecimento de condições necessárias para o desenvolvimento regional sustentado.

Nesta primeira etapa foram levantados os locais com quedas em potencial, determinadas as vazões nestes pontos através de definição das áreas de contribuição respectivas a queda do rio e a partir desses dados foi possível calcular a potência instalada referente a cada queda.

Tendo como base o procedimento descrito em materiais e métodos, a carta de declividade da região foi gerada com o auxílio do Idrisi, e foi dividida em classes de maior interesse, através do comando *reclass*. Estas classes foram divididas em quatro: abaixo de 5%, de 5% a 10%, de 10% a 20% e acima de 20%. A esta imagem foi acrescentada a rede hidrográfica em *vector* formando um mapa onde é possível verificar os locais onde ocorrem formações íngremes no entorno dos rios (Figura 15).

A identificação dos trechos com alta declividade, porém foi localizada através da carta sobreposta entre as classes de declividade agrupadas com a de hidrografia. A carta gerada apresenta as classes de declividade ao longo dos rios.

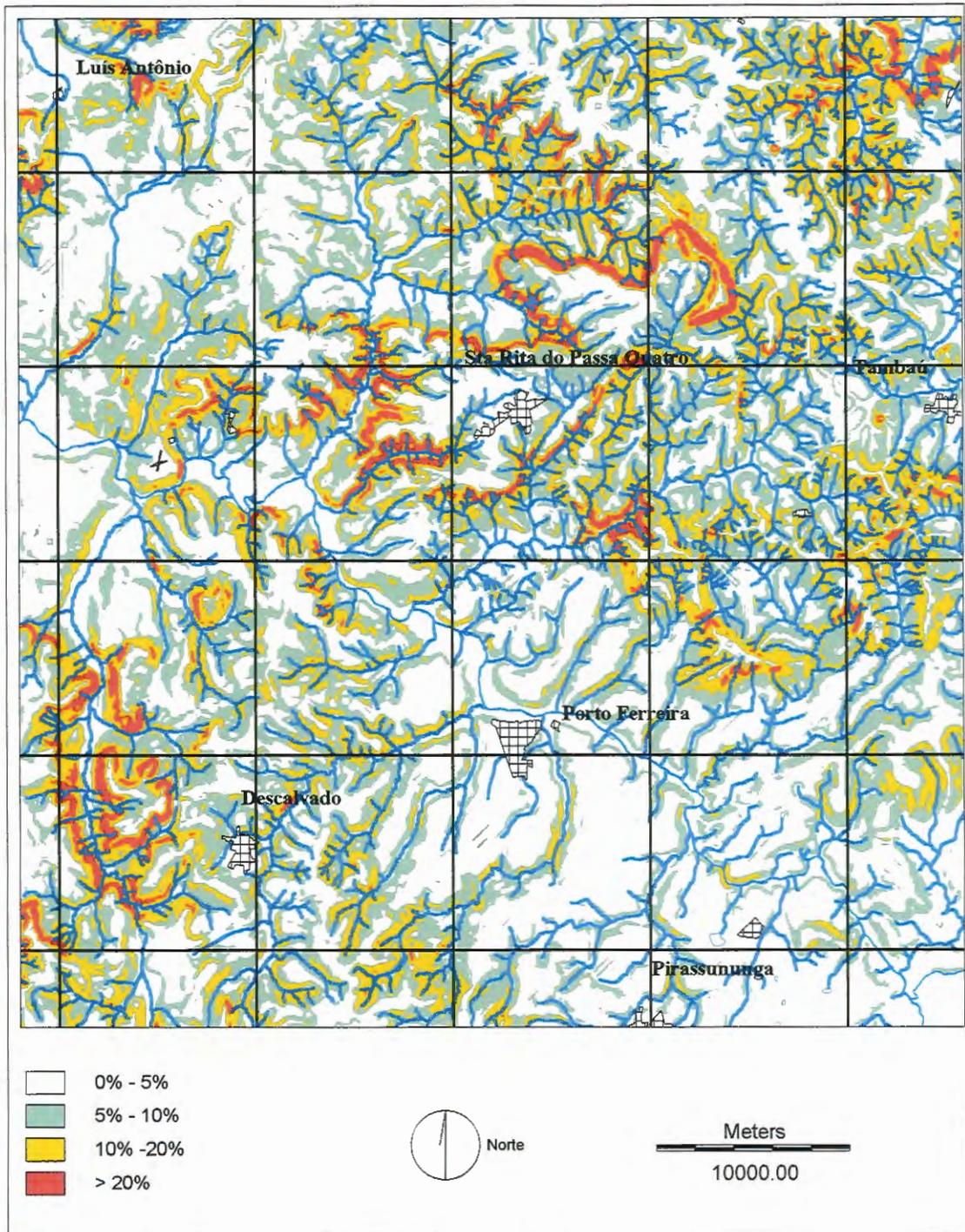


FIGURA 15: Mapa de declividades reclassificadas para definição das quedas em potencial. Grid: 218.000mE, 266.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000mN.

Nesta etapa, como o pixel apresenta um tamanho de (50m x 50m), uma declividade de 5% se refere a um desnível do pixel de 2,5 m em 50 metros de trecho, e uma declividade de 10% significa um desnível de 5m e assim por diante. Para o presente estudo, desconsiderou-se declividades inferiores a 5% .

Da imagem gerada pôde-se verificar que os trechos com maior declividades, ou seja agrupamento de pixels com declividades acima de 20%, estão presentes, na grande maioria, nas cabeceiras dos rios. Os canais de cabeceira de nascente são pouco volumosos e de pequena extensão, devido a este fator, essas quedas d'água apresentam baixo potencial hidráulico.

A partir dos locais pré-selecionados, o desnível bruto dessas quedas foram determinados a partir do modelo digital de terreno (DEM) gerado, ou seja conhecendo-se o trecho definido como queda potencial, esta diferença pode ser verificada como a diferença entre as cotas dos pixels identificados como início e final da queda.

As quedas pré-selecionadas tiveram sua área de contribuição digitalizada (em forma de polígono delimitando a sua área de contribuição) criando uma imagem representada pela Figura 16. Com o comando *area* foi possível averiguar a extensão da área de contribuição em km² relacionada a cada queda para posterior cálculo da potência instalada da respectiva queda.

Conhecendo-se a taxa de vazão por área de contribuição dos postos fluviométricos estudados e a área de contribuição em km² de cada queda, foi possível avaliar a respectiva vazão. Definida a distância entre a tomada d'água e da saída da turbina, foi possível calcular a altura líquida, e com esses dados calculou-se a potência instalada de cada queda estudada.

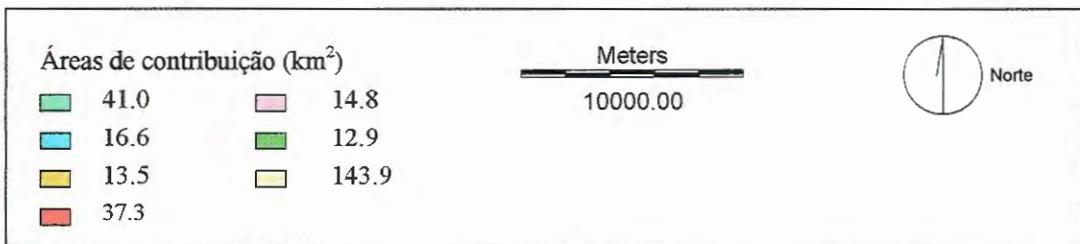
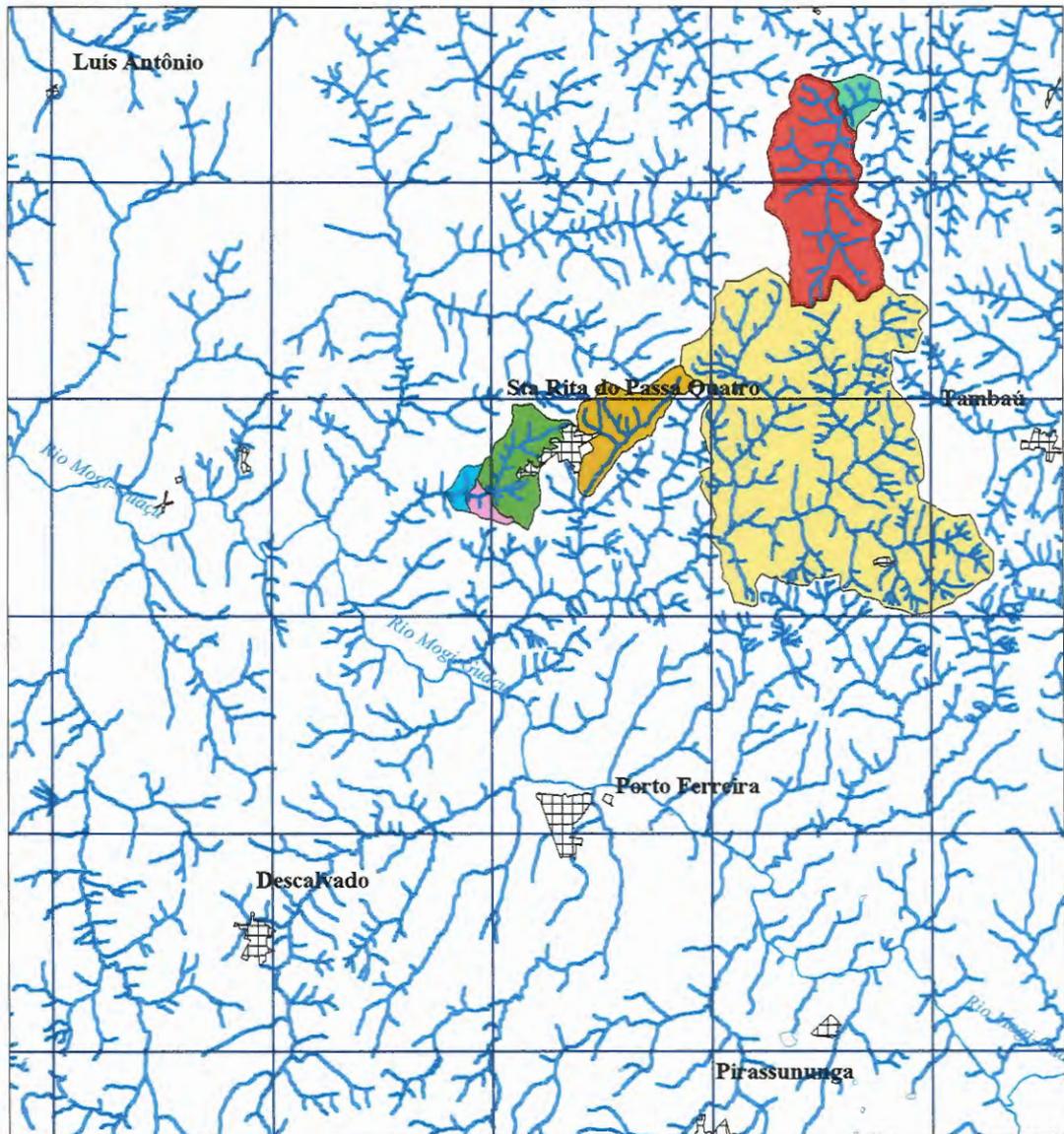


Figura 16: Áreas de contribuição relativa às quedas estudadas. Grid: 218.000mE, 266.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000mN

Utilizou-se de uma simulação com resoluções distintas nas cartas geradas do modelo digital de terreno para identificação do local da queda e verificação do seu desnível. Assim o potencial hidráulico foi calculado, para verificação da resposta de diferentes resoluções. Os cálculos dos potenciais para resoluções de pixel (50m x 50m) e para (10m x 10m) foram apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Foi simulada a instalação de miniusinas a fio d'água e a grande maioria dos potenciais analisados na bacia apresentaram capacidade de abastecer a demanda local, que apesar de não ser alta, são compatíveis com a geração e investimento local.

O potencial hidráulico da queda é um parâmetro que pode ser comparado com a demanda necessária da região em estudo. Se o potencial estimado for suficiente, não haverá necessidade de uma barragem de regularização e o aproveitamento será a fio d'água. Porém se a demanda não for atendida, ocorre a necessidade de um estudo para verificar a viabilidade de construção de uma barragem para regularização de vazões para o atendimento da demanda requerida (P_R), procedimento encontrado em ELETROBRÁS (1985).

A verificação de necessidade e de possibilidade de construção da barragem no local sugerido para regularização de vazões, dependem de análise dos aspectos técnico, econômico e ambiental. Nesta etapa, um estudo mais aprofundado é requerido para constatação da melhor alternativa em relação à sua viabilidade. Uma restrição se refere a vazão firme (Q_f) do aproveitamento, se durante o estudo a série histórica apresentar vazões muito pequenas, estas poderão não ser o suficiente para garantir a regularização necessária para o empreendimento, inviabilizando a construção de uma barragem, do ponto de vista econômico. Outrossim, um estudo hidrológico deve ser feito previamente.

TABELA 10: Potencial hidráulico de aproveitamento de quedas a fio d'água, resolução do pixel: 50m x 50m

Queda	Área contribuição (km ²)	Vazão (l/s)	HB (m)	HL (m)	Potencial (kW)	TVR (m)
1	41,0	233,8	16,1	15,3	25,6	450
2	16,6	94,7	14,9	14,2	9,6	350
3	13,5	77,0	47,6	45,2	24,9	400
4	37,3	212,9	24,7	23,5	35,8	500
5	14,8	84,2	20,0	19,0	11,6	250
6	12,9	73,8	31,2	29,6	15,7	400
7	143,9	820,8	55,0	52,3	307,1	350

Obs:

TVR: trecho de vazão reduzida

TABELA 11: Potencial hidráulico de aproveitamento de quedas a fio d'água, resolução do pixel: 10m x 10m.

Queda	Área contribuição (km ²)	Vazão (l/s)	HB (m)	HL (m)	Potencial (kW)	TVR (m)
1	41,0	233,8	15,3	14,7	24,6	260
2	16,6	94,7	13,0	12,3	8,4	320
3	13,5	77,0	50,9	18,9	26,9	370
4	37,3	212,9	15,4	14,6	22,3	360
5	14,8	84,2	19,0	18,4	11,0	220
6	12,9	73,8	20,2	19,4	10,2	180
7	143,9	820,84	60,0	57,6	338,5	270

Obs:

TVR: trecho de vazão reduzida

Dos potenciais inventariados com o auxílio do Idrisi, e apresentados nas tabelas 10 e 11, cabe ressaltar que a diferença de resolução de pixel apresentou pequena variação entre resultados de potência de cada queda. A maior diferença observada, quando a resolução é maior, foi na precisão de se localizar espacialmente

o melhor trecho de queda para a instalação do aproveitamento, em função do seu desnível. O método empregado se mostrou acertado, pois na fase inicial foi necessário uma resolução de pixel menor, em função do tamanho da área a ser analisada inicialmente e do tamanho do arquivo gerado e tempo de processamento associado, para identificar espacialmente quedas potenciais para instalação de mini centrais. Em um segundo momento para melhor reconhecimento dos locais em relação à conformação de terreno e fatores ambientais associados a região de cada queda foi necessário ampliar a resolução dos pixels para melhor representação gráfica dos resultados.

Este procedimento se mostrou eficiente no que se refere aos resultados esperados e obtidos. A grande diferença entre a mudança de resolução das imagens foi observada em relação à extensão das quedas, possível de se verificar no comprimento do trecho de vazão reduzida em função do desvio de vazão para o aproveitamento, no caso apresentado também nas Tabelas 10 e 11. Aumentando resolução entre as imagens aumentou-se também a precisão dos mesmos, auxiliando no processo decisório de definição dos trechos a serem aproveitados.

Ainda da carta temática de infra-estrutura viária e de detalhes do sistema de distribuição de energia da região foi possível verificar a distância mínima entre a rede de energia elétrica e os locais estudados. As distâncias encontradas com auxílio do Idrisi foram mostradas na Tabela 12.

TABELA 12: Distância encontrada entre quedas de estudo e rede de distribuição de energia elétrica – alta tensão.

Alternativas	Distância (m)			
	EE alta tensão	Estradas pavimentadas e EE alta tensão	Estradas sem pavimento e EE alta tensão	Menor distância (m)
Queda 1	5231	28620	26216	5231
Queda 6	14270	13675	11222	11222
Queda 7	14478	10811	4904	4904

5.2. Segunda Etapa: Inserção de variáveis ambientais na etapa de planejamento de atividade

A gestão dos recursos hídricos deve processar-se no quadro do ordenamento do território visando compatibilizar, nos âmbitos regional, nacional e internacional, o desenvolvimento econômico e social, com os valores do ambiente.

Dentre as etapas de um estudo de impacto ambiental, o diagnóstico é uma das fases do processo que consiste no levantamento e caracterização dos elementos das diversas áreas de influência do empreendimento. Neste sentido, o Idrisi foi utilizado para criação de cartas temáticas e cartas sínteses associadas aos fatores ambientais das áreas de influência respectivas a cada queda estudada. A seguir serão as áreas serão caracterizadas e será apresentado o diagnóstico dos eixos de quedas 1, 6 e 7, para análise da viabilidade ambiental dos empreendimentos propostos.

O eixo de queda 7 teve seu diagnóstico ambiental feito separadamente pois é proposta uma metodologia para estudo e avaliação da viabilidade de construção de barragem para regularização de vazões em um empreendimento, o que modifica a concepção do projeto de usina a fio d'água. O eixo de queda 7 apresenta uma barragem com reservatório a montante da queda a ser estudada, o que inviabilizaria o emprego de uma barragem para regularização de vazões a jusante. Porém no presente

estudo simulou-se a construção de uma barragem com o objetivo de avaliar a metodologia definida e empregada.

5.2.1. EIXO DA QUEDA 1

5.2.1.1. Diagnóstico e Análise ambiental do empreendimento

O eixo de queda 1 apresentou bom potencial hidrelétrico e conforme inventário prévio podem vir a gerar 24,6 kW (Tabela 11). A imagem tridimensional gerada pelo comando *ortho* possibilita a visualização da conformação do terreno nos locais de queda, inclusive nesta verifica-se a forma de garganta, com aclives marginais próximo a queda em estudo, formação propícia para aproveitamentos hidrelétricos, principalmente se houver necessidade de construção de barragem no local (Figura 17).

A partir dos estudos com dados hidrológicos apresentados por esta queda, não há viabilidade técnica para construção de barragem com a finalidade de regularização de vazões para incrementar a potência de energia gerada. Estudos podem, ainda, ser feitos para verificar a viabilidade de barragem para reservatórios de múltiplos usos como para abastecimento, desenvolvimento regional sustentado, piscicultura ou outros.

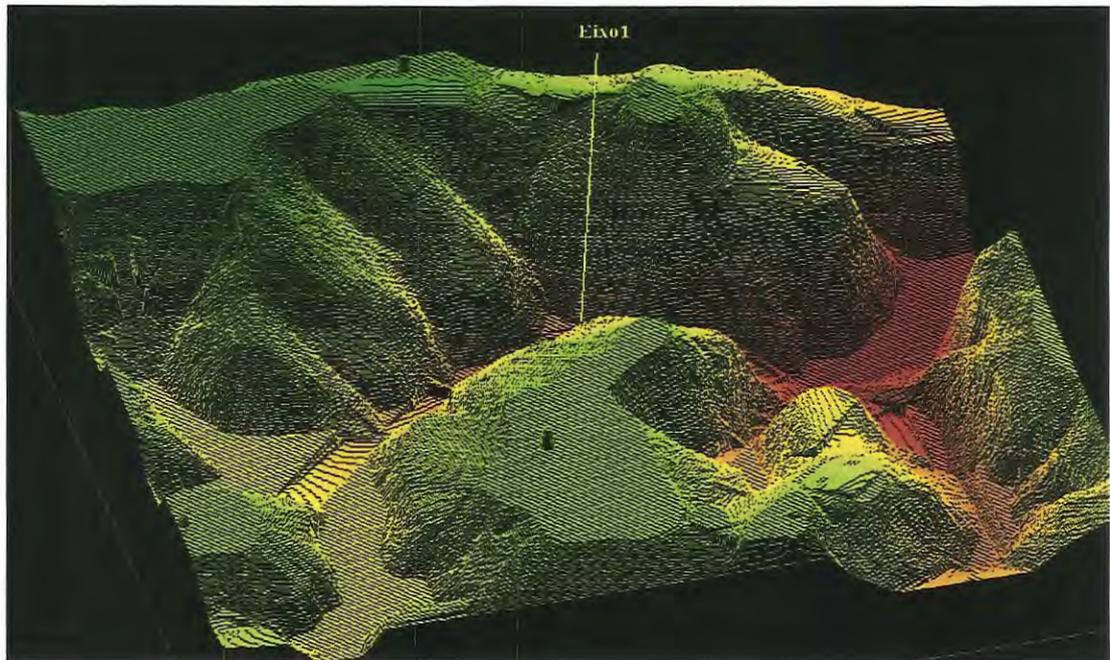


FIGURA 17: Imagem tridimensional para visualização do entorno da queda 1, gerada através do comando *ortho* do Idrisi

Em relação a caracterização ambiental, iniciou-se por averiguar o local em que o empreendimento será implantado, com relação aos aspectos geológicos e geotécnicos, e das matas existentes na região, representados pelas Figuras 18 e 19 respectivamente.

Por este trabalho tratar de uma análise para fase de planejamento preliminar de uma atividade, visando ao desenvolvimento regional, optou-se por utilizar critérios reunidos por MEDEIROS (1986) para avaliação dos aspectos geotécnicos direcionados para pequenas centrais hidrelétricas.

Em fase mais avançada para escolha e definição dos locais para construção de barragem sugere-se utilizar o procedimento de CRUZ & BEZERRA (1996). Estes autores sugerem critérios de projeto, apesar desses serem “perigosos” pois são genéricos e incapazes de prever situações peculiares; por outro lado, é necessário para estabelecer uma seqüência de trabalho, permitindo a programação adequada de investigações e obtenção dos *parâmetros de projeto*. Os critérios reunidos pelos autores são também orientativos quanto à escolha da seção de barragem, fixação de

vedação e drenagem, análises de estabilidade, proteção de taludes e detalhes construtivos.

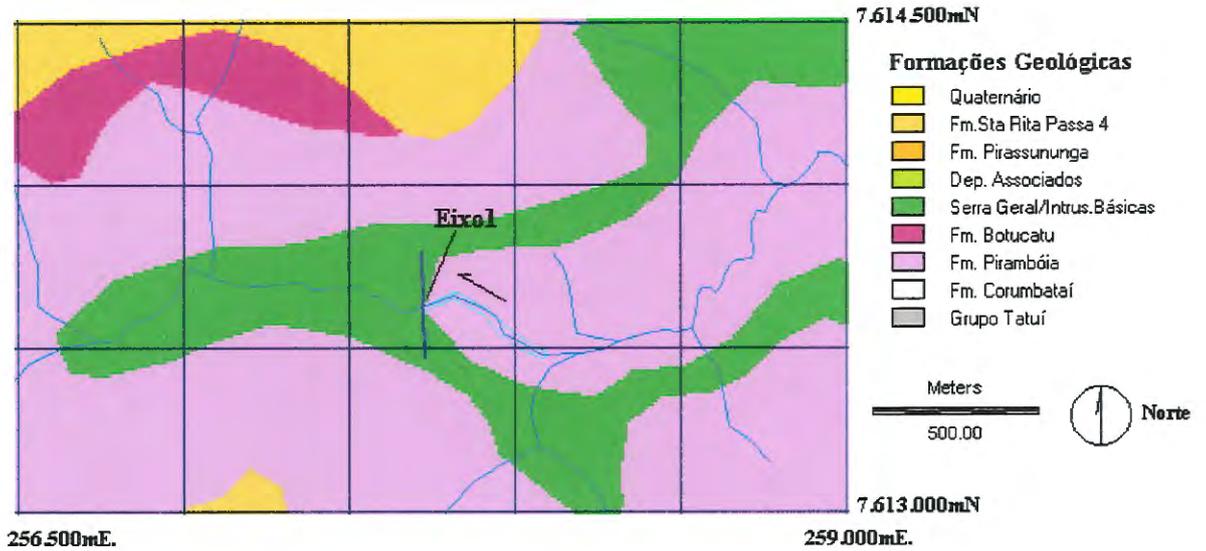


FIGURA 18: Aspectos geológicos no entorno do eixo da queda 1

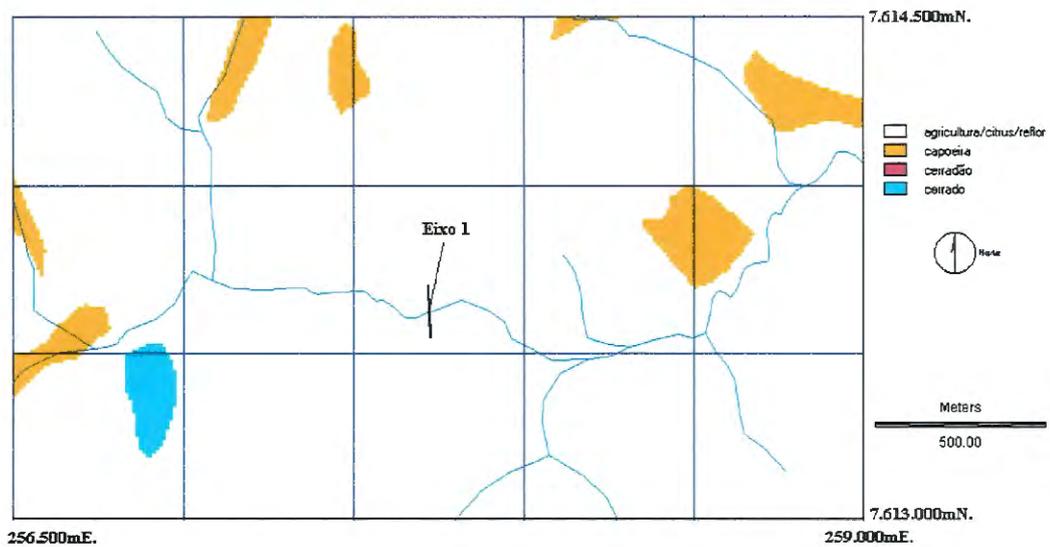


FIGURA 19: Mapa de vegetação nativa presente no entorno do eixo da queda 1

Inicialmente o potencial foi identificado sobre o local de contato das Formações Serra Geral/Intrusivas Básicas¹⁰, constituída de basaltos e diabásios respectivamente, e Formação Pirambóia, constituída em sua maioria de arenitos. Cuidados deverão ser tomados para que a tomada d'água ou barragem sejam construídas sobre a Formação Serra Geral, evitando-se assim problemas construtivos, na fundação.

Segundo MEDEIROS (1986) basaltos, diabásios e granitos são formações geológicas pertencentes ao grupo de rochas ígneas. *“Os granitos, assim como as rochas do mesmo tipo, quando inalterados, não oferecem dificuldades à construção de barragens e os reservatórios localizados nessas formações são, em geral, bastante impermeáveis”* (PICHLER, 1954 *apud* MEDEIROS 1986).

Na região ocorre a predominância de áreas agrícolas, e ainda, algumas pequenas áreas de capoeira (Figura 19). Como este empreendimento não prevê a construção de reservatório, evitam-se problemas com inundação de áreas agrícolas, bem como o reassentamento da população local, tão comuns de acontecerem em obras de grande porte.

Na Figura 20 é possível verificar a existência de estradas sem pavimentação e de uso intermitente na região. A miniusina não resultará em modificações ou necessidade de deslocamento da infra-estrutura viária presente na região, que é constituída de estradas não pavimentadas de uso periódico.

Em relação ao eixo de queda 1 (Tabela 12), estimou-se que a distância entre a queda à rede de distribuição de energia mais próxima se localiza a cerca de 5 km. Deve-se frisar que esta distância corresponde à rede de alta tensão. A implantação de linhas para abastecimento desta região necessitaria também de estação de rebaixamento de tensão para abastecimento local, inviabilizando os custos de ligação com a rede de distribuição.

¹⁰ formações geológicas de rochas ígneas

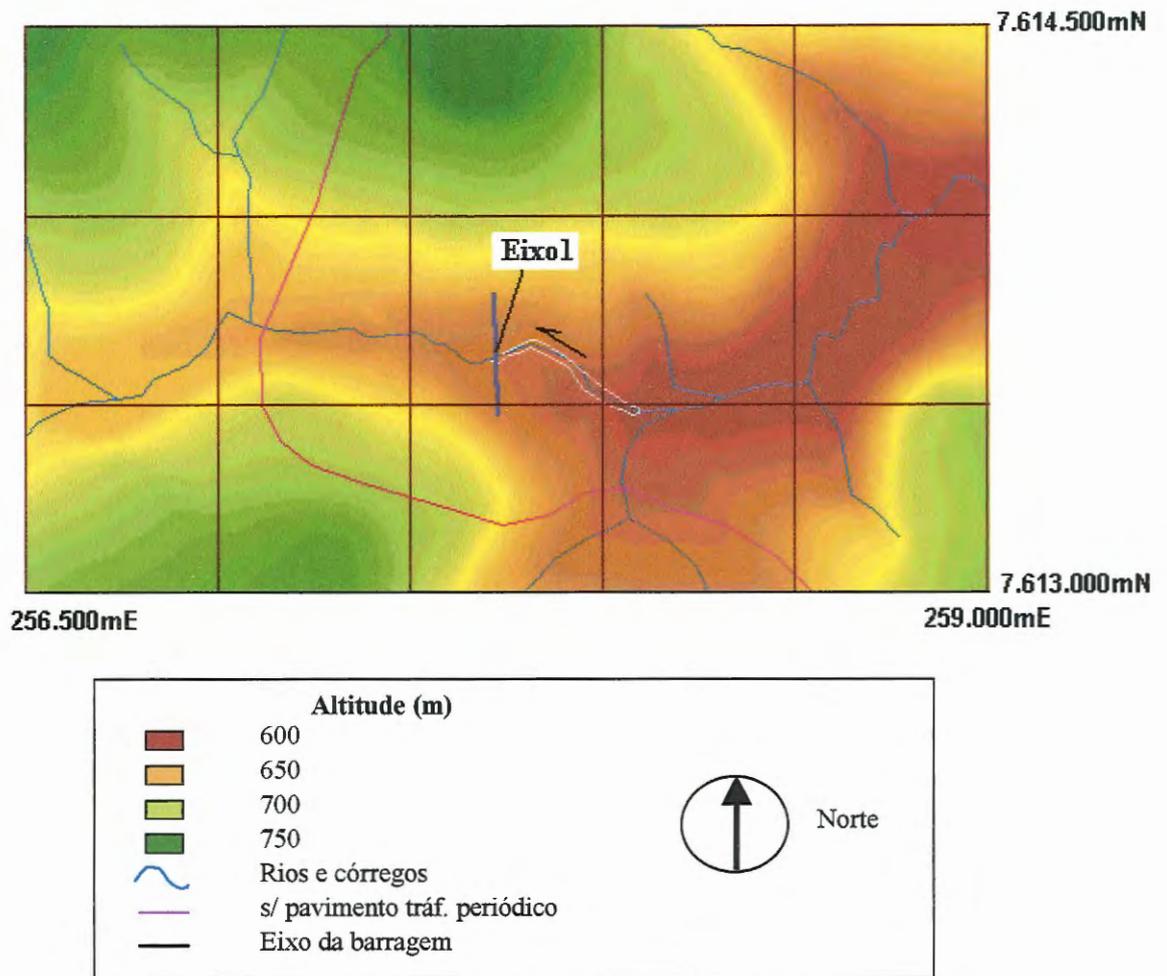


FIGURA 20: Mapa hipsométrico, rede hidrográfica e infra-estrutura viária no entorno do eixo da queda 1

5.2.2. EIXO DA QUEDA 6

5.2.2.1. Diagnóstico e Análise ambiental do empreendimento

A queda 6 permitirá gerar um potencial hidrelétrico a fio d'água, de 10,2 kW, com a construção de uma tomada d'água e um canal de desvio de aproximadamente 180m.

Esta queda apresenta uma conformação diferente, com relevo mais suave, porém no local ocorre um estrangulamento a montante da queda, que possibilita a construção de uma pequena barragem para aproveitamento do potencial. Verificou-se que esta obra afetará muito pouco a região em relação à área inundada produzida. A imagem gerada pelo comando *ortho*, possibilita a visualização da área (Figura 21).

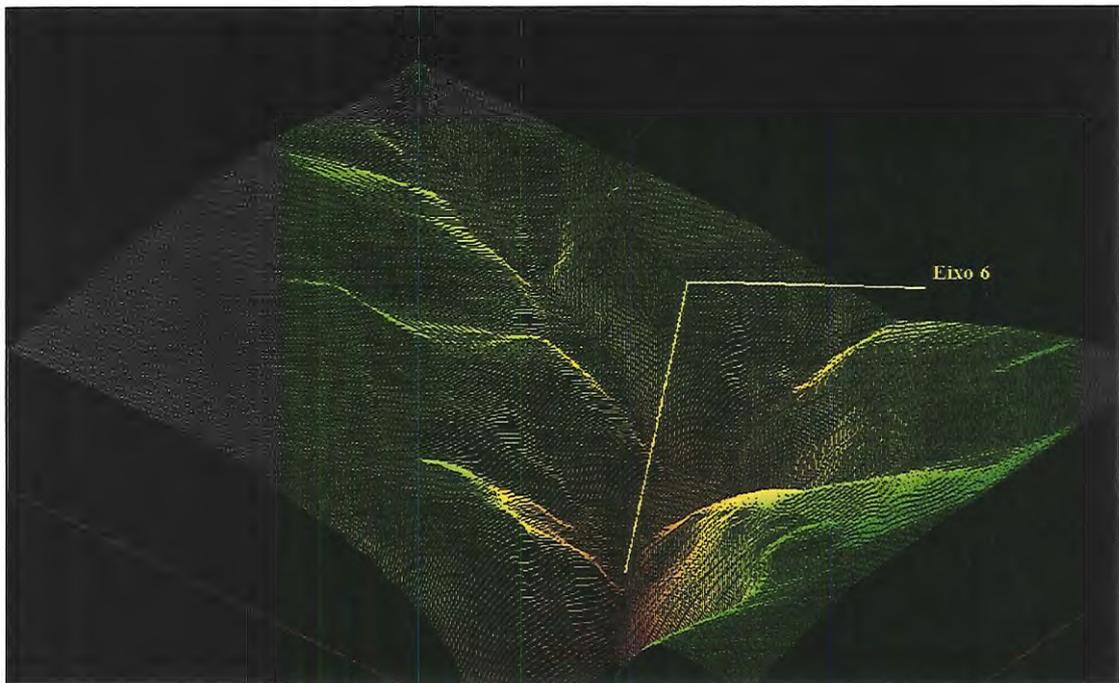


FIGURA 21: Imagem tridimensional para visualização do entorno da queda 1, gerada através do comando *ortho* do Idrisi

Verifica-se que o aproveitamento estará assentado sobre Formação de Botucatu, constituída basicamente de arenitos (Figura 22) e acompanhando esta formação, ocorrem solos hidromórficos (Figura 23), cujas características principais

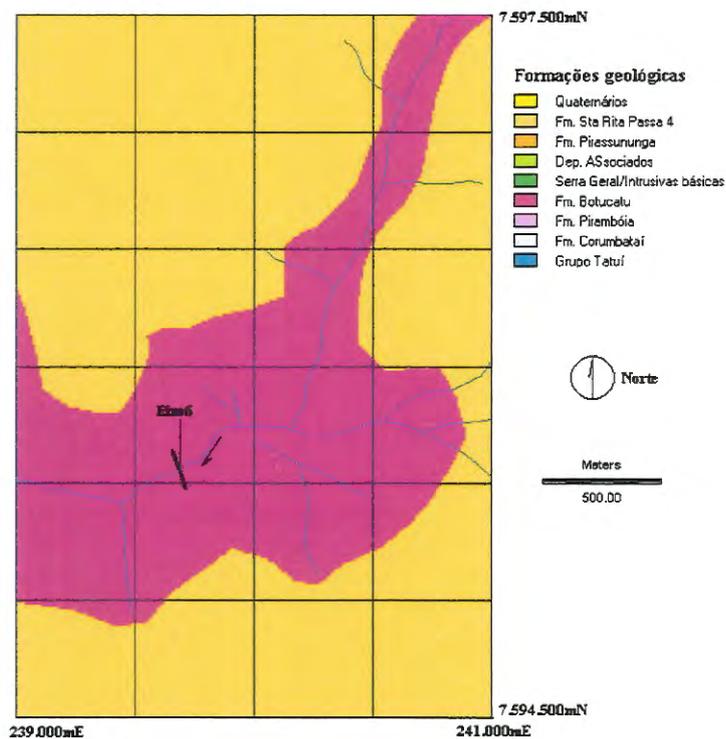


FIGURA 22: Mapa de geologia no entorno do eixo da queda 6

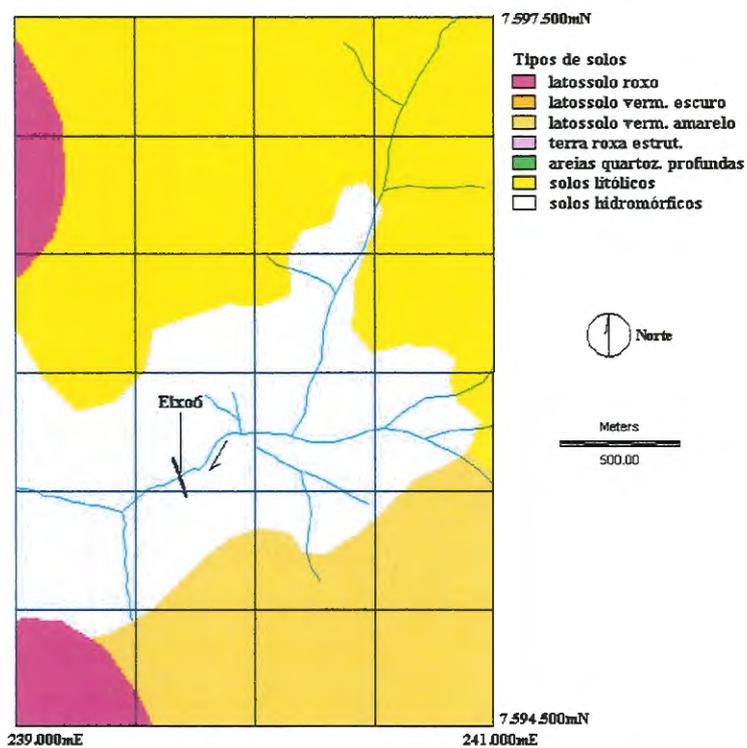


FIGURA 23: Aspectos pedológicos no entorno do eixo da queda 6

são que apresentam-se sujeitos a saturação hídrica temporária, geralmente planos, pouco profundos e altos teores de matéria orgânica (LEPSCH, 1976).

Conforme MEDEIROS (1986) os maiores problemas de barragens sobre formações de arenitos relacionam-se com as fugas d'água por percolação, com as sobrepressões hidrostáticas e com a possibilidade de escorregamento ao longo dos planos de estratificação, no caso de obras de grande porte. MEDEIROS (1986) afirma que devido à cimentação diferenciada com a profundidade, arenitos apresentam também um comportamento variado, caracterizado por regiões muito permeáveis e de baixa resistência intercaladas entre estratos pouco permeáveis e muito resistentes. Sua resistência pode depender do grau de alteração, podendo variar entre 98,1 a $98,1 \times 10^3$ KPa.

Apesar de considerados insolúveis, os arenitos de cimento calcário estão sujeitos a perder este cimento, por dissolução, apesar do processo ocorrer muito lentamente. Tal dissolução não representa risco para sua vida útil de barragens (MEDEIROS *et al.*, 1986). MEDEIROS (1986) afirma que o inconveniente principal do arenito reside no fenômeno de lixiviação do cimento intergranular, dando origem a bolsões e veios desintegrados além da permeabilidade diferenciada, dessa maneira, estudos mais detalhados deverão ser feitos de maneira a prevenir problemas construtivos de fundação da barragem, se houver necessidade de uma para tomada d'água.

O local apresenta uma extensão de área de vegetação nativa cercada de áreas utilizadas para agricultura (Figura 24), com pequena presença de capoeira e de cerrado. Nesta região foi simulado o mapa de susceptibilidade a erosão com dados pedológicos e de declividade do terreno (Figura 25). Este demonstra que na região de implantação da microusina em questão é encontrada baixa susceptibilidade a erosão, devido a presença de solos hidromórficos, porém a região também apresenta vastas áreas com média e altas susceptibilidades a erosão em solos onde a vegetação nativa já foi substituída por áreas agrícolas. Esta situação denota a necessidade práticas de manejo adequadas para o não comprometimento dos recursos na região. Neste sentido, outro instrumento legal importante e complementar é o Código Florestal,

LEI No 4.771/65¹¹, que considera como áreas de preservação permanente as áreas ao longo dos rios ou de qualquer curso de água desde o nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima depende da largura do próprio rio. No caso para rios de menos de 10 metros, esta largura mínima deve ser de pelo menos 30 metros. A implantação do empreendimento em questão, vem ao encontro com esta lei, pois possibilita a sua implantação sem a inundação de áreas nativas, viabilizando a preservação da faixa marginal de mata nativa presente nesta região.

A rede viária presente na região é mostrada pela Figura 26, onde se pode verificar que a infra-estrutura local não será afetada pela construção da obra proposta.

Na Tabela 12 é possível verificar a distância estimada entre a queda à rede de distribuição de energia mais próxima localiza-se aproximadamente a 11 km. Deve-se frisar que esta distância corresponde à rede de alta tensão. Longas linhas deveriam ser implantadas para ligação ao sistema de distribuição para o abastecimento desta região, além de estação de rebaixamento de tensão, tornaria os custos excessivos desta solução técnica.

¹¹ Posterior alteração desta: Lei N. 7.803 de 18 de julho de 1989

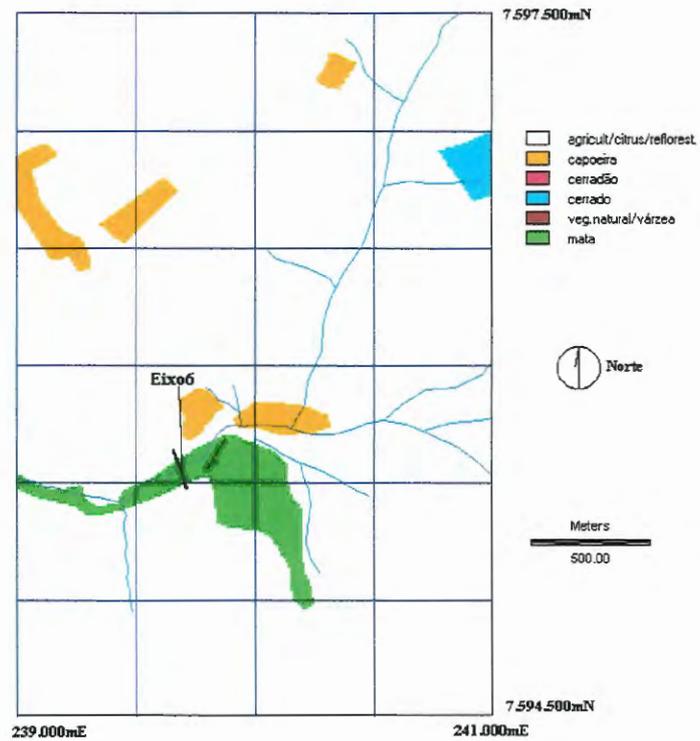


FIGURA 24: Mapa de vegetação nativa no entorno do eixo da queda 6

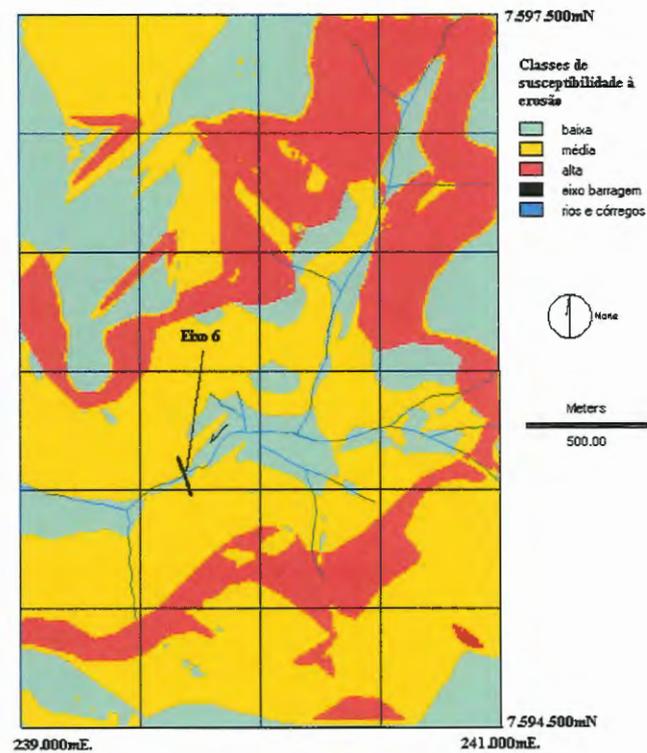


FIGURA 25: Mapa de susceptibilidade à erosão no entorno do eixo da queda 6

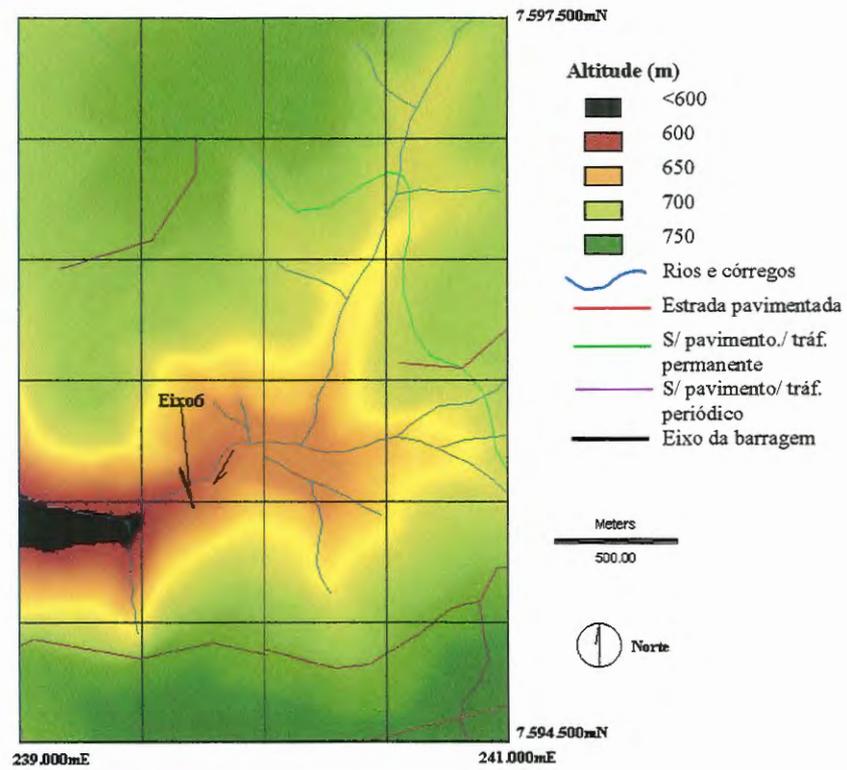


FIGURA 26: Mapa hipsométrico, rede hidrográfica e infra-estrutura viária no entorno do eixo da queda 6

5.2.3. EIXO DE QUEDA 7

Esta queda apresentou o maior potencial hidrelétrico identificado da região pesquisada. O local apresenta uma vazão firme (Q_{95}) de aproximadamente $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ e um desnível de aproximadamente 60 metros, podendo vir a gerar um potencial a fio d'água de 339 kW (Tabela 11).

A imagem tridimensional gerada pelo comando *ortho* possibilita a visualização da conformação do terreno nos locais de queda (figura 27)

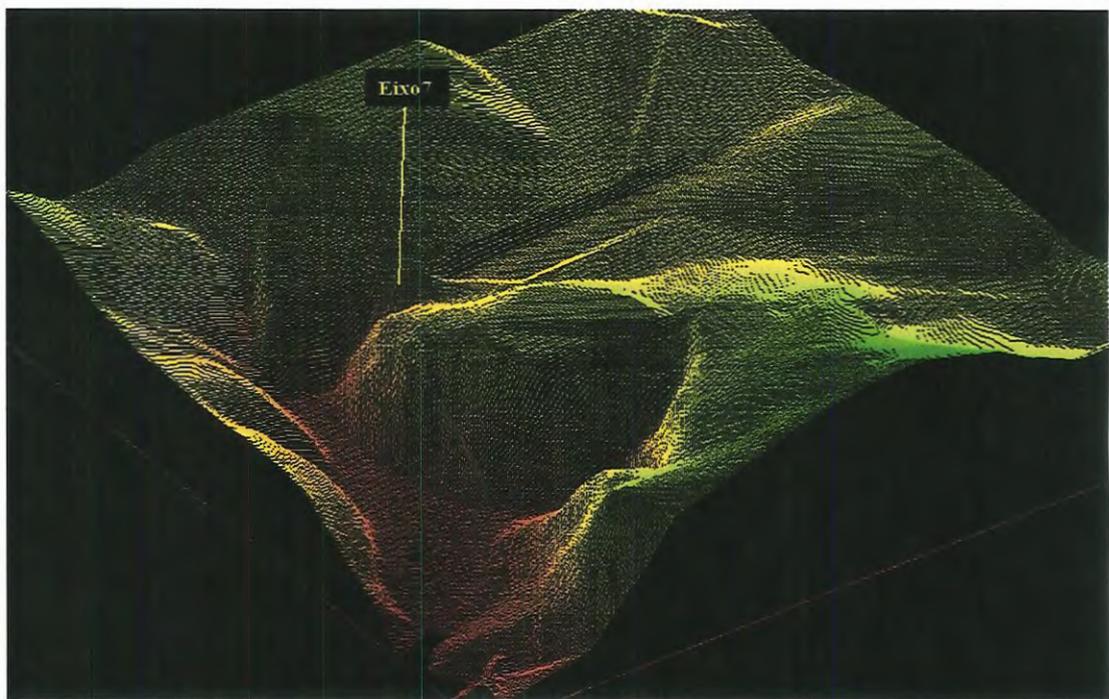


FIGURA 27: Imagem tridimensional para visualização do entorno do eixo da queda 7, gerada através do comando *ortho* do Idrisi

Esse empreendimento (a fio d'água) pode suprir demanda local de energia, assim como possibilita atender demanda de cargas mais significativa, através de implementação da energia por meio de construção de barragem. Todo empreendimento apresenta um custo intrínseco associado, apresentado na forma de impactos negativos no ambiente local e regional (CUSTO).

Esta alternativa demanda um estudo mais aprofundado da viabilidade do empreendimento para geração de energia com reservatório para regularização de

vazões, assim como em relação a outros usos que poderiam vir a ter, como abastecimento de água, piscicultura, controle de enchentes, turismo entre outras atividades (BENEFÍCIO).

Metodologia de estudo de viabilidade técnica para construção de barragem para regularização de vazão foi definida.

As características locais encontradas, em relação à disponibilidade de vazão firme e queda, são propícias para o estudo da viabilidade de construção de uma barragem para regularização de vazões neste local. O SIG foi utilizado para estimar a área inundada do reservatório a ser formado. Desta maneira foi simulada no Idrisi aplicação de metodologia para estudo e avaliação da viabilidade técnica e ambiental da construção

Simulou-se no Idrisi a instalação de aproveitamento com reservatório para regularização de vazões da queda 7 e verificou-se a potência gerada com vazões regularizadas, bem como impactos positivos e negativos provenientes da construção de barragem na região.

Neste sentido, estudou-se as alternativas de construção de barragens de 5 e 10 metros, para regularização de vazões. Conhecendo-se o volume regularizado é possível calcular o acréscimo da parcela de vazão regularizada à vazão firme (Q95) e o acréscimo de energia, armazenada em forma de água, pode então ser calculado (Tabela 13).

5.2.3.1. Diagnóstico e análise das alternativas em relação ao potencial gerado

Nota-se pelos resultados da Tabela 13, que a alternativa A de aproveitamento gera um potencial de 338kW, enquanto a construção de uma barragem de 5 metros (alternativa B), consegue um incremento de vazão de aproximadamente 57 l/s, correspondente a um acréscimo de 7% sobre o aproveitamento a fio d'água. Uma barragem de 5 metros é considerada obra de pequeno porte, porém já significativo e que pelos dados relacionados a geração de energia, no tocante ao aspecto econômico, observa-se a não viabilidade de sua construção.

Em relação à alternativa C, a conformação local do terreno permite a construção de um reservatório que acrescenta em vazão regularizada um total de 738 l/s, o que permite 89% de acréscimo no potencial a fio d'água, ou seja sob os aspectos de produção de energia, esta é uma opção melhor que a construção da barragem de 5 metros.

TABELA 13: Potencial hidráulico de estudo das alternativas de barragens para regularização de vazões na queda 7

	Barragem proposta		
	(A) A fio d'água	(B) 5m	(C) 10m
Área inundada (m ²)	-	6900	46200
Volume inundado (m ³)	-	14900	189100
Volume regularizado (m ³)	-	4967	63033
ΔQ_R (m ³ /s)	-	0,057	0,732
Q_R (m ³ /s)	Q_{95}	0,877	1,552
Potência (kW) [acrécimo]	338	362 [+7%]	640 [+89%]
Q_R/Q_{med}	0,35	0,37	0,66

Dados gerais da queda 7:

$Q_{95} = 0,820$ m³/s; HL = 57,6m e da série histórica $Q_{med} = 2,34$ m³/s

5.2.3.2. Diagnóstico e análise ambiental das alternativas propostas

Tanto a energia firme¹² (EF) quanto a energia secundária (ES) são características importantes, pois são utilizadas para calcular os respectivos benefícios de geração. A energia firme corresponde à média da geração do período hidrológico crítico para a carga crítica do sistema, sendo que essa carga representa a oferta do sistema no período crítico. A energia secundária corresponde à diferença entre a energia média e a energia firme, sendo que a energia média tem como base todo período hidrológico. Dessa forma a energia secundária corresponde à energia que seria aproveitada, caso houvesse mercado para consumi-la; não havendo, essa energia é vertida pela barragem.

¹² Produção de energia correspondente a Q_{95}

O volume de água que pode ser desviado para as turbinas deve ser limitado, para que não provoque alterações hidrológicas do rio. A água vertida pela barragem é que evita que ocorra completa alteração hidrológica no trecho em que a vazão é reduzida em virtude do desvio de vazão para a turbina.

Segundo KUBECKA *et al.* (1997), na República Tcheca algumas da PCHs tem uma vazão mínima legal no trecho de vazão reduzida (TVR) determinada pelo governo local, mas mesmo nesses casos, nem sempre a legislação é seguida. Os autores apresentaram dados de PCH em que os comprimentos de TVR variavam de 50 a 3500 metros. Nesta pesquisa a Tabela 11 apresentou estimativa do trecho de vazão reduzida, das quedas em estudo, que variam entre 180 a 370 metros.

A construção de barragem forma uma barreira para migração da fauna aquática e reduz a velocidade da corrente local, aumentando a profundidade logo a montante da barragem, podendo modificar de um ambiente lótico para lêntico. Os efeitos da barreira formada são mais significativos no período da piracema, principalmente se cuidados não forem tomados, como a previsão de construção de escadas de peixes para minimização dos impactos nas espécies de peixes presentes no rio.

Com auxílio do Idrisi, foi possível verificar e quantificar a área inundada das propostas de barragens de 5 e 10 metros (Figura 27). Os lagos formados são de 6.900 e 46.200 m² de área, para as alternativas B e C respectivamente.

A partir desta figura que mostra os reservatórios formados de cada proposta, é possível verificar outros aspectos do meio relacionados com a construção dos empreendimentos, estes foram analisados a seguir.

Ainda na Figura 28 também foi possível verificar informações sobre a infraestrutura viária local. A construção dos aproveitamentos: a fio d'água, ou com a construção dos reservatórios de regularização de vazões não afetarão rodovias e ferrovias, nem as estradas secundárias não pavimentadas presentes na região, o que evitará necessidade de um plano de readequação da infra-estrutura e serviços de apoio.

Em relação às características geológicas no local do empreendimento, percebe-se que apesar da região de estudo ocorrer predominância de Formação

Pirambóia (constituída de arenitos), e apresentar uma pequena faixa de Formação da Era Quaternária (areias e argilas), o aproveitamento estará locado sobre o Grupo de Formação Serra Geral/Intrusivas Básicas, constituída de basaltos e diabásios respectivamente (Figura 29).

Este grupo de formações¹³ apresenta características apropriadas para a construção de barragens e normalmente os reservatórios localizados nessas formações são bastante impermeáveis. Entretanto, estas rochas, pertencentes ao grupo das rochas ígneas, normalmente encontram-se cobertas por camadas de alteração de grande profundidade ou fraturadas ou cortadas por falhas (devido ao diastrofismo), tornando seu estudo bastante complexo. Torna-se importante, portanto, um estudo de alteração da rocha. Tais sistemas quando não tratados, convenientemente, podem propiciar fugas d'água apreciáveis, sendo este o condicionante principal para a qualidade da fundação (MEDEIROS, 1986; MEDEIROS *et al.*; 1986).

No mapa que caracteriza a vegetação nativa na região (Figura 30), observa-se que esta vem sendo utilizada pela agricultura inclusive onde a barragem será locada, com apenas um pequeno trecho de capoeira localizado a jusante da barragem proposta.

Como a área a ser inundada é constituída de áreas agrícolas, isto implica na não necessidade de realocação da fauna desalojada pelo empreendimento.

É importante destacar a importância de medidas preventivas tais como manejo correto das áreas agrícolas e preservação de mata ciliar no entorno do empreendimento. Esta medida ajuda na contenção de processos erosivos, ao proteger o solo do impacto da gota de chuva e diminuir a velocidade de escoamento da enxurrada, evitando o assoreamento acelerado do rio e do reservatório formado.

Em função do porte da obra proposta, os lagos formados possuem pequena área evitando assim a inundação de áreas significativas com posterior eutrofização da biomassa submersa e comprometimento da qualidade da água.

¹³ como comentado anteriormente, na caracterização ambiental do aproveitamento do eixo da queda 1

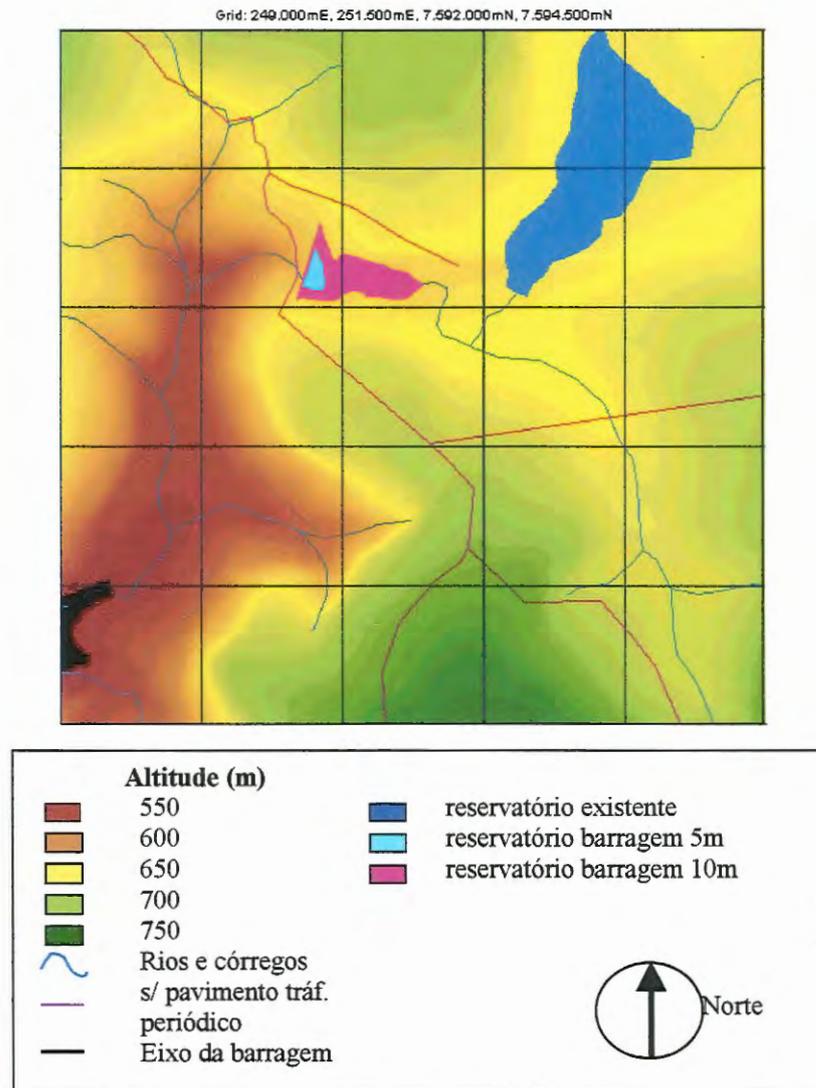


FIGURA 28: Mapa hipsométrico, rede hidrográfica e infra-estrutura viária no entorno do eixo da queda 7, com detalhes da área de inundação das barragens de regularização propostas

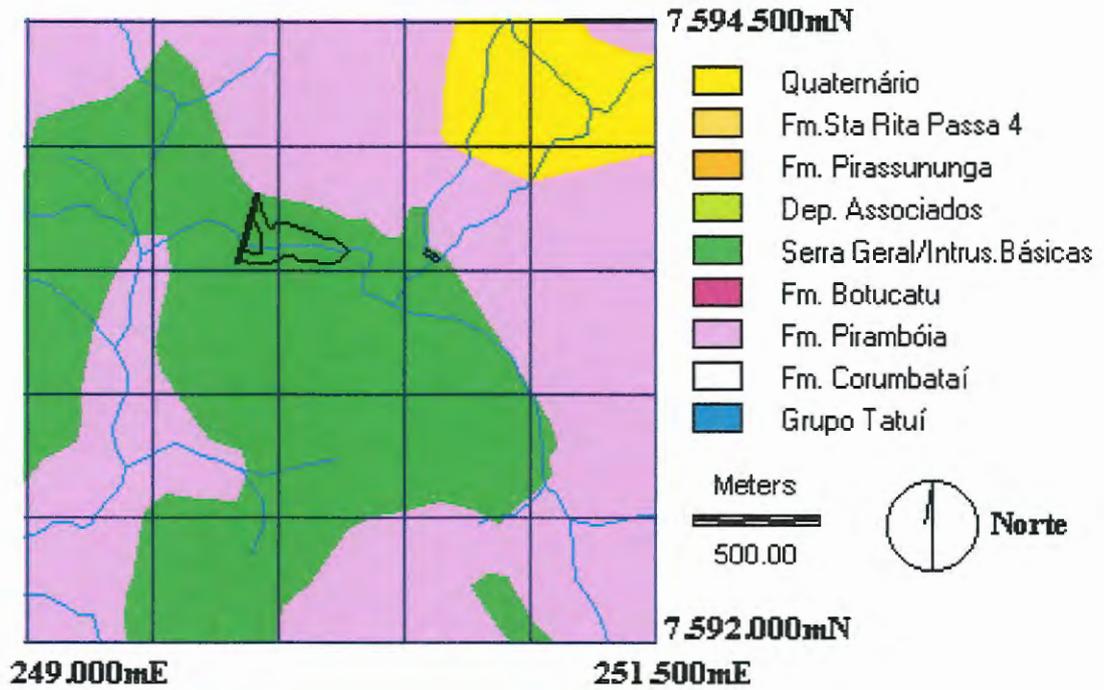


FIGURA 29: Aspectos geológicos no entorno do eixo da queda 7

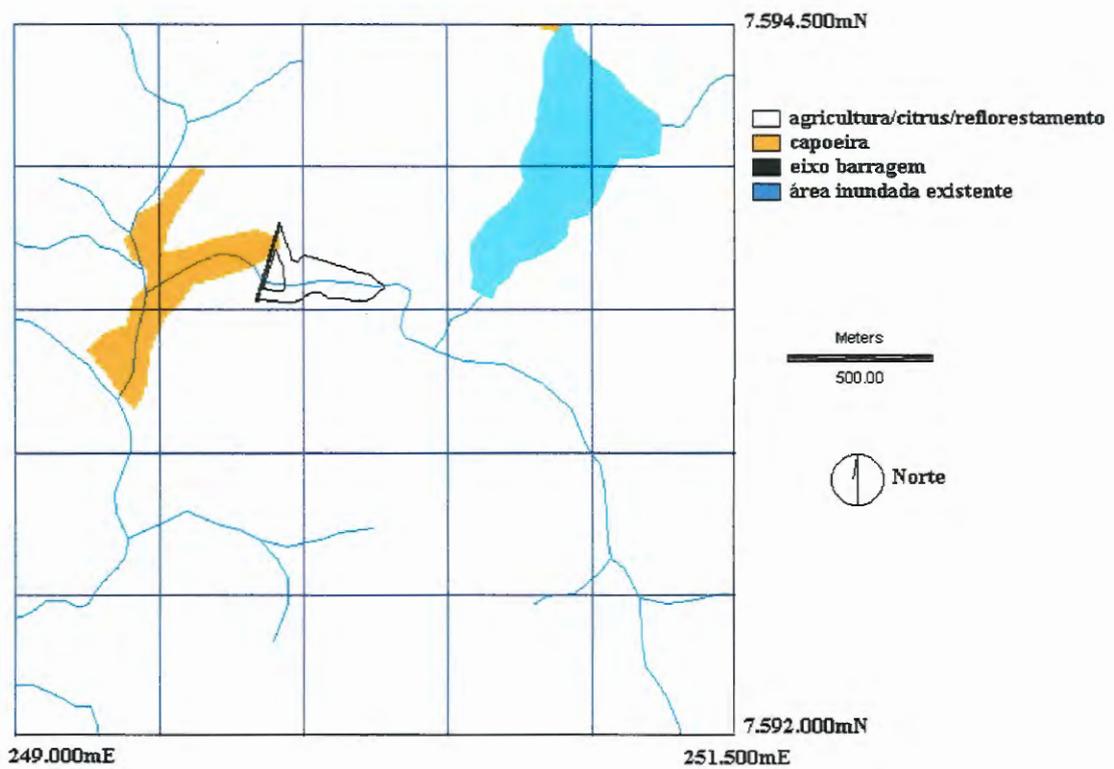


FIGURA 30: Mapa de vegetação natural no entorno do eixo da queda 7

Em geral, a sociedade não é beneficiada somente pela energia, mas também por vários fatores que tornam o impacto social de uma PCH menor do que o das obras de maior porte. No caso da implantação desta minicentral, não é necessário relocar grandes populações que residem no local do aproveitamento, pois a sua influência é pequena; a região sofre um impacto menor durante o período de construção da central, pois é possível aproveitar tanto mão-de-obra quanto recursos da própria região; devido ao pequeno período de tempo entre a construção e a operação, a sociedade pode ter uma avaliação do resultado da implantação do aproveitamento em um curto período de tempo.

A implantação de minicentraís também vem ao encontro de suprir energia às indústrias de tecnologias que utilizam intensamente a eletricidade em regiões dotadas de matéria prima onde devido ao porte ou pelas grandes distâncias, não justifiquem a instalação de linhas de transmissão.

Outra alternativa de desenvolvimento regional com integração das comunidades isoladas no interior do estado, através dos meios de comunicações, bem como outros benefícios que a energia pode trazer a estas comunidades, advindos da disponibilidade deste energético.

As propostas de projetos estudadas (eixos das quedas 1, 6 e 7), além de proporcionarem a geração e o fornecimento de energia, foram planejados de modo que minimizassem os impactos sociais e ambientais na região onde seriam implantados.

No caso do eixo da queda 7 - proposta C, ainda é necessário um estudo técnico e econômico mais aprofundado sobre as finalidades múltiplas que este reservatório poderia vir a ter como: captação de água para abastecimento doméstico, abastecimento industrial e irrigação, tratamento de efluentes e monitoramento da qualidade da água, amortecimento de cheias, recreação entre outros.

Outro estudo proposto para esta queda é em relação à viabilidade econômica da integração deste empreendimento para melhorar condições de fornecimento de energia através do suprimento de cargas locais de tensão de distribuição, aumentando as reservas do sistema interligado.

Dessa maneira, a avaliação global do empreendimento é muito importante para o local onde a usina será implementada, pois a atividade poderá atender ao maior número de usuários de recursos hídricos. Se outros empreendimentos tiverem um planejamento semelhante, a bacia poderá ter benefícios sociais e econômicos ainda maiores, sem comprometimento do meio ambiente onde a atividade é implementada.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

A construção de usinas hidrelétricas em princípio não deve ter em vista apenas a geração de hidreletricidade, embora esta componente energética possa ser importante para o desenvolvimento regional e nacional. A necessidade de produção de energia elétrica proveniente de recursos hídricos é estratégica e envolve o interesse público e a cidadania, portanto extrapola o próprio empreendimento.

Para que a inserção regional de um aproveitamento hidrelétrico aconteça de modo a maximizar os benefícios e evitar o maior número de conflitos, é necessário que os aspectos sociais e ambientais, assim como as perspectivas de desenvolvimento regional, sejam consideradas nas fases de planejamento, implantação e operação das usinas hidrelétricas. Dessa maneira, a melhor forma de se obter sucesso na implantação de um aproveitamento é através do contínuo intercâmbio de informações entre os empreendedores e a comunidade afetada pelo empreendimento.

Foi muito oportuno o desenvolvimento deste trabalho, através de aplicação de metodologia de estudo na bacia do Mogi-Guaçu para estudo da viabilidade de minicentrals hidrelétricas para atender demanda de energia da região. O fornecimento de energia elétrica por meio de pequenas centrais hidrelétricas ajuda na complementação da infra-estrutura básica, e entre outros benefícios, auxilia na expansão de fronteiras agrícolas, criando condições para o maior beneficiamento de produtos e conseqüente economia nos transportes pela diminuição na migração de carga *in natura* promovendo melhoria de qualidade de vida local, geração de empregos e diminuição na migração interna para os grandes centros.

Foi verificado que minicentrals hidrelétricas representam um importante potencial a ser aproveitado principalmente no sentido de abastecer pequenas

comunidades rurais onde a demanda é pequena e o fornecimento pela rede de distribuição representa altos custos.

A tecnologia de minicentraís hidrelétricas corresponde a uma alternativa simplificada com capacidade de atender demandas locais através do desenvolvimento de potenciais hidráulicos presentes na região. O menor investimento, o prazo de maturação que tornam possível a rápida implementação de usinas de pequeno porte, e pelo fato de constituir de projeto simplificado e possibilitar a utilização de recursos e mão-de-obra local, representam importantes características que tornam a alternativa atraente, sob o ponto de vista econômico, para os investidores locais.

A metodologia elaborada para avaliar os benefícios que minicentraís hidrelétricas podem acrescentar a uma região foi adequada pois proporcionou análise entre quantidade de potência gerada e impactos positivos e negativos no meio ambiente, provenientes do empreendimento.

O Sistema de Informação Geográfica teve papel fundamental neste estudo ao possibilitar que características locais fossem utilizadas de forma georreferenciadas permitindo análises sistemáticas e integradas de diversos aspectos referentes ao meio, enfim necessárias para o planejamento regional sustentado.

Neste sentido, o presente trabalho vem demonstrar o SIG como uma ferramenta eficiente, ao permitir que características do ambiente sejam inseridas e simuladas ainda na fase de planejamento de um empreendimento, mostrando a importância do projeto no desenvolvimento local e regional.

Na metodologia proposta para verificação dos potenciais existentes na região, o SIG possibilitou que características topográficas de interesse fossem recuperadas (identificação e quantificação dos desníveis), assim como dados hidrológicos relativos à bacia fossem inseridos possibilitando verificar, localizar e quantificar potenciais da região.

A ferramenta SIG também se mostrou eficiente ao proporcionar simulação e análise de dados em diversas escalas, permitindo o atendimento de objetivos definidos em cada etapa deste estudo.



Na primeira etapa do trabalho, com intuito de identificação de quedas potenciais, em função da extensão da área a ser analisada (de aproximadamente 2.960 km²), optou-se por gerar imagem base com tamanho de pixel grosseiro, no caso dimensão do pixel de (50m x 50m), compatível com o objetivo. A matriz gerada constituía de 960 linhas por 1040 colunas. As quedas identificadas e os potenciais calculados nesta escala, quando comparados com resultados obtidos em escala maior (pixel de 10m x 10 m) apresentaram resultados bastante próximos. Enquanto em segunda etapa, quando necessário analisar impactos locais provenientes da implantação de empreendimento, a escala escolhida foi de pixel com dimensões 10m x 10m, gerando imagens com maior resolução e maior nível de detalhamento das potencialidades locais, dadas as necessidades de análise para atender às exigências desta etapa.

Para avaliação da viabilidade ambiental do empreendimento foram analisados impactos positivos e negativos sob diversos aspectos. A metodologia incorporou técnicas de estudos tradicionais como caracterização da região de estudo sob aspectos físico, biológico e sócio-econômico, análise de susceptibilidade a erosão aplicada a partir da ferramenta SIG.

Nesta etapa, o SIG foi essencial por tornar possível a caracterização das áreas em estudo em diversos aspectos. Estes puderam ser analisados de forma integrada, mostrando cenários com os reflexos negativos e os positivos. O desenvolvimento de sistemáticas de análise de projetos na fase de planejamento de atividades devem prever soluções que possibilitem a otimização de alternativas que potencializem as características locais com a minimização de impactos negativos. O SIG foi fundamental para suprir esta lacuna, ao permitir que modelos e cenários fossem gerados a partir de informações associadas a região de implantação da atividade, a partir de modelos de análise de cada tema e foram implementados com o processador de dados do SIG. Uma série de mapas temáticos foi produzida fornecendo informação fundamental para o planejamento regional, que procura a solução ótima ambientalmente e atendendo aos interesses dos diferentes grupos envolvidos.

Em relação ao SIG, os resultados desta pesquisa foram possíveis devido à capacidade do SIG de formar mapas digitais georreferenciados a partir de dados

analógicos e permitir a recuperação das informações de forma precisa para análises subseqüentes. Além de habilitar a manipulação e análise de dados (inclusive com possibilidade de inserção de análises estatísticas), de maneira que desempenhou uma variedade de tarefas seguindo regras estipuladas para obtenção dos resultados propostos nesta pesquisa, produzindo e gerando simulações e modelos otimizados como requeridos. Segundo PEUQUET & MARBLE (1990) a interface de modelagem espacial se constitui como uma das funções mais importantes e obrigatórias de um SIG verdadeiro.

Para finalizar, a capacidade do SIG de reproduzir relatórios de forma a mostrar parte ou todo banco de dados, na forma tabular ou em forma de mapas dos cenários gerados, proporcionou análises e justificativas dos custos ambientais associados a cada alternativa proposta na fase de planejamento de atividades.

Conforme as alternativas analisadas, a construção destas obras podem vir a suprir demandas de regiões não alcançadas pelos sistemas de transmissão e sub-transmissão, e apesar de não fornecer energia em grande volume, é compatível com a escala de capacidade de geração e investimento local.

Na realidade a definição e aplicação das metodologias propostas com utilização de SIG foram limitadas por vários problemas relacionados à obtenção, ao processamento e uso de dados e informações como: dificuldades existentes para localização e acesso aos dados, e em escala compatível, no caso desta pesquisa dados pedológicos da região não foram encontrados.

A metodologia empregada para avaliar a potência acrescida com construção de uma barragem para regularização de vazões mostrou-se eficiente e apresentou resultados de vazão regularizada compatíveis com estudos hidrológicos realizados para a bacia e capacidade da área de contribuição da queda estudada. Este estudo pode ser utilizado como análise preliminar de viabilidade de construção de barragem para regularização de vazões, simulando o potencial gerado desta alternativa, a partir de características físicas locais. Esta metodologia associada ao estudo de impactos ambientais decorrentes da região permite avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento.

Este estudo atende aos objetivos ao definir metodologias que visem ao planejamento ambiental sustentado através de integração de soluções técnicas simplificadas garantindo desenvolvimento das potencialidades locais.

Sugestões para estudos futuros:

Este trabalho destacou a importância de se dar enfoque multidisciplinar à resolução de problemas que envolvem a geração de energia elétrica por minicentrais hidrelétricas para fornecimento de energia à comunidades não atendidas pela rede de distribuição. Este estudo visa ao desenvolvimento regional integrado com análise das capacidades e potencialidades locais. Para estudos futuros ao desenvolvimento dos seguintes tópicos:

- ✓ Avaliação do custo/benefício dos múltiplos usos para barragens inserindo no contexto de desenvolvimento regional;
- ✓ Sistematização de análise de impactos ambientais em minicentrais hidrelétricas e definição de procedimentos obrigatórios para definição do projeto associado a estes empreendimentos.

CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRA FILHO, S.S. (1993). *Os Estudos de Impactos ambientais no Brasil: uma análise de sua efetividade*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (Documento de Política n.18).
- ANTENUCCI, J.C. *et al.* (1991). *Geographic Information Systems*. Chapman & Hall, New York.
- BARROS, F. H. F. (1975). Qualidade do ambiente e seus reflexos econômicos e sociais. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE A PROTEÇÃO E MELHORIA DO MEIO AMBIENTE, 1; Brasília, 1975. *Anais*. Brasília.
- BARTLE, A. (1991). Dams and environmental world survey management practice. *Water Power & Dam Construction*, v. 43, n.8, Aug. p. 61-71
- BERTONI, J.; LOMBARDI N., F. (1990). *Conservação do solo*. 2ed. São Paulo; Icone.
- BOLEA, M.T.E. (1984). *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid; Fundación MAPFRE.
- BRASIL. LEIS, etc. (1981). Lei 6.938 de 31/08/81. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 20 set
- BRASIL. Leis, etc. (1983). Decreto Lei n.88.351 de 1 de junho de 1983. Regulamenta a Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, e a Lei 6.902, de 27 de abril de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a política nacional do meio ambiente e sobre a criação de estações ecológicas e áreas de proteção ambiental, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília.
- BRASIL. Leis, etc. (1986). Resolução CONAMA nº 001 de 23/01/86. Brasília, SEMA.
- BRASIL. Leis, etc. (1986). Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86. Brasília, SEMA.

- BRASIL. Leis, etc. (1989). Lei 7.803 de 12/07/89. Altera a redação da Lei 4.771, de 15/09/65, e revoga as Leis 6.535, de 15/07/78 e 7.511, de 07/07/86. *Diário Oficial da União*, Brasília.
- BRASIL. Leis, etc. (1990). Decreto Lei 99.274 de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei 6.902, de 27/04/81, e a Lei 6.938, de 31/08/81, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de estações ecológicas e áreas de proteção ambiental e sobre a política nacional do meio ambiente, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF.
- BRASIL. Leis, etc. (1995). Decreto Lei 9.074 de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para a outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 08 de jul. Seção I, p.1.
- BRASIL. Leis, etc. (1996). Decreto Lei 2.003 de 3 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 set. Seção I, p.1.
- BRITO, O.E.A. (1981). O Impacto Ambiental dos Programas energéticos. *Revista Brasileira Técnica*, v.12, n.1.
- BROLLO, M.J. (1991). *Mapeamento geotécnico da quadricula de Araras – SP: escala 1:50.000*. São Carlos. 2 v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BRUSEKE, F.J. (1995). O problema do desenvolvimento sustentável. In: CAVALCANTI, C., org. *Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável*. São Paulo, Cortez/Recife, Fundação Joaquim Nabuco. p.29-40.
- CAMPOS, J.R.T. (1991). *Controle de velocidade de uma microcentral hidroelétrica por comutação de cargas resistivas*. São Carlos. 95p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. (1987). *Nosso Futuro Comum*. Trad.por Our Common World. Rio de Janeiro; Fundação Getúlio Vargas.
- CRUZ, P.T.; BEZERRA, D.M. (1996). Critérios de projeto. In: CRUZ, P.T.da. *100 Barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto*. São Paulo, Oficina de Textos. p. 519-543.

- DENNING, J. (1993) Small dams rehabs. *American Society of Civil Engineering*, V. 63, n.1, p. 52-54, Jan.
- DNAEE. (1987). *Inventário das estações fluviométricas*. Brasília, DNAEE - Divisão de Controle de Recursos Hídricos.
- DUPAS, F.A. (1997). *Geoprocessamento aplicada à avaliação a dinâmica ambiental de projetos de mineração na Amazônia: estudo de caso da Mina Pitinga*. São Carlos. 238p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- EASTMAN, J.R. (1992). *IDRISI – user’s guide*. Worcester; Clark University.
- EASTMAN, J.R. (1997). *IDRISI for Windows: user guide version 2.0*. Worcester; Clark University.
- EASTMAN, J.R.; HAGAN, J.E.; AUBLE, J. (1998). *CartaLinx, the spatial data builder: user’s guide*. Worcester, Clark University.
- ELETROBRÁS; DNAEE. (1985). *Manual de microcentrais hidrelétricas*. Brasília, Ministério de Minas e Energia..
- ELETROBRÁS. (1986). *Manual de estudos de efeitos ambientais dos sistemas elétricos*. Rio de Janeiro, DNAEE. 91p.
- FABRIZY, M.P.; BERMAN, C.; MOREIRA, J.G.S. (1994) A legislação ambiental em matéria das usinas hidrelétricas e em particular das pequenas centrais hidrelétricas – PCH: o caso da França em comparação com o Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS, 1, 1994, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, UFRJ. P. 525-542.
- FEARNSIDE, P. (1989). Brazil’s Balbina dam environmental versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management*, v.13, n.4, p.401-123, July/Aug.
- FEARNSIDE, P. (1995). Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of ‘Greenhouse’ gases. *Environmental Conservation*, v. 22, n.1, p.7-19. Spring.
- FONTES, A.T. (1997). *Aspectos do macrozoneamento utilizando SIG enquanto instrumento de gestão ambiental: diagnósticos e cenários regionais no estudo de caso da região de Ribeirão Preto*. São Carlos. 167p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- FUSCO, S.S.B. (1997) *Pequenas centrais hidrelétricas e uso múltiplo da água: uma abordagem através de casos práticos*. São Paulo. 102p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GANDOLFI, N. (1968). *Bacia do Mogi-Guaçu: morfologia da drenagem, sedimentologia e investigações físico-químicas*. São Carlos. 124p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GOLDEMBERG, J.et al. (1998). *Energy for a sustainable world*. Chichester, John Wiley & Sons.
- GRAHAM, R. (1998). Preliminary investigation into the hydropower potential on scottish farms. *Journal Agricultural Engineering Resources*, v.70, n.3, p.307-311, July.
- GRIMM, A.M.; SANTOS, A.T.; FREITAS, C.O.A. (1987). Estudo comparativo do clima local da área do reservatório de Itaipu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7./SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 3., Salvador, 1987. *Anais*. Curitiba, ABRH. v.4.
- HABER, W.; SCHALLER, J. (1988). Spatial relations among landscape elements quantified by ecological balance methods. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROBLEMS OF LANDSCAPE ECOLOGICAL RESEARCH, 8., Zemplinska 1988. *Proceedings*. Zemplinska, Sirava, v.1, p.115-124.
- HAYNES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S., eds. (1993). *Landscape ecology and geographic information systems*. London, Taylor & Francis.
- HOBBS, R. J.; MOONEY, H.A. (1990). Remote sensing of biosphere functioning. *Ecological Studies*, n.79.
- JIANDONG, T.et al. (1997). *Mini hydropower*. New York, John Wiley & Sons. (UNESCO Energy Engineering Series).
- JUNCHEM, P.A.; MORAIS, N.A. (1992). Técnicas para avaliação de impacto ambiental e elaboração de estudos de impacto ambiental de empreendimentos selecionados - algumas definições e escalas apropriadas para estabelecer áreas de influência de empreendimentos hidrelétricos. In: MAIA: Manual de avaliação de impactos ambientais. Curitiba, Instituto Ambiental do Paraná. Cap.7051, p.1-23.

- KUBECKA, J.; MATENA, J.; HARTVICH, P. (1997). Adverse ecological effects of small hydropower station in Czech Republic. *Regulated Rivers-Research & Management*, v.13, n.2, p.101-113, Mar./Apr.
- KUSHWAHA, S.P.S.et al. (1996). Interfacing remote sensing and GIS methods for sustainable rural development. *International Journal of Remote Sensing*, v.17, n.15, p.3055-3069, Oct.
- LANNA, A.E. (1997). Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M., org. *Hidrologia – ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre, Editora da Universidade/ABRH. Cap.4, p.84-86. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).
- LEPSCH, I.G.O.F. (1976). *Solos – formação e conservação*. Campinas, Melhoramentos.
- LOBOSCO, O.S. (1987). *Geração de energia em pequenas centrais hidrelétricas*. São Paulo. 212p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MACINTYRE, A.J. (1983). *Máquinas motrizes hidráulicas*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- MACMILLAN, R.A.; FURLEY, P.A.; HEALEY, R.G. (1991). Using hydrological models and geographic information systems to assist with the management of surface water in agricultural landscapes. In: HAYNES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S., eds. *Landscape ecology and geographic information systems*. London, Taylor & Francis.
- MAFFINI, G. (1987). Raster versus vector data encoding and handling: a commentary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n.53, p.1397-1398.
- MEDEIROS, C.H.A.C. (1986). *Síntese de metodologias propostas para elaboração do estudo geológico-geotécnicos de fundações de barragens ênfase para pequenas barragens (região do semi-árido)*. São Carlos. 150p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MEDEIROS, C.H.A.C.; FACCHNETTI, R. O.; FIGUEIREDO, J.M.A.; ALBIERO, J.H. (1986). Estudos geológico-geotécnicos para fundações de pequenas barragens na região do semi-árido do nordeste: uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8, Porto Alegre, 1986. *Anais*. Porto Alegre, p.89-106.

- MÉRONA, B.D.; ALBERT, P. (1999). Ecological monitoring of fish assemblages downstream of a hydroelectric dam in French Guiana (South America). *Regulated Rivers: research and management*, v.15, n.1, p. 339-351.
- MILARÉ, E. (1995). Estudo prévio de impacto ambiental no Brasil. In: AB'SABER, A. N.; MULLER-PLATENBERG, C., org. *Previsão de impactos. O estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul: experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha*. São Paulo, EDUSP. p. 51-83.
- MÜLLER, A.C. (1995). Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo, Makkron Books.
- NATALE, A.; MANES, V. (1997) The refurbishment of small hydro plants in Italy. *International Journal on Hydropower & Dams*, v. 4, n.2, p. 82-85.
- NELLIS, M.D.; LULLA, K.; JENSEN, J. (1990). Interfacing geographic information system and remote sensing for rural land use analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.56, p.329-331.
- OLIVEIRA, J.B.et al. (1982). *Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de Araras*. Campinas, Instituto Agrônômico. (*Boletim Técnico*).
- PACCA, S.A.(1996). *A integração das pequenas centrais hidrelétricas ao meio ambiente e os aspectos legais relacionados*. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Programa de Interunidades, Universidade de São Paulo.
- PACCA, S.A.; FABRIZY, M.P. (1995) Small hydroplants and their impacts on the environment: a simplified model for the environmental consequences. In: HYDROPOWER INTO THE NEW CENTURY – CONFERENCE AND EXHIBITION, Barcelona, 1995. *Anais*. Sutton, Aqua Media International, p. 235-243.
- PACCA, S.A.; FABRIZY, M.P.; MACIEL, F.A.; MOREIRA, J.G.S. (1995) A geração de energia no contexto de um projeto de usos múltiplos e sua integração no meio ambiente. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11 E DO SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2, Recife, 1995. *Anais*. São Paulo, ABRH Publicações, n. 1, p.319-324.
- PALOS, J.C.F.et al. (1987). Regionalização de vazões mínimas, médias, curvas de permanência e volumes de regularização intra-anual em pequenas bacias hidrográficas do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7./SIMPÓSIO LUSO-

- BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 3., Salvador, 1987. *Anais*. Curitiba, ABRH. v. 2, p. 253-265.
- PAREDES, E.A. (1994). *Sistema de informações geográficas – princípios e aplicações (Geoprocessamento)*. São Paulo, Érica,.
- PEJON, O.J. (1992). *Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP (Escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos*. São Carlos. 2 v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PEUQUET, D.J.; MARBLE, D.F. (1990). *Introductory readings in geographic information systems*. Basingstoke, Burgess Science.
- RANIERI, S.B.L. (1996). *Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informação geográfica (SIG)*. São Carlos. 128p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- REFOSCO, J.C. (1996). *Ecologia na paisagem e sistema de informações geográficas na interferência da paisagem na concentração de sólidos totais no reservatório da usina de Barra Bonita, SP*. São Carlos. 122p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RIDLEY, J. E.; STEEL, J. A. (1975). Ecological aspects of river impoundment. In: WHITTON, B. A., ed. *River ecology*. Oxford, Blackell. p.567-587.
- ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R. (1995). Global warming potentials: the case of emissions from dams. *Energy Policy*, v.23, p.149-158.
- ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R.; SANTOS, M.A. (1996). Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of 'greenhouse' gases? *Environmental Conservation*, v.23, n. 1, p.2-6, Mar.
- SACHS, I. (1976). Environment and styles of development. In: MATTHEWS, ___ org. *Outer limits and human needs: resources and environmental issues on development strategies*. Uppsala, Dag-Hammarsköld Foundation.
- SÃO PAULO. Coordenadoria de Planejamento, Avaliação e Controle de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo (1984). *Caracterização dos recursos hídricos do estado de São Paulo*. São Paulo, DAEE.
- SÃO PAULO. Coordenadoria de Planejamento, Avaliação e Controle de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo (1989). *Plano estadual de recursos hídricos de 1989*. São Paulo, DAEE.

- SÃO PAULO (Estado). Leis, etc. (1991). Lei N.7.641 de 19/12/91. Dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Mogi-Guaçu e Médio Grande, estabelece critérios para o uso e ocupação do solo nesta área e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, v.101, n.241, 20 dez.
- SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura Abastecimento do Estado de São Paulo (1982). *Mapa pedológico: Descalvado*, folha: SF-23-V-C-IV: Levantamento pedológico detalhado de São Paulo – Escala 1:100.000. Campinas, IAC.
- SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1981). *Mapa geológico, Descalvado, folha: SF-23-V-C-IV, 1984; Luís Antônio, Fl: SF-23-V-IV-2, 1986; Pirassununga, Fl: SF-23-V-C-V-3, 1981, Santa Rita do Passa Quatro, Fl: SF-23-V-C-V-1, 1981: formações geológicas de superfície – escala 1:50.000. Rio de Janeiro, Instituto Geológico, Coordenadoria de Pesquisa de Recursos Naturais.*
- SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (1997). *Mapa de vegetação nativa do estado de São Paulo: Descalvado, Luís Antônio; Pirassununga; Santa Rita do Passa Quatro: mapeamento vegetal natural do estado de São Paulo – escala 1:50.000. São Paulo, Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais.*
- SCARTAZZINI, L.S. (1993). *Estudo do potencial hidráulico em quedas de água na bacia hidrográfica do Rio Pardinho, RS.* Porto Alegre 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILFER, A.T.; KINN, G.J.; HASSETT, J.M. (1986). A geographic information system utilizing the triangulated irregular network as a basis for hydrologic modeling. In: AUTO-CARTO, 8., Baltimore. *Proceedings.* p.129-136.
- SOUZA, P.A.P. (1999) Viabilidade ambiental na implantação de pequenas centrais hidrelétricas, por meio de um estudo de caso no alto da bacia do Rio Jacaré-Guaçu/SP. São Carlos. 114p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- STOW, D.A. (1993). The role of geographic information system for landscape ecological studies. In: HAYNES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. ed. *Landscape ecology and geographic information systems.* London, Taylor & Francis. Cap. 2, p. 11-21.
- TUCCI, C.E.M. (1997). Regionalização de vazões. In: TUCCI, C.E.M., org. *Hidrologia – ciência e aplicação.* 2.ed. Porto Alegre, Editora da Universidade/ABRH. Cap.15, p.573-619. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4)

- UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1993). Agenda 21: the earth summit strategy to save our planet. Rio de Janeiro/Boulder, Earthpress.
- VILAR, O. M. ; PRANDI, E. C. (1993). Erosão dos solos. In: MESA REDONDA SOLOS DO INTERIOR DE SÃO PAULO, 1993, São Carlos. *Anais*. São Carlos, ABMS/EESC-USP. p.177-206.
- VILLELA, S.H. (1992). *Avaliação sócio-econômica de impactos ambientais devidos à implantação e operação da usina hidroelétrica "Três Irmãos", no Rio Tietê – aplicação do "modelo interpretativo da inserção regional de UHEs", elaborado pela ELETROBRÁS*. São Carlos. 124p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- WICKLAND, D.E. (1989). Future directions for remote sensing in terrestrial ecological research. In: ASRAR, G, ed. *Theory and applications of optical remote sensing*. New York, Wiley. p.691-724.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N.; PEJON, O.J. (1990). O mapeamento geotécnico na previsão e prevenção de riscos geológicos em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. *Anais*. São Paulo, ABGE. p.305-315.