

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE
FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL**



**ANÁLISE DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS DA
BACIA HIDROGRÁFICA DOS
RIOS APUAÊ-INHANDAVA,
SITUADA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO
RIO URUGUAI**

RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

Contrato FEPAM/FATEC/UFSM - AEM/S nº 1081/2004



Santa Maria, dezembro de 2005.

ÍNDICE

Índice.....	2
Índice de Tabelas.....	3
Índice de Figuras.....	4
Apresentação e objetivos do projeto.....	5
OBJETIVO GERAL	5
Equipe técnica FEPAM.....	6
Equipe Técnica da FATEC.....	6
Introdução.....	6
Adequação da Base de Dados.....	8
Métodos.....	14
INFORMAÇÕES E MAPAS BÁSICOS	14
ANÁLISE INTEGRADA (MULTI-CRITÉRIO)	15
Geração de mapas-síntese por bloco temático.....	17
CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO ANTRÓPICO	21
VARIÁVEIS SELECIONADAS E UTILIZADAS	23
Função de marco territorial dos rios.....	23
Infra-estrutura básica de transporte.....	23
Proximidade de áreas urbanas ou urbanizadas (povoados).....	24
Rota dos tropeiros.....	24
Pressão fundiária sobre os recursos naturais.....	25
Interação com populações e terras indígenas e quilombos.....	26
Unidades de Conservação.....	26
CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO BIÓTICO TERRESTRE	27
Vegetação.....	27
Áreas de alto valor para a biodiversidade.....	29
Fauna terrestre.....	29
Reserva Biológica da Mata Atlântica.....	31
CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO BIÓTICO AQUÁTICO	31
Diagnóstico da riqueza de espécies de peixes.....	31
Avaliação da vulnerabilidade das espécies.....	31
Mapeamento das espécies vulneráveis na bacia.....	33
Vulnerabilidade das zonas de endemismo do rio Uruguai.....	34
Distância entre barramentos.....	35
CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO FÍSICO	37
Solos.....	37
Geomorfologia.....	38
Geologia.....	38
Áreas Mineiras.....	38
Geometria da rede fluvial.....	39
Qualidade da Água.....	40
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	43
ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL DA DRENAGEM	43
ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA DAS BARRAGENS	44
Resultados.....	44
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	45
ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL DA FRAGMENTAÇÃO DA DRENAGEM	47
ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA DAS BARRAGENS	52
Bibliografia.....	61
ANEXO.....	66
ANEXO cartográfico.....	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Construção dos modelos de favorabilidades	17
Tabela 2	Blocos Temáticos	19
Tabela 3	Blocos Temáticos - Meio Terrestre	20
Tabela 4	Blocos Temáticos - Meio Aquático	21
Tabela 5	Pontuação para os rios que estabelecem marcos de fronteiras: municipais, estaduais ou internacional.....	23
Tabela 6	Pontuação para as implicações diretas em vias rodoviárias.....	24
Tabela 7	Pontuação para proximidade de áreas urbanas.....	24
Tabela 8	Pontuação para proximidade das rotas de tropeiros	25
Tabela 9	Exemplo de cálculo da Proporção da área rural do Município de Ajuricaba (Bacia do rio Ijuí) na classe de tamanho de propriedades rurais.....	27
Tabela 10	Exemplo de cálculo do IPFRN para o Município de Ajuricaba (bacia do rio Ijuí).	27
Tabela 11	Pontuação de acordo com o endemismo das espécies arbóreas ameaçadas de extinção.	28
Tabela 12	Pontuação de acordo com a vulnerabilidade das espécies arbóreas ameaçadas de extinção.	28
Tabela 13	Pontuação das espécies arbóreas e sua transformada em escala de bytes (0-255).	29
Tabela 14	Pontuação das zonas de valor para a biodiversidade em escala de bytes (0-255).	29
Tabela 15	Pontuação de acordo com a necessidade de hábitat (fauna terrestre).....	30
Tabela 16	Pontuação de acordo com vulnerabilidade da espécie (status de conservação - fauna terrestre).....	30
Tabela 17	Esquema de pontuação do hábitat e do status de conservação das espécies da fauna terrestre e sua transformada em escala de bytes (0-255).	30
Tabela 18	Pontuação das zonas da Reserva Biológica da Mata Atlântica em escala de bytes (0-255).....	31
Tabela 19	Matriz de avaliação da vulnerabilidade das espécies de peixes da Bacia 75 e Alto Uruguai.....	32
Tabela 20	Pontuação atribuída as diferentes fontes de informação que subsidiaram o mapeamento das espécies de peixes.	34
Tabela 21	Pontuação atribuída às ordens de rio da bacia do Uruguai.....	35
Tabela 22	Pontuação atribuída a rotas de migração de peixes considerando sua extensão e a conectividade ao rio Uruguai.	37
Tabela 23	Valoração dos tipos de solos existentes na área de estudo de acordo com a sua fragilidade.	37
Tabela 24	Valoração das unidades geomorfológicas existentes na área de estudo.....	38
Tabela 25	Valoração das formações geológicas existentes na área de estudo.	38
Tabela 26	Valoração das áreas de concessão mineral.....	39
Tabela 27	Fatores de redução de cargas de DBO (CNEC, 1980).	41
Tabela 28	Cargas unitárias de fósforo e DBO, por cabeça.....	41
Tabela 29	Barragens analisadas neste estudo.....	45
Tabela 30	Índice de eficiência energética.	46
Tabela 31	Índice de favorabilidade ambiental relativa para os meios aquático e terrestre.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Os efeitos de confluência são afetados pela geometria local da rede, incluindo a seqüência de tamanho dos tributários, a distância entre suas confluências e os ângulos entre os tributários e o trecho de rio principal (BENDA <i>et al.</i> , 2004a).....	11
Figura 2	Variáveis utilizadas para caracterização estrutural das redes de drenagem (BENDA <i>et al.</i> , 2004b).....	12
Figura 3	Abordagem holística para avaliar qualidade da água.	40
Figura 4	Índice de eficiência energética.	46
Figura 5	Índice ambiental da fragmentação da drenagem.	47
Figura 6	Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário atual.	49
Figura 7	Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário futuro 1.	50
Figura 8	Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário futuro 2.	50
Figura 9	Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário futuro 3.	51
Figura 10	– Histogramas resultantes dos modelos conjuntos.....	53
Figura 11	Histogramas dos modelos rodados para o meio terrestre	54
Figura 12	Histogramas resultantes dos modelos rodados para o meio aquático.....	55
Figura 13	Mapa síntese do modelo 0 – meio terrestre	56
Figura 14	Mapa síntese do modelo 4 – meio terrestre	56
Figura 15	Mapa síntese do modelo 1 – meio aquático.....	57
Figura 16	Mapa síntese do modelo 1 – meio aquático.....	57
Figura 17	Índice de favorabilidade ambiental relativa para o meios aquático, modelo 2.	60

APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS DO PROJETO

Este **Relatório Técnico** apresenta a descrição dos estudos técnicos desenvolvidos e previstos no Plano de Trabalho constante do Contrato AEM/S nº 1081/2004, celebrado entre a Fundação Estadual de Proteção Ambiental da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (FEPAM/SEMA-RS) e a Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência (FATEC/UFSM), visando o estudo e análise de fragilidades ambientais da bacia hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava (U10), situada na Região Hidrográfica do Rio Uruguai/RS, a fim de possibilitar que o órgão ambiental estadual – FEPAM – efetue a análise prévia da viabilidade de licenciamento de aproveitamentos hidrelétricos na bacia do Apuaê-Inhandava.

OBJETIVO GERAL

O trabalho que aqui é apresentado tem por objetivo estabelecer uma avaliação regional dos impactos decorrentes da instalação de barramentos em rios a fim de proporcionar a geração de energia elétrica ou a irrigação de grandes lavouras nas bacias dos rios Apuaê e Inhandava, tributários dos rios Pelotas e Uruguai na região norte do estado do Rio Grande do Sul. Com os resultados dessa análise se espera conceber um sistema de apoio à tomada de decisões, baseado em um sistema de informações geográficas que permita integrar as variáveis de gestão de bacias hidrográficas no processo de licenciamento ambiental de barragens para fins diversos.

Seguindo a filosofia de avaliações das fragilidades regionais frente a instalação de barramentos, o trabalho replica e aprimora o método desenvolvido para a execução da ANÁLISE DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS E DA VIABILIDADE DE LICENCIAMENTOS DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS IJUÍ E BUTUÍ-PIRATINIM-ICAMAQUÃ (FEPAM, 2004).

Como pode ser visto no capítulo que descreve os métodos empregados para a execução desse estudo, os critérios e variáveis indicadoras da fragilidade ambiental das bacias dos rios Apuaê e Inhandava seguiram aqueles desenvolvidos por FEPAM (2004) adequados a realidade de dados disponíveis para a região.

Cabe destacar no entanto, que a avaliação foi aprimorada a partir da discussão anterior ao início dos trabalhos com a comunidade regional representada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê e Inhandava. Essa discussão foi viabilizada em uma reunião da equipe técnica FATEC e técnicos da FEPAM com os membros do Comitê no município de Erechim. Na reunião foram apresentados ao Comitê a proposta do trabalho e o método empregado a fim de abrir à comunidade a possibilidade de interferir na definição e adequação desses critérios, bem como na possibilidade de serem

acrescentados outros temas não identificados pelos contratantes e executores. Entre os frutos da interação entre comunidade e as equipes da FATEC e FEPAM, está a inclusão dos caminhos das tropas como critério de fragilidade na região. Além disso, houve também a incorporação da proposta de avaliação da geometria de rede.

Equipe técnica FEPAM

Maria Isabel Stumpf Chiappetti	Coordenação Geral Geógrafa
Ana Lucia M. Rodrigues	Eng. Química
Fernando A. V. Floresta	Geógrafo, M.Sc.
João Carlos P. Dotto	Biólogo, M.Sc
Raquel Barros Binotto	Geóloga, M.Sc
Lilian M. W. Ferraro	Geógrafa, M.Sc
Guilherme Joaquim	Acadêmico. Geografia

Equipe Técnica da FATEC

Função	Nome	Formação	Instituição
Coordenação geral – FATEC	Jussara Cabral Cruz	Eng. Civil, Dra.	UFSM
Pesquisador	Geraldo Lopes da Silveira	Eng. Civil, Dr.	UFSM
Pesquisador	Rafael Cabral Cruz	Oceanólogo, Dr.	UNIFRA
Pesquisadora	Sônia Conceição Assis de Oliveira	Bióloga	8ª CRE
Pesquisadora	Maria da Graça Brizola Mayer	Eng. Civil	UFSM
Pesquisador	Fábio Silveira Vilella	Biólogo	UFRGS
Pesquisador	Ezequiel Pedó	Biólogo	UFRGS
Cadista	Celso Pinheiro Rodrigues	Técnico	
Aluno de Mestrado	Francisco Rossarolla Forgiarini	Eng. Civil	UFSM
Aluna de Mestrado	Mariane Moreira Ravello	Eng. Civil	UFSM
Aluna de Graduação	Clarissa do Nascimento Friedrich	Eng. Civil	UFSM
Aluno de Graduação	Marcelo Ferreira Germani	Eng. Civil	UFSM
Aluna de Graduação	Cláudia do Amaral Poll	Eng. Civil	UFSM
Aluna de Graduação	Marília Ferreira Tamiosso	Eng. Civil	UFSM
Aluna de Graduação	Michelle Fuentes Rivé	Eng. Civil	UFSM
Aluna de Graduação	Camila Tamiosso	Eng. Ambiental	UNIFRA
Aluno de Graduação	Rafael Ferraz D'Ávila	Eng. Ambiental	UNIFRA
Aluna do Técnico	Fabiana	Téc. Geomática	UFSM

INTRODUÇÃO

A questão energética no Brasil passa por um momento efervescente com a implantação de um conjunto grande de novas usinas hidrelétricas a fim de sustentar o crescimento industrial e urbano do país. No entanto, a crescente instalação de novos empreendimentos de geração de energia não é feita sem que a sociedade organizada estabeleça um grande debate a partir de

questionamentos envolvendo temas sociais, ambientais e mesma a própria política energética do governo. Esse fenômeno não se dá isoladamente no Brasil tendo em vista o documento elaborado pela a Comissão Mundial de Represas que estabeleceu um conjunto de princípios para a análise de projetos partindo de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável (CMR, 2000).

O Relatório final da a Comissão Mundial de Represas destacou os seguintes tipos de impactos como aqueles de maior importância sobre os ecossistemas:

- impactos sobre os ecossistemas terrestres e sua biodiversidade;

- emissão de gases causadores do efeito estufa;
- impactos das vazões alteradas para os ecossistemas aquáticos de jusante e sua biodiversidade;
- impactos da modificação do regime de pulsos hidrológicos sobre as planícies de inundação;
- impactos sobre a pesca;
- diversificação de ecossistemas aquáticos;
- impacto cumulativo de represas em um mesmo sistema fluvial.

De modo geral o relatório apresentado pela CMR apresenta uma avaliação negativa quanto aos impactos ecossistêmicos das represas. O documento aponta que a grande maioria dos projetos apresentou um percentual elevado de impactos não previstos e de medidas mitigadoras que não obtiveram os efeitos desejados. Partes desses fracassos foram decorrentes da ausência de informações básicas adequadas, parte de práticas inadequadas de importação de tecnologias e parte de incertezas inerentes à complexidade das interações existentes nos sistemas ecológicos. Por outro lado, o documento expressa uma tendência de aprofundamento dos estudos necessários para o licenciamento de empreendimentos.

Nesse contexto, em que se estabelece um grande debate crítico em torno da questão energética no Brasil, os órgãos de licenciamento ambiental passam a ser atores importantes, pois são essas instituições que estabelecem, ou não, a possibilidade de instalação de um empreendimento de geração de energia. De acordo com a legislação ambiental brasileira, é na fase do licenciamento ambiental que existe a possibilidade de interferência direta da sociedade sobre a decisão de instalar ou não determinado empreendimento. Essa característica permite que, no processo de licenciamento ambiental, aflore todo o jogo de tensões provocado pelos diferentes pontos de vista dos atores sociais envolvidos na questão tratada. De fato, a tomada de decisão sobre o melhor local para a instalação de uma Usina Hidrelétrica ou uma Pequena Central Hidrelétrica demanda do órgão de licenciamento ambiental o conhecimento do impacto desse barramento na rede hidrográfica em que está inserido, bem como uma avaliação regional dos efeitos desse barramento sobre as comunidades envolvidas. Essa visão do contexto regional, no qual o empreendimento está inserido, não é fornecida pelo Estudo de Impacto Ambiental, que, normalmente, está direcionado para uma avaliação local ou de uma área muito próxima do local em que se pretende instalar o empreendimento.

Esta estrutura de avaliação pontual de impacto acaba gerando uma sobrecarga de análise de processos para o órgão licenciador muito superior à

que seria necessária, caso fosse implementado um sistema de apoio à tomada de decisões que incluísse um sistema inicial de planejamento e gestão com base em um banco de dados georreferenciado. Este sistema de apoio a tomada de decisão corresponde a um processo de análise prévia de viabilidade de licenciamento dos empreendimentos. De maneira ideal, esse sistema deveria ser desenvolvido em conjunto com os inventários de pontos potenciais de barramento, mas, também, pode ser adequado à inventários já existentes. Essa análise deve, prioritariamente, considerar os efeitos cumulativos e sinérgicos da instalação de barragens na bacia hidrográfica.

No Rio Grande do Sul, a FEPAM, partindo para uma estratégia bastante inovadora no Brasil, iniciou a elaboração de avaliações regionais de fragilidades de bacias hidrográficas frente à instalação do conjunto de barramentos inventariados pelo setor elétrico. O primeiro estudo elaborado para definição de critérios de licenciamento de represas, com base em uma visão de gestão de bacia hidrográfica, foi realizado na bacia hidrográfica do Taquari-Antas (FEPAM, 2001). Neste trabalho, os autores propuseram uma metodologia para análise de criticidade de trechos de rios, bem como incluíram critérios de conectividade e fragmentação florestal para definição de orientações para o licenciamento de barragens em escala de bacia hidrográfica. A fim de mitigar os efeitos cumulativos de barramentos no mesmo sistema, os autores propuseram a classificação dos trechos de rios por tipologia e a definição de pelo menos um trecho de cada tipologia livre de barragens na bacia hidrográfica, bem como uma distância mínima de trecho livre de barramentos entre empreendimentos, incorporando uma das recomendações apontadas no relatório final da CMR.

Em 2004, é dada continuidade a essa política de gestão, com a elaboração e publicação de um estudo objetivando avaliar as fragilidades ambientais e a viabilidade de licenciamento de aproveitamentos hidrelétricos das bacias dos rios Ijuí, Butuí, Piratinim e Icamaquã (FEPAM, 2004). Esse estudo, aproveitando a filosofia de avaliação criada por FEPAM (2001), avança na diversificação de critérios de avaliação do impacto regional e no desenvolvimento de métodos para conduzir essa avaliação. Um dos critérios inseridos no trabalho e que representa um avanço na forma de avaliação foi a definição do tamanho adequado de trecho de rio livre entre barramentos, tendo em vista que os projetos inventariados estabelecem uma seqüência de reservatórios que transformam o rio em uma cascata de lagos.

Essa política de planejamento e licenciamento decorre, essencialmente, da visão de que o licenciamento ambiental não é um produto, mas sim um processo. Um processo que deve ser planejado e otimizado com o auxílio dos sistemas de informações de suporte à decisão.

ADEQUAÇÃO DA BASE DE DADOS

Assim como observado na execução da ANÁLISE DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS E DA VIABILIDADE DE LICENCIAMENTOS DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS IJUÍ E BUTUÍ-PIRATINIM-ICAMAQUÃ (FEPAM, 2004), observou-se a grande diversidade de escalas em que são disponibilizados os dados referentes aos diversos temas abordados nesse trabalho. Essa variação de escalas temporais e espaciais

impõe limitações ao trabalho decorrentes da impossibilidade de generalização de algumas informações disponíveis em escalas pouco detalhadas.

Esta condição, típica da realidade brasileira, de carência de dados de monitoramento sistemático, dificulta a aplicação de modelos consistentes de qualidade da água que possam ser segmentados para representar toda a drenagem da bacia. Deste modo, este estudo buscou encontrar soluções criativas para selecionar variáveis indicadoras de processos relacionados com a qualidade da água que pudessem ser espacializadas para toda a área em estudo. Este tipo de abordagem, apoiada em sistemas de informações geográficas e na avaliação regional de fragilidade ambiental já tem sido utilizada em vários estudos (p.ex. GUAPYASSSÚ & HARDT, 1998; UFSM, 2002). Desta forma, os dados de monitoramentos existentes podem ser utilizados para a análise da consistência dos modelos utilizados em bases regionais.

A ênfase dos estudos de inventários em analisar as barragens propostas e não a bacia hidrográfica, de um ponto de vista ambiental, pode levar a uma hierarquização de empreendimentos considerando somente os impactos locais de cada barragem. Embora conceitualmente a Eletrobrás já reconheça a necessidade de avaliação de impactos ambientais cumulativos e sinérgicos em nível de bacia hidrográfica, as sugestões constantes no Manual de Inventários de Bacias Hidrográficas (ELETROBRÁS, 1997) não apresentam instrumentos que permitam efetivamente alcançar estes objetivos.

A solução proposta é avaliar a fragilidade ambiental, ou sua recíproca - a favorabilidade para os empreendimentos - para toda a drenagem e não somente para os trechos indicados nos inventários. Outra necessidade imposta é a avaliação da propagação dos impactos na rede hidrográfica. Uma barragem produz impactos que se propagam tanto à montante como à jusante do eixo instalado. Dados estes impactos, a CMR (2000) propôs dois critérios para avaliar os impactos em rede: a presença de ao menos um rio livre de barramentos por tipologia e uma distância mínima de rio livre entre duas barragens. Embora estes critérios já tenham sido utilizados em bases qualitativas em FEPAM (2001) e no inventário da bacia 75 (CEEE, 2000), os critérios não foram embasados em evidências técnicas preexistentes e suas conseqüências não foram avaliadas quanto a propagação de seus efeitos na rede de drenagem.

Peixes podem ser considerados indicadores consistentes para a avaliação da integridade de sistemas aquáticos e têm sido utilizados por diversos autores e agências ambientais como monitores de qualidade ambiental (KARR, 1981, 1987; HUGUENY et al., 1996; GANASAN & HUGHES, 1998; GAMMON & SIMON, 2000; SCHIEMER, 2000). Dentre as razões que qualificam esses organismos para a sua utilização em avaliações de integridade de ecossistemas aquáticos, KARR (1981) aponta as seguintes características:

1. Existência de informações sobre história de vida para a maioria das espécies.
2. As comunidades de peixes incluem um conjunto de espécies que representa uma variedade de níveis tróficos, incluindo em sua dieta alimentos disponíveis no ambiente aquático, como algas e macroinvertebrados e itens de origem terrestre, como frutos e artrópodes.

3. Sua posição no topo da cadeia alimentar de ambientes aquáticos fornece uma informação integradora das condições da bacia hidrográfica.

4. Peixes são relativamente fáceis de serem identificados, sendo possível, em alguns casos, que a triagem e a identificação possam acontecer durante a amostragem em campo.

5. A população pode compreender, mais facilmente, estados de qualidade do ambiente aquático, embasados nas condições da comunidade de peixes.

6. Tanto a perda de espécies devido a fatores agudos de impacto, quanto efeitos de estresse crônico, como a redução na produção das espécies, podem ser avaliados.

7. Os peixes estão presentes em uma grande variedade de ambientes, desde o menor curso d'água até ambientes aquáticos com elevada poluição.

Considerando os fatores apontados por KARR (1981), é preciso comentar que, devido à elevada riqueza de espécies da região Neotropical e à falta de políticas públicas que enfoquem a gestão de ecossistema, o conjunto de informações existentes sobre a história de vida das espécies é ainda relativamente pequeno. Além disso, apesar da existência de um elevado número de espécies conhecidas, existem ainda muitas não descritas pela ciência.

Por outro lado, um fator não apontado por KARR, mas que se torna relevante na análise de integridade de ecossistemas de rios, é o fato de existirem espécies que demandam amplas migrações para o sucesso de seu ciclo reprodutivo. Essa característica torna os peixes migradores os organismos que possuem maiores áreas de vida, tornando-os os animais mais sensíveis à fragmentação dos rios. Assim, a presença de populações viáveis de peixes de piracema, ou sua extinção, pode ser considerada uma variável indicadora importante na avaliação da fragmentação do ecossistema lótico. Dessa maneira, o uso de comprimentos de trechos livres de rio que tem potencialidade para sustentação de populações de peixes migradores, e a existência de conectividade com o rio principal (Uruguai) são variáveis importantes para o planejamento e avaliação prévia de impactos causados por barramentos sobre o ecossistema aquático.

Sendo assim, neste estudo foi adotada a fauna íctica como o conjunto de organismos indicadores dos efeitos resultantes das alterações ambientais da bacia hidrográfica, propagadas em rede e, em especial, a fragmentação do ecossistema aquático.

Outro aspecto introduzido foi a análise da geomorfologia da rede fluvial, efetuada com base na caracterização de aspectos da estrutura da rede, que refletem a disponibilidade de habitats. Para tal, foi avaliada a densidade de confluências, a distribuição espacial dos ângulos das confluências e o comprimento de rio entre confluências (BENDA *et al.*, 2004a, 2004b). Estas variáveis foram escolhidas para indicar possíveis modificações na dinâmica fluvial e na biodiversidade como efeito da fragmentação e alteração hidrológica causada pelas represas.

As Figuras 1 e 2 apresentam diferentes efeitos da geometria das redes e o Quadro 1 apresenta as previsões da hipótese da dinâmica de rede.

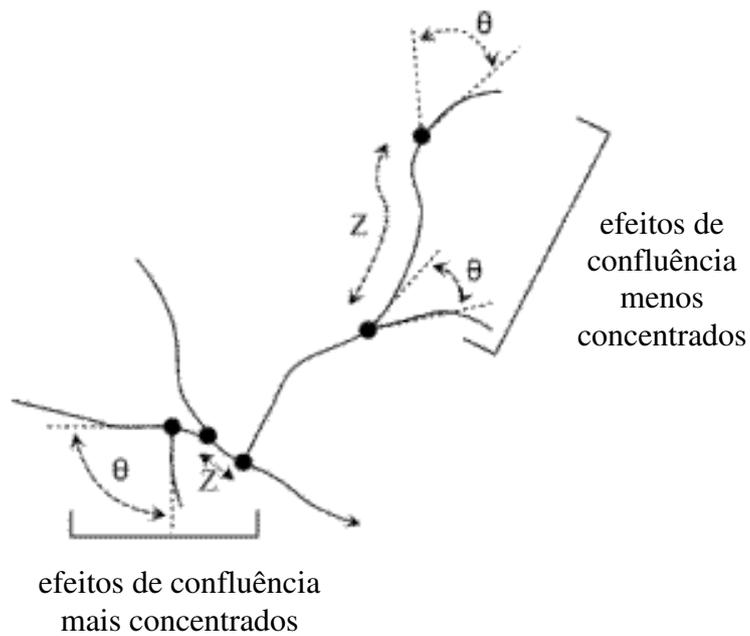


Figura 1 Os efeitos de confluência são afetados pela geometria local da rede, incluindo a seqüência de tamanho dos tributários, a distância entre suas confluências e os ângulos entre os tributários e o trecho de rio principal (BENDA *et al.*, 2004a).

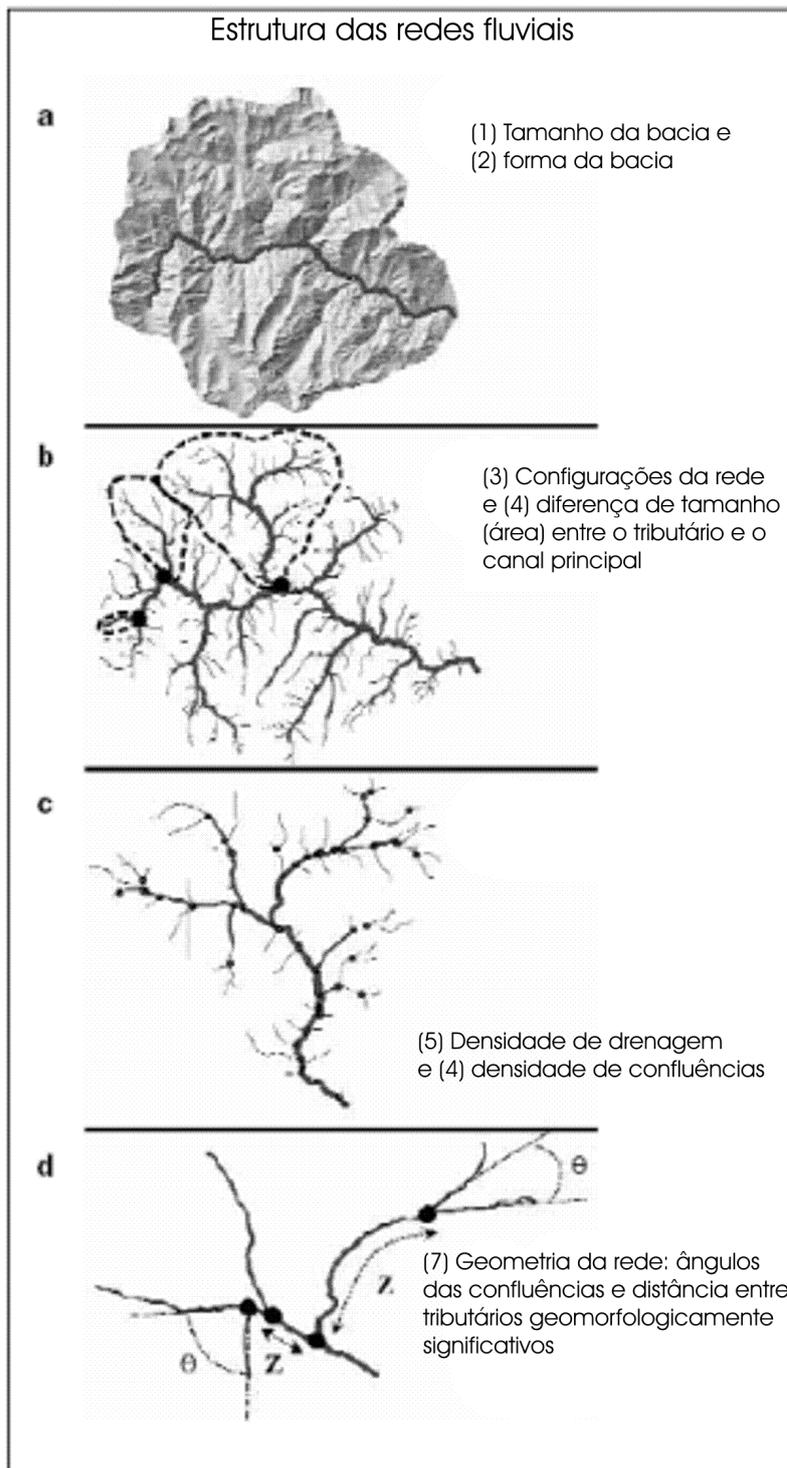


Figura 2 *al.*, 2004b).

Variáveis utilizadas para caracterização estrutural das redes de drenagem (BENDA *et*

Quadro 1. Previsões da hipótese da dinâmica de rede, segundo BENDA et al. (2004b).**Previsões relacionadas à estrutura da rede:**

- A probabilidade dos efeitos da confluência aumentam com a razão de tamanho do tributário em relação ao trecho principal.
- Bacias de drenagem em forma de coração e de pêra, contendo drenagens dendríticas, favorecem o crescimento do tamanho dos tributários à jusante e portanto o aumento dos efeitos de confluência rio abaixo, quando comparadas com bacias retangulares contendo drenagens em grade ou paralelas, que não apresentam este padrão.
- A distância de separação entre junções geomorfologicamente significantes aumenta à jusante com crescente tamanho da bacia, principalmente em redes dendríticas.
- Com o aumento do tamanho da bacia, aumentam o comprimento do canal e a área afetada por modificações geomorfológicas do vale e dos canais relacionadas com confluências individuais.
- Tributários espaçados muito proximamente renderão segmentos de vale de mais alta heterogeneidade física, comparados com segmentos de vale que não os contém.
- Bacias com maiores densidades de drenagem e de confluências terão um mais alto grau de heterogeneidade geomorfológica. Correspondentemente, bacias de alta rugosidade topográfica, em parte relacionadas com a densidade de drenagem, deverão conter um mais alto grau de heterogeneidade do rio.

Previsões relacionadas à dinâmica ou perturbações da bacia hidrográfica:

- Bacias com mais localizados suprimentos de sedimentos e seu transporte serão caracterizados por maiores efeitos de confluência.
- Perturbações canalizadas (como cheias, e suprimento acelerado de sedimentos e madeira) terão maior frequência e magnitude próximo e imediatamente à jusante das confluências, resultando em maior heterogeneidade física, incluindo a distribuição de idade das feições geomorfológicas fluviais.
- Perturbações canalizadas serão potencializadas imediatamente à montante de confluências geomorfologicamente significantes, resultando em maior heterogeneidade física, incluindo a distribuição de idade das feições geomorfológicas fluviais.
- Em bacias suficientemente grandes (cerca de 102 km²), a distribuição de idade das feições geomorfológicas fluviais (leques aluviais, terraços e planícies de inundação) serão desviadas para feições mais velhas em rios de cabeceiras e mais novas nas porções mais à jusante do rio.
- A heterogeneidade física (isto é, diversidade de formas e idades de canais, planícies de inundação, terraços e bloqueios) serão concentrados em certas partes da rede de drenagem.

Métodos

INFORMAÇÕES E MAPAS BÁSICOS

Os dados básicos utilizados neste trabalho podem ser divididos em três categorias:

- Dados bibliográficos;
- Dados cadastrais;
- Dados cartográficos.

Os dados bibliográficos foram obtidos em livros, artigos científicos, teses e dissertações, bem como em relatórios técnicos de consultoria, os quais são listados nas referências bibliográficas.

Os dados cadastrais referem-se aos bancos de dados fornecidos pela FEPAM, bem como os bancos de dados de informações disponíveis na Internet ou em meio digital, os quais são referenciados sempre que utilizados ao longo do texto (por exemplo, o banco de dados NEODAT, o banco de dados de informações municipais do IBGE, entre outros).

Os dados cartográficos referem-se às cartas topográficas em escala 1:250.000, 1:50.000, mapas temáticos obtidos junto à FEPAM em meio digital, imagens de satélite, mapas temáticos disponíveis na Internet e aqueles obtidos junto aos órgãos setoriais como o DNPM, em anexo no presente relatório.

Para fins de integração de dados em sistema de informações geográficas (SIG), os produtos foram compatibilizados com a base cartográfica em escala 1:250.000 (DSG), com datum SAD69. Desta base foi utilizada a hidrografia de referência. A rede viária foi obtida em meio digital (DAER). A malha municipal atualizada foi fornecida pela FEPAM, de acordo com a base digital 1:500.000 do IBGE atualizada pelo GEOFEPAM. As sedes municipais e localidades rurais foram obtidas das imagens de satélite em conjunto com a base 1:250.000 da DSG. A altimetria foi obtida a partir do modelo digital de elevação do Rio Grande do Sul, obtido a partir do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com célula de 90 metros e resolução vertical de um metro, disponível no Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS (http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/SRTM_BR.php).

A localização de barragens existentes foi obtida a partir dos cadastros da FEPAM e da ANEEL, de informações obtidas a campo e a partir de interpretação de composições em falsas cores de imagens do satélite CBERS2, com resolução de 20 metros.

A cobertura e uso do solo foi obtida a partir da classificação de imagens do satélite Landsat TM7 para as classes de vegetação arbórea/arbustiva com dossel contínuo, água e áreas não florestais. Dada a heterogeneidade temporal e espacial das imagens disponíveis com pouca cobertura de nuvens, somente apresentaram consistência, para este estudo, as informações referentes às manchas remanescentes de matas.

A cartografia básica foi disponibilizada para a equipe em formatos vetoriais do Autocad, do Carta Linx e do Arc View e no formato raster do IDRISI 32, de acordo com as necessidades.

ANÁLISE INTEGRADA (MULTI-CRITÉRIO)

A integração das informações contidas nos mapas síntese que representam os diferentes critérios (mapas síntese do ambiente físico, da vegetação, da fauna terrestre, da fauna aquática e do meio antrópico), associadas às informações referentes aos mapas que representam áreas de restrições absolutas, foi efetuada no IDRISI32 através do módulo de análise multi-critério (MCE: Multi-Criteria Evaluation).

Na codificação referente a este módulo, todos os mapas que representam variáveis contínuas (geo-campos) são chamados de fatores e todos os mapas que representam variáveis booleanas, isto é, que somente assumem valores zero e um, são chamados de restrições.

Para padronização das variáveis indicadoras representadas nos diferentes mapas utilizou-se o módulo Fuzzy do software de informações geográficas IDRISI32. Este módulo contém algoritmos para transformação das variáveis para uma nota padronizada. No caso utilizou-se a escala em bytes (0-255). No ANEXO 12.1 apresentam-se as transformações que podem ser utilizadas.

Os mapas restrições funcionam como máscaras que excluem da análise todas as áreas nas quais, por algum motivo, não é possível a instalação de empreendimentos hidro-energéticos. Neste trabalho foram consideradas como áreas de exclusão as definidas em lei, como as Unidades de Conservação e Terras indígenas. Nas áreas restantes, onde existe a possibilidade de instalação destes empreendimentos, os mapas fatores hierarquizam as áreas, de acordo com a média ponderada.

De acordo com a Comissão Mundial de Represas (CMR, 2000), a maior parte da polêmica contida no processo de tomada de decisões refere-se à obtenção do vetor de pesos atribuídos para os diferentes critérios na análise multi-objetivo. Nesta fase do processo existe a possibilidade de conflitos de visões de mundo ou de interesses diferenciados. Neste momento, os inúmeros métodos de atribuição de pesos disponíveis podem auxiliar os coordenadores de projetos a resolver conflitos. O Manual de Inventário da Eletrobrás (ELETROBRÁS, 1997) sugere a aplicação do Método de Análise Hierárquica proposto por SAATY (1977 apud EASTMAN, 1999), que envolve a construção de uma matriz de comparações pareadas entre todos os critérios a serem ponderados. A ponderação resultante da obtenção do autovetor de maior valor, uma vez normalizado, estabelece uma composição de pesos ótima. Quando o consenso não é possível para atribuição de comparações entre dois critérios, é sugerida a utilização dos valores médios de vários avaliadores. Este algoritmo está implementado no software livre SPRING, fornecido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dpi.inpe.br/spring/>), bem como no módulo WEIGHT do IDRISI32. Observa-se, entretanto, que os formulismos não dispensam o necessário consenso interdisciplinar. Este pode ser alcançado somente através do debate efetivo entre os diversos membros da equipe técnica e de um processo iterativo. A utilização de esquemas de objetivação baseados nestes formulismos, se não inserida dentro de um esquema iterativo que garanta a construção do consenso interdisciplinar, pode

resultar em modelos que não representam adequadamente a realidade, colocando em risco de fracasso todo o processo decisório. Isto pode ocorrer porque a solução pode preservar a otimização quantitativa, mas não a qualitativa de cada critério.

Neste estudo, o método empregado foi baseado na elaboração iterativa de modelos e construção do consenso interdisciplinar. O procedimento parte da elaboração de modelos tomando-se como ponto de partida o modelo elaborado com o vetor de pesos iguais para os fatores. Além disso, também foram elaborados modelos em que alternadamente foram atribuídos pesos maiores para os critérios bióticos, antrópicos e físicos. O produto destes modelos foi submetido à equipe técnica, para a avaliação da consistência dos mesmos, considerando a experiência da equipe, os dados de campo e as informações disponíveis. Também foram avaliadas as modificações dos resultados de acordo com a sensibilidade do modelo aos diferentes critérios. Com base nesta análise, foram propostas novas composições de pesos, os quais geraram novos modelos, em um processo iterativo que somente se encerrou com a obtenção de um vetor de pesos que fosse produto do consenso da equipe.

Neste estudo, optou-se por aumentar o número de mapas síntese de blocos temáticos em relação ao proposto por FEPAM (2004). O mapa síntese do meio físico foi dividido em meio físico terrestre e meio físico qualidade da água, englobando as variáveis indicadoras de poluição difusa. Esta divisão permitiu que a análise pudesse ser feita separadamente para os meios terrestre (principalmente relacionado ao impacto do reservatório por inundação) e meio aquático (relacionado ao ambiente de fluxo, com dinâmica de rede). As variáveis relacionadas ao mapa síntese do meio físico qualidade da água foram incluídas nas duas análises.

Outra modificação, buscando adequar ao fluxograma de decisão apresentado por FEPAM (2004), foi retirar da análise multi-critério a análise dos trechos livres de rio. Esta variável, dado o seu grande poder de indicação da fragmentação do sistema fluvial, estava muito diluída na proposta aplicada na Bacia 75. Deste modo, a atualização da abordagem proposta envolve tratar os meios terrestre e aquático separadamente, assim como a análise dos trechos livres de rios.

A Tabela 1 apresenta os pesos efetuados para os diferentes modelos de favorabilidades obtidos para os meios aquático e terrestre.

Deste modo, os índices dos meios terrestre e aquático são avaliados para o cenário atual da bacia. A análise de trechos livres de rios é efetuada para cada empreendimento, considerando-se a posição relativa e o valor do trecho antes e depois da instalação do empreendimento.

Neste trabalho, cada represa existente constitui um ponto zero de contagem dos trechos livres de rios, tomados a partir do limite à montante do reservatório.

Tabela 1 Construção dos modelos de favorabilidades

modelo	Síntese meio aquático	Meio físico qualidade da água	Meio antrópico	Meio físico terrestre	Meio biótico terrestre
0 meio aquático	0,5	0,5	-	-	-
1 meio aquático	0,75	0,25	-	-	-
2 meio aquático	0,25	0,75	-	-	-
0 meio terrestre	-	0,25	0,25	0,25	0,25
1 meio terrestre	-	0,3	0,15	0,25	0,3
2 meio terrestre	-	0,4	0,15	0,25	0,2
3 meio terrestre	-	0,4	0,2	0,25	0,15
4 meio terrestre	-	0,3	0,1	0,3	0,3

Estes modelos compõem o sistema de informações destinado a subsidiar o processo de licenciamento, cabendo à FEPAM a avaliação de qual é mais pertinente. Neste relatório, a equipe técnica recomenda o seu ponto de vista, o qual não necessariamente corresponderá ao julgamento da equipe técnica da FEPAM.

Definido pela FEPAM o modelo a ser utilizado, as opções de barramentos foram então avaliadas de acordo com este modelo, tomando-se para isto a hierarquização das fragilidades ou favorabilidades obtidas a partir da extração da fragilidade ou favorabilidade média para as áreas de influência direta dos empreendimentos ou para as áreas inundadas. Este procedimento foi efetuado através do módulo EXTRACT do IDRISI32.

Os empreendimentos que estiverem projetados em áreas excluídas (valor zero no mapa do modelo escolhido) não devem ser licenciados, por princípio. Os empreendimentos que estiverem projetados em áreas que apresentam valores não nulos deverão ser avaliados de acordo com a hierarquia produzida e com a configuração de empreendimentos que resulte em menor somatório de fragilidades ou máxima favorabilidade, considerando-se o seu efeito na fragmentação da bacia hidrográfica.

Geração de mapas-síntese por bloco temático

Os dados extraídos das diversas bases georreferenciadas foram sintetizados para expressar as favorabilidades para implantação de empreendimentos hidrelétricos, de maneira que o conjunto de variáveis fosse reduzido, facilitando a visão do conjunto das variáveis indicadoras. Este processo envolveu, por exemplo, a síntese dos mapas de habitats de todas as espécies de interesse especial de peixes, que foram mapeadas em um único mapa.

Além desta síntese processada dentro de cada disciplina, que resultou em 27 mapas, dos quais 24 representam geo-campos reclassificados para escala

de bytes e 3 representam mapas de restrições, foi efetuada uma nova síntese por blocos temáticos, efetuada através de uma combinação linear ponderada no módulo MCE do IDRISI32. A Tabela 2 apresenta a relação entre os blocos temáticos e os mapas que os originaram com as devidas ponderações dentro de cada bloco (os pesos dentro de cada bloco devem somar 1,0). Nesta tabela, apresentam-se os modelos onde todas as variáveis foram analisadas em conjunto, não considerando a separação de meios terrestre e aquático.

Tabela 2 Blocos Temáticos

tipo de mapas	bloco	sub-bloco	modelo 0	modelo 1	modelo 2	modelo 3	modelo 4	mapas	pesos para mapa síntese do bloco	
fatores	meio antrópico		0.2	0.05	0.05	0.1	0.1	marcos de fronteira	0.03	
								rodovias	0.07	
								áreas urbanas	0.1	
								rotas de tropeiros	0.4	
								índice fundiário	0.4	
	meio físico	terrestre		0.2	0.15	0.15	0.15	0.2	declividades	0.3
									geomorfologia	0.2
									geologia	0.15
									solos	0.35
		qualidade da água		0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	dbo esgotos	0.2
									dbo industria	0.1
									dbo rebanhos	0.3
									área agrícola	0.3
									áreas mineração	0.05
									carga metal	0.05
		meio aquático		0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	fauna íctica	0.25
									densidade de confluências	0.25
									ângulo de confluências	0.25
									distância entre tributários	0.15
									endemismo	0.1
meio biótico terrestre		0.2	0.2	0.2	0.15	0.2	vegetação	0.3		
							áreas de alto valor para a biodiversidade	0.1		
							fauna terrestre	0.4		
							RBMA	0.2		
restrições								áreas indígenas	-	
								Unidades de Conservação	-	
								Zona Núcleo da RBMA	-	

A Tabela 3 apresenta os modelos analisados separadamente para o meio terrestre.

Tabela 3 Blocos Temáticos - Meio Terrestre

tipo de mapas	bloco	sub-bloco	modelo 0	modelo 1	modelo 2	modelo 3	modelo 4	mapas	pesos para mapa síntese do bloco	
fatores	meio antrópico		0.25	0.15	0.15	0.2	0.1	marcos de fronteira	0.03	
								rodovias	0.07	
								áreas urbanas	0.1	
								rotas de tropeiros	0.4	
								índice fundiário	0.4	
	meio físico	terrestre		0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	declividades	0.3
									geomorfologia	0.2
									geologia	0.15
									solos	0.35
		qualidade da água		0.25	0.3	0.4	0.4	0.3	dbo esgotos	0.2
									dbo industria	0.1
									dbo rebanhos	0.3
									área agrícola	0.3
									áreas mineração	0.05
									carga metal	0.05
	meio biótico terrestre		0.25	0.3	0.2	0.15	0.3	vegetação	0.3	
								áreas de alto valor para a biodiversidade	0.1	
								fauna terrestre	0.4	
								RBMA	0.2	
	restrições								áreas indígenas	-
Unidades de Conservação									-	
Zona Núcleo da RBMA									-	

Finalmente, a Tabela 4 apresenta os modelos rodados separadamente para o meio aquático.

Tabela 4 Blocos Temáticos - Meio Aquático

tipo de mapas	bloco	sub-bloco	modelo 0	modelo 1	modelo 2	mapas	pesos para mapa síntese do bloco	
fatores	meio físico	qualidade da água	0.5	0.25	0.75	dbo esgotos	0.2	
						dbo industria	0.1	
						dbo rebanhos	0.3	
						área agrícola	0.3	
						áreas mineração	0.05	
						carga metal	0.05	
	meio aquático			0.5	0.75	0.25	fauna íctica	0.25
							densidade de confluências	0.25
							ângulo de confluências	0.25
							distância entre tributários	0.15
							endemismo	0.1
restrições						áreas indígenas	-	
						Unidades de Conservação	-	
						Zona Núcleo da RBMA	-	

CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO ANTRÓPICO

As barragens, para a geração de energia ou para outras finalidades, são empreendimentos de infra-estrutura que se configuram em importante suporte para os processos de desenvolvimento sócio-econômico. Em consequência, independente do agente investidor, estes assumem a condição de empreendimentos de interesse público, vinculados aos processos de organização e planejamento, estando inseridos nos processos de desenvolvimento de âmbito nacional, regional e local. Portanto, a justificativa

para a construção de barragens é dada, ou deveria sê-lo, por estudos e projetos de interesse coletivo. Os inventários do potencial energético dos rios da bacia dos rios Apuaê-Inhandava, objetos da análise deste estudo, inserem-se no âmbito da política nacional de geração de energia, sendo parte importante do planejamento energético estratégico do país. Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o mercado de energia cresce a uma taxa de 4,5% ao ano, devendo superar 100 mil MW em 2008 (<http://www.aneel.gov.br/39.htm>). Portanto, em termos globais e estritamente sócio-econômicos, o uso do potencial energético dos rios avaliados ancora-se na necessária expansão da matriz energética brasileira que, em última análise, visa garantir a oferta de energia para a manutenção e ampliação do processo de desenvolvimento nacional e, conseqüentemente, regional.

A principal característica sócio-ambiental dos projetos de barramento para geração de energia elétrica relaciona-se à dicotomia entre os benefícios globais gerados pela disponibilidade de energia e os impactos ambientais localizados. Enquanto o benefício, ou a energia elétrica abrange o território regional ou nacional, os impactos negativos atingem as populações locais e microrregionais. Os projetos voltados ao atendimento de demandas e necessidades energéticas microrregionais ou locais reproduzem essa dicotomia, em uma escala de valoração e percepção social menor. Portanto, mesmo diante de aspectos positivos (abastecimento, contenção de cheias, etc.) para as sociedades locais (município) ou microrregionais (conjunto pequeno de municípios) ainda assim ocorrem impactos negativos pontuais e localizados, ou seja, o que muda é a escala de análise.

O resultado empírico desse descompasso entre o local de produção da energia e o local de consumo resulta na produção de efeitos sócio-espaciais diferenciados e em contradições entre o direito à qualidade ambiental e a necessidade estrutural de acesso à energia, ambos fatores condicionantes do bem estar individual e social. O desafio colocado para o setor de produção de energia e, sobretudo, para as instituições responsáveis pelo licenciamento ambiental dos empreendimentos, encontra-se no equacionamento desses aspectos que, em última análise, possuem um caráter público e estão inscritos no campo dos direitos sociais e das necessidades fundamentais.

A experiência e o acúmulo de estudos de caso demonstram que na construção de barramentos, entre um conjunto de impactos negativos ao sistema sócio-espacial local e microrregional, os principais impactos relacionam-se com a necessidade de remoção populacional e a perda de patrimônio ambiental e cultural (paisagens, sítios arqueológicos e obras de arte com valor histórico). Entre os impactos positivos destacam-se os ganhos relativos a infra-estrutura básica necessária ao processo de desenvolvimento. Entretanto, o conhecimento e a avaliação dos impactos resultam dos Estudos de Impacto Ambiental e dos respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), realizados caso a caso. Nesses estudos é possível, através da mediação teórica, considerar a singularidade do empreendimento e da interação desse com a singular realidade local.

Em estudos de pré-avaliação, o procedimento da escolha de variáveis pauta-se pelo caráter universal da mesma, isto é, independente das singularidades locais. O efeito esperado sobre o fator, indicado pela variável, em tese, é o mesmo em todos os contextos sócio-espaciais.

Para a definição das variáveis sócio-espaciais utilizadas nesse trabalho, além dos aspectos citados, foi considerado o fato de que as mesmas necessitam ser espacializáveis. A partir da utilização das ferramentas de computação disponíveis, sobretudo os sistemas de informações geográficas (SIG), é possível espacializar todo e qualquer dado estatístico. Entretanto, a partir do levantamento e análise crítica das bases de dados sócio-econômicos disponíveis (FEE, IBGE, INCRA, CEEE, Base de Dados Municipais, Cartografia Oficial), verificou-se que, em função da escala de trabalho, uma série de indicadores largamente utilizados nos estudos de impacto ambiental não são adequados aos objetivos desse trabalho. Sendo assim, optou-se pela utilização de variáveis do meio antrópico sujeitas a uma quantificação e identificação objetiva, sem a necessidade da mediação teórica. Esses indicadores estão inscritos, principalmente, no uso e ocupação do solo, que nada mais são do que o reflexo da ação e organização humana necessária para o uso dos recursos naturais disponíveis no contexto da unidade de análise, neste caso, o conjunto de municípios inseridos na bacia hidrográfica. Para os objetivos deste trabalho foram selecionados onze fatores sócio-econômicos adequados à construção de critérios antrópicos indicadores de fragilidades ambientais no contexto da bacia hidrográfica. Entretanto, em decorrência da escala de trabalho adotada (1:250.000), somente sete foram utilizados. A seguir apresenta-se uma breve descrição do tipo de informação que os critérios selecionados possibilitam.

VARIÁVEIS SELECIONADAS E UTILIZADAS

Função de marco territorial dos rios

O pressuposto para utilização desse critério é dado pelo fato de que quanto maior o número de unidades territoriais impactadas pelo barramento, maiores são as possibilidades de conflitos de interesse sobre os usos da água e também mais significativos são os impactos sobre a gestão territorial. Na Tabela 5 estão apresentadas as pontuações atribuídas a cada um desses critérios.

Tabela 5 Pontuação para os rios que estabelecem marcos de fronteiras: municipais, estaduais ou internacional.

Critério	Pontuação	Pontuação em bytes (0-255)
Atinge um município	0	255
Atinge dois municípios	2	204
Atinge dois estados	7	77
Atinge dois países (não tem na bacia)	10	1

Infra-estrutura básica de transporte

As modificações decorrentes do enchimento do lago sobre equipamentos de infra-estrutura de transporte, neste caso exclusivamente sobre estradas, e, sobretudo, em cursos de navegação, implica em impactos negativos que agem de forma cumulativa sobre os arranjos sócio-espaciais e nos fluxos e trocas econômicas em âmbito local, regional ou internacional. Uma via secundária para trânsito local não apresenta as mesmas implicações em impactos como

uma via com função de escoamento regional ou internacional. Por isso, são aplicadas pontuações diferentes conforme a função econômica da estrada. Na Tabela 6, estão apresentadas as pontuações referentes a cada um desses critérios.

Tabela 6 Pontuação para as implicações diretas em vias rodoviárias.

Critério	Pontuação	Pontuação em bytes (0-255)
Rodovias municipais	2	204
Rodovias de ligação regional	5	128
Rodovia internacional	10	0

Proximidade de áreas urbanas ou urbanizadas (povoados)

A proximidade entre barragens e áreas urbanas, sobretudo as de grande porte, não são tecnicamente recomendadas, a menos que a função da mesma seja para proteção de cheias. Dentre um conjunto de fatores, aparecem como os mais importantes: os riscos de acidentes; a pressão antrópica para ocupação irregular das áreas de preservação permanente do lago e a imposição de limitações ao ordenamento urbano. A alteração do regime hídrico também implica em problemas para as áreas urbanas: menor capacidade de diluição de esgotos e efluentes industriais, disseminação de zoonoses (leptospirose, por exemplo) e alteração nos poços tubulares (artesianos).

Assim como para os outros indicadores, para esse, também, foram estabelecidas pontuações diferentes determinadas pela distância transversal ao perímetro das áreas urbanas, no caso de áreas urbanas poligonizadas, e um raio, no caso de áreas urbanas caracterizadas como ponto. Quanto mais próximo do centro urbano, maior a possibilidade de interferência (impactos). Na Tabela 7, estão apresentadas as pontuações referentes a cada um desses critérios.

Tabela 7 Pontuação para proximidade de áreas urbanas.

Critério	Pontuação	Pontuação em bytes (0-255)
0-500m	10	0
501-1000m	8	51
1001-1500m	5	127
1501-2000m	2	204
>2000m	0	255

Rota dos tropeiros

A rota dos tropeiros representa um recurso turístico e histórico que possui grande influência na origem do povoamento da bacia hidrográfica do Apuaê-Inhandava. Os estudos para a investigação arqueológica destes caminhos somente recentemente foram iniciados, em especial do Registro de Santa Vitória, situado na divisa com o Estado de Santa Catarina, às margens do rio dos Touros, junto à confluência com o rio Pelotas, no município de Bom Jesus (Oliveira, 1999). Os trechos das rotas de tropeiros situadas dentro da bacia

foram resgatados conforme descrito em Santos *et al.* (1995), Flores (1998), Brum (1999) e Rodrigues *et al.* (2000).

Considerando-se que foram concedidas sesmarias para tropeiros ao longo das rotas, estipulou-se que em uma faixa de uma légua de sesmaria (6.600 m; Medidas, 2005) para cada lado estabeleceram-se condições progressivamente mais restritivas com a proximidade da rota, indo desde a restrição total, da rota até um quarto de légua (1.650 m), até valores menos restritivos próximos a uma légua. Este raciocínio assume o pressuposto de que a probabilidade de ocorrência de sítios importantes está diretamente relacionada com a distância da rota. A Tabela 8 a seguir apresenta os valores calculados com base no fatiamento do mapa de distâncias a partir das rotas de tropeiros.

Tabela 8 Pontuação para proximidade das rotas de tropeiros

Distância da rota de tropeiros (m)	Pontuação em bytes (0-255)
< 1.650	0
1.651 – 3.300	50
3.301 – 6.600	150
> 6.601	255

Pressão fundiária sobre os recursos naturais

Entende-se que, quanto maior o número de propriedades e população atingidas, maior o impacto sobre a organização comunitária e para os núcleos familiares. Esse é, seguramente, um dos impactos negativos resultante da construção de barragens que mais significativamente atua sobre o meio antrópico.

Na escala adotada para regionalização de impactos e hierarquização de alternativas, a probabilidade de impactar propriedades e populações rurais foi avaliada a partir da construção do Índice de Pressão Fundiária sobre os Recursos Naturais. Este índice foi composto a partir das seguintes informações: a estrutura fundiária e o módulo fiscal do INCRA. A estrutura fundiária foi avaliada com base nos dados do IBGE (SIDRA). Em casos em que o município avaliado foi emancipado posteriormente à obtenção do dado, foram utilizados os dados do município de origem.

Considerou-se que a estrutura fundiária expressa melhor a população permanente na área rural em relação aos dados de população, uma vez que o censo inclui a população temporária na totalização da população rural. O módulo fiscal foi utilizado para relativizar o impacto da fragmentação fundiária sobre os recursos naturais. Considerou-se que o módulo fiscal expressa o tamanho de propriedade que garante a exploração sustentável social e ambientalmente. Dessa forma, se uma propriedade é menor que o módulo fiscal, estará pressionando os recursos acima da linha de sustentabilidade, se for maior, estará subtilizando os recursos disponíveis. Uma estrutura fundiária concentrada próximo ao tamanho do módulo estará dentro de padrões de sustentabilidade.

O Índice de Pressão Fundiária sobre os Recursos Naturais (IPFRN) foi calculado para cada município da seguinte forma:

1. Identificou-se qual a classe de tamanho de propriedade que contém o módulo fiscal (MOD) nos dados de área total por tamanho de propriedade.
2. Para cada município, somou-se a área de todas as classes de tamanho menores que a classe que contém o módulo fiscal (<MOD).
3. Procedeu-se de modo similar para as classes maiores (>MOD) que a classe que contém o módulo fiscal.
4. Obteve-se a área rural total do município somando-se a área de todas as classes.
5. Calcularam-se os valores relativos de <MOD, MOD e >MOD, dividindo-os pela área rural total, obtendo-se P<MOD, P=MOD e P>MOD.
6. Estabeleceram-se pesos para a proporção de área dos municípios contidas em P<MOD, P=MOD e P>MOD. Os pesos foram:

P<MOD	P=MOD	P>MOD
0,6	0,3	0,1

Assim,

$$\text{IPFRN} = (\text{P}<\text{MOD} * 0,6) + (\text{P}=\text{MOD} * 0,3) + (\text{P}>\text{MOD} * 0,1)$$

As Tabelas 9 e 10 apresentam o cálculo do IPFRN para o Município de Ajuricaba tomado como exemplo.

O valor de IPFRN é diretamente proporcional à noção de fragilidade. Para expressar favorabilidade para instalação de empreendimentos ele deve ser transformado de forma inversamente proporcional de modo que os valores mais altos expressem os melhores locais para barramentos. Este procedimento foi efetuado no módulo FUZZY, incluindo-se o reescalonamento para escala de bytes (0-255).

Interação com populações e terras indígenas e quilombos

O uso desse indicador aponta para incompatibilidades legais e para geração de conflitos. Ao contrário dos outros critérios esse fator indica uma restrição absoluta que foi expresso pela produção de um mapa booleano.

Unidades de Conservação

As unidades de conservação, em decorrência da legislação, tornam-se restritivas, pois a construção de barragens ou seu impacto direto sobre essas áreas não é permitida. Assim, como no critério anterior, também foi produzido um mapa booleano para esse critério.

Tabela 9 Exemplo de cálculo da Proporção da área rural do Município de Ajuricaba (Bacia do rio Ijuí) na classe de tamanho de propriedades rurais.

Área em hectares	Área total do município na classe de tamanho de propriedades rurais (hectares)	Proporção da área rural do município na classe de tamanho de propriedades rurais
< 1	5,89	0,000117
1< área <2	29,19	0,000581
2≤ área <5	380,582	0,007576
5≤ área <10	1770,822	0,035252
10≤ área <20	6288,575	0,125189
20≤ área <50	15659,27	0,311735
50≤ área <100	11562,01	0,230169
100≤ área <200	6297	0,125357
200≤ área <500	5047,3	0,100478
500≤ área <1000	3192	0,063544
1000≤ área <2000	0	0
2000≤ área <5000	0	0
5000≤ área <10000	0	0
10000≤ área <100000	0	0
≤ 100000	0	0
Sem declaração	0	0
Área total rural do município	50232,64	1,0

Fonte: Censo Agropecuário, 1996 (IBGE, 1998) e INCRA.

Tabela 10 Exemplo de cálculo do IPFRN para o Município de Ajuricaba (bacia do rio Ijuí).

Modulo Fiscal	Proporção da área total rural do Município em classes menores do que o modulo (p<mod)	Proporção da área total rural do Município na classe que contém o modulo (p=mod)	Proporção da área total rural do Município em classes maiores do que o modulo (p>mod)	IPFRN = (P<MOD * 0,6) + (P=MOD * 0,3) + (P>MOD * 0,1)
20 hectares	0,169	0,312	0,520	0,247

CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO BIÓTICO TERRESTRE

Vegetação

O levantamento das espécies arbóreas ocorrentes na bacia do Apuaê-Inhandava foi realizado através de consulta bibliográfica (FEPAM, 2004) e visita a alguns rios.

Da lista geral das espécies arbóreas, foram destacadas aquelas consideradas ameaçadas de extinção, de acordo com a lista divulgada pela SEMA/RS (Rio

Grande do Sul, 2003). A distribuição geográfica das espécies arbóreas ameaçadas foi obtida através da avaliação da potencialidade de ocorrência a partir das seguintes situações:

- Grupo 1 - Espécies da Floresta Ombrófila Mista (Mata com Araucária, acima da cota 800 metros);
- Grupo 2 - Espécies da Floresta Estacional Decidual (Mata do Alto Uruguai, cota inferior a 500 metros);
- Grupo 3 - Espécies ocorrentes na zona de contato entre as duas formações vegetais anteriores (altitudes entre 500 e 800 metros);

Os dados de ocorrência foram obtidos a partir da análise da seguinte bibliografia: BACKES & NARDINO (1998), BACKES & IRGANG (2002), BRACK. et al. (1985), KLEIN (1972), RAMBO (1956), REITZ et al. (1983).

A espacialização das espécies dos três grupos foi obtida cruzando-se as informações altitudinais, obtidas do modelo digital de elevação do SRTM, com o plano de informações de cobertura florestal obtido por classificação de imagens dos satélites Landsat TM7 e CBERS2. Desse modo, obtiveram-se três mapas de distribuição, um para cada grupo. Os mapas das distribuições de cada espécie foram definidos a partir desses quatro mapas iniciais.

A pontuação das espécies ameaçadas, para fins de análise multi-critério, foi baseada nos critérios de endemismo e status de conservação (restrito à categoria vulnerável, única encontrada para as espécies constantes da lista elaborada para este estudo). Não foi encontrada nenhuma espécie que fosse tanto endêmica quanto vulnerável. Deste modo, considerando-se a avaliação de que o endemismo é mais importante que a vulnerabilidade para os fins deste estudo, o grupo decidiu atribuir peso 0,6 para endemismo e 0,4 para vulnerabilidade. As Tabelas 11 e 12 apresentam as notas para cada um dos critérios.

Tabela 11 Pontuação de acordo com o endemismo das espécies arbóreas ameaçadas de extinção.

Critério	valor
Espécie endêmica	6
Espécie não endêmica	0

Tabela 12 Pontuação de acordo com a vulnerabilidade das espécies arbóreas ameaçadas de extinção.

Critério	valor
Espécie vulnerável	4
Espécie não listada como ameaçada	0

A partir da definição dos pesos, foi atribuída a nota respectiva de cada espécie, através da reclassificação em sistema de informações geográficas, para cada um dos mapas dos grupos de distribuição geográfica (Tabela 13).

Tabela 13 Pontuação das espécies arbóreas e sua transformada em escala de bytes (0-255).

	Não presente na lista de espécies ameaçadas (0)	Vulnerável à extinção (4)
Espécie não endêmica (0)	0 (255)	4 (153)
Espécie endêmica (6)	6 (102)	10 (0)

Dessa forma, obtiveram-se os mapas de distribuição das espécies arbóreas ameaçadas ponderadas pelo seu valor conservativo. A média ponderada dos mapas por espécies aproxima o valor conservativo médio potencial dos habitats florestais na área de estudo.

Áreas de alto valor para a biodiversidade

As áreas de alto valor para a biodiversidade foram avaliadas conforme MMA (2004). Classificam-se em áreas de valor extremamente alto, muito alto e alto. As áreas situadas fora dos polígonos receberam a máxima favorabilidade. A Tabela 14 apresenta os valores atribuídos para as zonas encontradas na área de estudo.

Tabela 14 Pontuação das zonas de valor para a biodiversidade em escala de bytes (0-255).

Zona	<i>favorabilidade</i>
Extremamente alto valor	10
Muito alto valor	50
Alto valor	100
Zona não mapeada	255

Fauna terrestre

A abordagem metodológica empregada foi a descrita em FEPAM (2004). A bibliografia empregada no reconhecimento e considerações sobre a distribuição geográfica e história natural das espécies da fauna foi a seguinte:

- Anfíbios: Braun & Braun (1980) e HADDAD & ABE (1999);
- Répteis: LEMA (1989, 1994), LEMA & FERREIRA (1990), PETERS & DONOSO-BARROS (1970), PETERS & OREJAS-MIRANDA (1970), OLIVEIRA & DI-BERNARDO (1996), MORATO (1995) e DI-BERNARDO (1998);
- Aves: BELTON (1994), BENCKE (2001), BENCKE & KINDEL (1999), BENCKE et al. (2000), COLLAR et al. (1994) e SICK (1997);
- Mamíferos: EISENBERG & REDFORD (1999 a, b).

As áreas de distribuição foram valoradas a partir do arbitramento de valores com relação a cada espécie, considerando dois fatores ecológicos: a necessidade de habitat e a vulnerabilidade. A necessidade de habitat refere-se ao tipo de ambiente utilizado pelos animais e a maior ou menor adaptabilidade a variações na qualidade desses. Como a região de estudo apresenta um grau

acentuado de substituição de florestas por áreas abertas, aquelas espécies de hábitos estritamente florestais receberam a maior pontuação, enquanto que outras que ocorrem em áreas abertas e conseguem manter-se mesmo em zonas de pastagens e culturas receberam a menor pontuação. A vulnerabilidade foi definida de acordo com a Lista Oficial de Espécies Ameaçadas, que as classifica em "vulneráveis", "em perigo" ou "criticamente em perigo". As Tabelas 15 e 16, apresentadas abaixo, apresentam os valores adotados de acordo com cada critério estabelecido.

Tabela 15 Pontuação de acordo com a necessidade de hábitat (fauna terrestre).

Necessidade de hábitat	valor
Hábito estritamente florestal, com grandes áreas de uso.	10
Hábito florestal, habitando pequenos remanescentes.	7
Pouca exigência em termos de hábitat, mas com grande área de uso.	5
Espécie com grande capacidade de adaptação e plasticidade.	2

Tabela 16 Pontuação de acordo com vulnerabilidade da espécie (status de conservação - fauna terrestre).

Vulnerabilidade	valor
Criticamente ameaçada de extinção	10
Em perigo de extinção	7
Vulnerável à extinção	2

A partir dos dois valores foi obtida a média aritmética, que passou a ser o valor de conservação de cada espécie, sendo inserido no programa gerador dos mapas temáticos. O somatório dos valores de cada polígono de uma espécie resultou então na valoração de cada ponto da área de estudo, definindo de uma forma comparativa aqueles pontos em que a ocorrência de espécies de interesse é mais importante. A Tabela 17 apresenta o esquema de pontuação já em escala de bytes.

Tabela 17 Esquema de pontuação do hábitat e do status de conservação das espécies da fauna terrestre e sua transformada em escala de bytes (0-255).

Necessidade de hábitat	Status de conservação		
	Criticamente ameaçada de extinção (10)	Em perigo de extinção (7)	Vulnerável à extinção (2)
Hábito estritamente florestal, com grandes áreas de uso (10)	10 (0)	8,5 (38)	6 (102)
Hábito florestal, habitando pequenos remanescentes (7)	8,5 (38)	7 (77)	4,5 (140)
Pouca exigência em termos de hábitat, mas com grande área de uso (5)	7,5 (64)	6 (102)	3,5 (166)
Espécie com grande capacidade de adaptação e plasticidade (2)	6 (102)	4,5 (140)	2 (204)

Reserva da Biosfera da Mata Atlântica

As classes da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) foram divididas como fator e restrição. Incluem-se nas áreas de restrição (exclusão booleana) a Zona Núcleo e as Reservas Indígenas. Como fatores foram incluídas as Zonas Tampão e de Transição. Os limites foram fornecidos pelo GEOFEPAM. A Tabela 18 apresenta a pontuação em escala de favorabilidades.

Tabela 18 Pontuação das zonas da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica em escala de bytes (0-255).

Zona	favorabilidade
Núcleo e Reservas Indígenas	Restrição
Tampão	50
Transição	100
Zona não mapeada	255

CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO BIÓTICO AQUÁTICO

Diagnóstico da riqueza de espécies de peixes

O conjunto de espécies que ocorre na área de estudo foi inventariado a partir dos dados disponíveis na literatura científica, nos relatórios técnicos apresentados à FEPAM e relacionados a empreendimentos localizados na Região Hidrográfica dos rio Apuaê, Inhandava, Pelotas e Uruguai e através da pesquisa na base de dados disponibilizada pelo programa Inter-Institutional Database of Fish Biodiversity in the Neotropics (NEODAT; <http://www.neodat.org>). O levantamento foi procedido nas bases disponíveis em 2005.

Após o levantamento de todos os nomes de espécies citadas para a região, foi realizado um levantamento dos nomes válidos, não válidos e sinônimas para a finalização de uma lista atualizada das espécies válidas com ocorrência registrada na área em análise (Reis et al., 2003).

Avaliação da vulnerabilidade das espécies

A vulnerabilidade das espécies de peixes foi avaliada de acordo com um conjunto de critérios previamente estabelecidos, quais sejam, endemismo, status de conservação, hábito de migração e sensibilidade.

As espécies endêmicas foram pontuadas de acordo com a sua distribuição na bacia do Uruguai. Espécies cuja distribuição conhecida restringe-se aos trechos Médio ou Alto Uruguai receberam 10 pontos. Espécies endêmicas da bacia do Uruguai, mas que possuem ampla distribuição na bacia receberam 5 pontos.

Para o critério "status de conservação", utilizou-se o enquadramento das espécies de peixes que constam no Dec. Estadual 41.672/2002. As espécies

de peixes da área de estudo enquadram-se em duas categorias: Criticamente em Perigo, para a qual foram atribuídos 10 pontos, e Vulnerável, que por sua vez recebe 5 pontos.

Quanto ao critério "hábito de migração", as espécies foram enquadradas em grandes e pequenas migradoras, de acordo com as distâncias percorridas por cada uma delas em sua migração reprodutiva. Essa classificação foi baseada em informações disponíveis na literatura sobre o comportamento reprodutivo das espécies (VAZZOLER, 1996; CEMIG/CETEC, 2000; NAKATANI et al., 2001; PAIVA et al., 2002) e através da discussão com especialistas.

Por fim, o critério "sensibilidade" foi criado para enquadrar espécies cuja sensibilidade elevada a alterações do habitat é conhecida. Como no caso anterior, as espécies foram enquadradas nesse critério com base em informações disponíveis na literatura e através da discussão com especialistas.

A matriz de vulnerabilidade, gerada a partir desses quatro critérios, pode ser observada na Tabela 19. A escala de pontos adotada varia de 0 (espécie não enquadrada no critério ou para a qual não existe informação disponível) a 10 (espécie mais sensível de acordo com o critério analisado).

Ao final da análise uma espécie maximamente vulnerável obteria 40 pontos. Para a manutenção da escala, os valores finais foram divididos pelo número de critérios a fim de manter-se a amplitude de variação da escala, como demonstra a fórmula:

$$V_s = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = Y/4$$

onde:

V_s - pontuação atribuída à vulnerabilidade da espécie em análise

C - Pontos obtidos de acordo com o critério de análise

Y - Produto da soma de pontos

Tabela 19 Matriz de avaliação da vulnerabilidade das espécies de peixes da Bacia 75 e Alto Uruguai.

CRITÉRIOS	PONTOS
ENDEMISMO	
- ALTO / MÉDIO URUGUAI	10
- RIO URUGUAI	5
STATUS DE CONSERVAÇÃO	
- CRITICAMENTE EM PERIGO	10
- VULNERÁVEL	5
HÁBITO MIGRADOR	
- GRANDE	10
- PEQUENO	5
ESPÉCIE SENSÍVEL	10

Mapeamento das espécies vulneráveis na bacia

Para todas as espécies consideradas vulneráveis pela análise empregada, foi feito o levantamento de sua distribuição na área de interesse. Devido à diversidade de fontes de informação utilizadas e aos diversos objetivos que nortearam sua geração, os dados foram hierarquizados quanto à sua confiabilidade. De acordo com as diferentes fontes de informação consideradas no mapeamento das espécies, foram atribuídos pontos para diferenciar o grau de confiabilidade da informação, como demonstrado na Tabela 20.

Foram considerados como sendo alta confiabilidade (valor 4) os dados obtidos pela pesquisa na base de dados NEODAT III em que são apresentados os registros de animais tombados em coleções científicas de todo o mundo. Para a pesquisa na base de dados foram utilizadas como palavras chave:

- Country = Brasil; State = Rio Grande do Sul; Drainage = Uruguay
- Country = Brasil; State = Rio Grande do Sul; Drainage = Uruguay; County = Nome do município
- Country = Brasil; State = Rio Grande do Sul; Drainage = Uruguay; Genus = Gênero & Species = Espécie

Os dados obtidos em literatura científica foram tratados da mesma forma que os dados da base NEODAT, e as principais fontes utilizadas foram BERTOLETTI et al. (1990), LUCENA & KULLANDER (1992), BUCKUP & REIS (1997), REIS & SCHAEFER (1998), REIS & PEREIRA (2000), BERTACO & MALABARBA (2001) CÂMARA & HAHN (2002) e PEREIRA & REIS (2002).

Foram considerados como menos confiáveis (valor 3) os dados apresentados em estudos de impacto de empreendimentos hidrelétricos e em relatórios de monitoramento ou diagnósticos apresentados pelos empreendedores. Essa classificação foi assim definida devido à falta de possibilidade de confirmação da informação, já que em sua maioria os consultores não tombam as amostras em coleções científicas.

Devido à escassez de informações sobre a distribuição da ictiofauna, foram também considerados os relatos ou informações orais apresentadas em relatórios técnicos ou ainda aquelas obtidas durante a visita a campo. Essas informações foram tratadas como complementares e receberam menor valor de confiança (valor 2). Pode ser acrescentado ainda que, via de regra, esses registros apontam a ocorrência de espécies de fácil identificação pela comunidade, normalmente relacionados à espécies de importância para a pesca.

Por fim, a partir dos dados pontuais de ocorrência, foram feitas extrapolações das distribuições das espécies. Essas extrapolações pretendem identificar as áreas potenciais de ocorrência de espécies registradas na bacia. Devido às particularidades conhecidas de cada espécie, os critérios de extrapolação foram adequados individualmente. Dessa forma, espécies endêmicas do médio ou alto rio Uruguai tiveram seus dados extrapolados apenas em sua zona de endemismo.

Espécies de ampla distribuição na bacia, como os grandes migradores, tiveram os dados extrapolados para toda a área de estudo, sendo o critério determinante para a definição de sua potencial ocorrência em um rio a menor

ordem (sensu STHRALER, 1952) para a qual teve sua ocorrência positivamente registrada.

Tabela 20 Pontuação atribuída as diferentes fontes de informação que subsidiaram o mapeamento das espécies de peixes.

FONTE	PONTOS
BASE NEODAT Project	4
PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E RELATÓRIOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS	
DIAGNÓSTICOS E RELATÓRIOS ENTREGUES À FEPAM PELOS EMPREENDEDORES NA ÁREA ANALISADA	3
RELATOS	2
EXTRAPOLAÇÃO	1
NÃO REGISTRADO	0

A partir do mapeamento da distribuição de cada espécie vulnerável e, de acordo com a fonte de informação utilizada no mapeamento, os trechos do rio passaram a ser pontuados.

Os pontos foram atribuídos aos trechos de acordo com a fórmula:

$$V_t = V_s \times F_i$$

onde:

V_t - valor atribuído ao trecho de rio

V_s - vulnerabilidade atribuída à espécie

F_i - pontuação atribuída à fonte de informação

Após o processamento da relação entre a vulnerabilidade da espécie e da fonte de informação responsável por sua espacialização os valores finais foram escalonados em bytes.

Vulnerabilidade das zonas de endemismo do rio Uruguai

De acordo com FEPAM (2004), devido à falta de estudos sistematizados na região sob análise e ao elevado número de espécies endêmicas conhecidas para a bacia do Uruguai, foi adotada uma classificação do rio de acordo com o seu potencial para conter espécies endêmicas. Essa classificação foi gerada a partir do conhecimento sobre a ocorrência de espécies endêmicas em cada zona.

A bacia do Apuaê-Inhandava está situada na área de maior probabilidade de endemismo do Alto Uruguai. Deste modo, esta probabilidade foi indicada pela composição da vulnerabilidade da zona de endemismo do Alto Uruguai com os valores da ordem dos rios. A ordenação dos trechos de rio seguiu o método proposto por STHRALER (1952) e os pontos atribuídos a cada classe podem ser observados na Tabela 21.

Tabela 21 Pontuação atribuída às ordens de rio da bacia do Uruguai.

ORDEM	PONTOS
1 ^a	5
2 ^a	3
3 ^a	1
4 ^a	1
5 ^a	1
6 ^a	0

Assim a vulnerabilidade das zonas de endemismo do rio Uruguai é calculada como o produto da relação entre a zona de endemismo e a ordem de rio, como apresentado na fórmula:

$$Vze = ZE \times O$$

onde:

Vze - vulnerabilidade da zona de endemismo

ZE - pontuação da zona de endemismo

O - pontuação atribuída à ordem de rio

Após o processamento da relação apresentada na fórmula anterior os valores foram escalonados em bytes.

Distância entre barramentos

A distância entre barramentos de rios tem sido pouco discutida em avaliações de impacto de empreendimentos dessa natureza no Brasil. Em geral, distâncias mínimas entre empreendimentos têm sido arbitrados nos estudos sem subsídio teórico. Por exemplo, CEEE (2000) classifica intervalos entre barramentos maiores que 10 km como pouco impactantes enquanto BECKER & GUADAGNIN (2002) atribuíram 20 km como distância mínima entre barramentos na bacia do sistema Taquari-Antas no Rio Grande do Sul.

De acordo com AGOSTINHO et al. (2004), no trecho do rio Paraná existente entre o limite superior do reservatório da UHE Itaipu e a UHE Porto Primavera existem 250 Km de rio livre nos quais ocorrem condições para a reprodução dos grandes migradores. Condição essencial para a manutenção dessas populações nesse trecho é a existência de dois tributários livres de barramentos, nos quais existem rotas que atingem cerca de 220 km a montante do lago de Itaipu, onde foram confirmadas ocorrências de desovas de espécies migradoras. Por tratar-se da única informação disponível de um segmento de rio em que é viável a manutenção de todas as populações das espécies de peixes migradores e, considerando que desde o fechamento da barragem até o presente somam-se 21 anos, essa medida subsidia o critério

adotado nesse estudo. A distância referencial de 80 km adotada aqui baseia-se também na informação do mesmo autor (AGOSTINHO et al., 2004) de que em trecho de 80 km do rio Paranapanema existente entre os Reservatórios das UHE Capivara e Salto Grande, mantêm-se populações de dourado (*Salminus maxillosus*) após 15 anos da construção dessas barragens.

A primeira decisão tomada na elaboração de cenários considerando os trechos de rio livre foi o estabelecimento de locais de origem das medidas de distância.

As medidas foram tomadas da origem até o limite de 3ª ordem de acordo com a classificação proposta por STHRALER (1952), pois, de acordo com os dados de distribuição dos grandes migradores existentes na bacia, esse seria o limite superior de migração para a maioria dessas espécies. Os segmentos de rio foram pontuados de acordo com os critérios estabelecidos na Tabela 22.

Os trechos foram medidos desde a origem de cada segmento até o limite superior de cada tributário de 3ª ordem. Em situações em que os segmentos medidos apresentavam-se fragmentados devido a existência de uma barreira (barragem hidrelétrica), o trecho compreendido entre a origem e a barragem foi valorado de acordo com sua dimensão (Tabela 22). Nessas situações, a contagem do trecho foi reiniciada considerando-se o limite à montante do lago da barragem como um novo ponto de origem (0). Quando não foram encontradas barreiras e o trecho medido alcançou 250 Km, foi estabelecido um trecho de tolerância de 20 Km para que fosse restabelecida nova contagem. Dessa forma, a calha principal dos rios é considerada de fundamental importância para a manutenção de rotas migratórias que permitam a manutenção de populações de peixes de piracema.

Tabela 22 Pontuação atribuída a rotas de migração de peixes considerando sua extensão e a conectividade ao rio Uruguai.

Tamanho do segmento (Km)	Conexão ao rio Uruguai	Fragilidade (bytes)	Favorabilidade (bytes)
250	Sim	230	26
250	Não	204	51
80 – 250	Sim	192	64
80 – 250	Não	179	77
< 80	Sim	153	102
< 80	Não	77	179

CRITÉRIOS RELATIVOS AO MEIO FÍSICO

Tendo em vista a carência de dados relativos ao meio físico para a área de estudo, a partir do universo de informações disponíveis foram selecionadas variáveis espacializáveis e compatíveis com a escala adotada neste estudo.

Solos

A resistência dos solos aos impactos ambientais (Tabela 23) foi avaliada conforme FEPAM/FAURGS (2005).

Tabela 23 Valoração dos tipos de solos existentes na área de estudo de acordo com a sua fragilidade.

Tipo de solos	classe de resistência	favorabilidade em bytes
Cambissolo Háptico Ta eutrófico típico	B	170
Cambissolo Húmico Alumínico típico	C	85
Latossolo Bruno distroférico típico	A	255
Latossolo Vermelho aluminoférrico húmico	A/B	255/170
Luvissolo Crômico pálico saprolítico	B	170
Neossolo Litólico distroférico fragmentário	D	5
Neossolo Regolítico húmico léptico ou típico	D	5
Nitos. Ver. distrofér. típ. / Nit. Br. distróf. h.	B	170
Nitossolo Bruno alumínico típico	B	170
Nitossolo Vermelho alumínico típico	B	170
Nitossolo Vermelho eutroférico típico	A	255

Geomorfologia

Consierando-se metodologia proposta por FEPAM (2004), a avaliação da geomorfologia (Tabela 24) deu-se pontuando as unidades geomorfológicas apresentadas no RADAM-BRASIL.

Tabela 24 Valoração das unidades geomorfológicas existentes na área de estudo.

Unidade geomorfológica	pontuação em bytes
Planalto dos Campos Gerais	77
Planalto Dissecado Rio Iguaçu-Rio Uruguai	127
Planalto de Santo Angelo	255

Geologia

A geologia foi avaliada de acordo com critério apresentado em SILVEIRA & CRUZ (2005). A pontuação está apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 Valoração das formações geológicas existentes na área de estudo.

Formação geológica	pontuação em bytes	pontuação com lineamento (tampão de 100m) em bytes
Serra Geral, efusivas básicas	150	110
Serra Geral, efusivas ácidas	255	215
Tupanciretã	80	40

Áreas Mineiras

O subsolo brasileiro é propriedade da sociedade e, como tal, qualquer empreendimento mineiro de exploração de subsolo deve pleitear as licenças pertinentes nas três esferas: municipal, estadual e federal.

Os regimes de aproveitamento das substâncias minerais, atendendo ao Código de Mineração Brasileiro, levam os empreendedores mineiros à duas situações distintas: o licenciamento mineral e a pesquisa mineral.

O licenciamento mineral deve ser pleiteado por aqueles empreendimentos mineiros que irão explorar o bem mineral, o qual não deverá sofrer qualquer tipo de beneficiamento, constituindo-se em bem mineral abundante na crosta terrestre. Tem como limite 50 ha por área máxima solicitada.

Do Código Nacional de Mineração destaca-se:

Os bens minerais poderão ser aproveitados pelo regime de licenciamento, ou de autorização e concessão, na forma da lei:

I - areias, cascalhos e saibros para utilização imediata na construção civil, no preparo de agregados e argamassas, desde que não sejam submetidos a processo industrial de beneficiamento, nem se destinem como matéria-prima à indústria de transformação;

II - rochas e outras substâncias minerais, quando aparelhadas para paralelepípedos, guias, sarjetas, moirões e afins;

III - argilas usadas no fabrico de cerâmica vermelha;

IV - rochas, quando britadas para uso imediato na construção civil e os calcários empregados como corretivo de solo na agricultura.

Segundo o código de mineração brasileiro, a pesquisa mineral é a execução dos trabalhos necessários à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da viabilidade do seu aproveitamento econômico. A pesquisa mineral compreende, entre outros, os seguintes trabalhos de campo e de laboratório: levantamentos geológicos pormenorizados da área a pesquisar, em escala conveniente, estudos dos afloramentos e suas correlações, levantamentos geofísicos e geoquímicos; abertura de escavações visitáveis e execução de sondagens no corpo mineral; amostragens sistemáticas; análises físicas e químicas das amostras e dos testemunhos de sondagens; e ensaios de beneficiamento dos minérios ou das substâncias minerais úteis, para obtenção de concentrados de acordo com as especificações do mercado ou aproveitamento industrial.

Na área do estudo foi executado levantamento junto ao Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) para mapear as áreas licenciadas, seja na modalidade de licença mineral, seja na de pesquisa mineral.

Os dados levantados foram as poligonais que limitam as concessões, referenciadas a marcos topográficos existentes e nas cartas topográficas do exército na escala 1:50.000.

As áreas concedidas para a pesquisa mineral foram consideradas como mais importantes do que as áreas concedidas para o licenciamento mineral.

A modalidade de pesquisa mineral determina o aprofundamento de estudos tais como gênese, concentração, cubagem e vida útil da jazida. Envolve, também, a exigência de uma maior competência financeira do empreendedor, a ser demonstrada através de documentação pertinente, tendo em seu escopo a geração do conhecimento da ocorrência mineral que ao fim do estudo poderá ser transformada em jazida mineral ou não. Portanto, apresenta risco econômico ao empreendedor. Além disso, as substâncias que são pesquisadas para serem transformadas, geralmente, representam minerais raros e de importância para o país.

Por outro lado, as áreas concedidas para licenciamento mineral possuem jazidas de minerais abundantes e comuns, como areia, brita e cascalho, por exemplo, que representam insumos importantes para a sociedade. Neste modelo de licenciamento, o bem mineral pode ser explorado a partir da emissão da licença. A Tabela 26 apresenta os valores atribuídos para as áreas de concessão mineral.

Tabela 26 Valoração das áreas de concessão mineral.

Tipo de concessão	Favorabilidade
Pesquisa	64
Licença	255

Geometria da rede fluvial

A geometria da rede fluvial foi avaliada através de três variáveis espacializáveis: densidade de confluências, ângulos de confluências e comprimento de rio entre confluências. Estas variáveis foram medidas em

Autocad, digitadas em planilha, sendo georeferenciada ao nó da confluência. A espacialização das variáveis ângulo e comprimento se deu através da interpolação linear de segundo grau dos valores tomados a partir dos pontos de confluência. A densidade de confluências foi medida com uma janela móvel de 1 km de lado. Estas operações foram efetuadas em ambiente ArcGis. Os valores foram então re-escalados pára bytes, em função da favorabilidade.

Qualidade da Água

A qualidade da água é um dos fatores mais restritivos para a implantação de barragens. De acordo com COOTE & GREGORICH (2000), a qualidade da água deve ser avaliada de forma holística, considerando os aspectos apresentados na Figura 3.

Face à carência de dados de monitoramento sistemático, situação da maior parte do território, a avaliação da qualidade da água deve buscar indicadores possíveis de serem obtidos para toda a área em estudo. Estes indicadores devem, também, possibilitar uma avaliação de cargas poluidoras urbanas e rurais e devem ser obtidos a partir de dados espacializáveis, ao menos, na escala da malha municipal.

As cargas poluidoras orgânicas geradas pela população foram avaliadas tomando-se por base os dados de domicílios por situação de saneamento de esgotos e de número de habitantes por domicílios urbanos e rurais, disponibilizados pelo IBGE (<http://www.ibge.gov.br>) e pela FEE (2001).

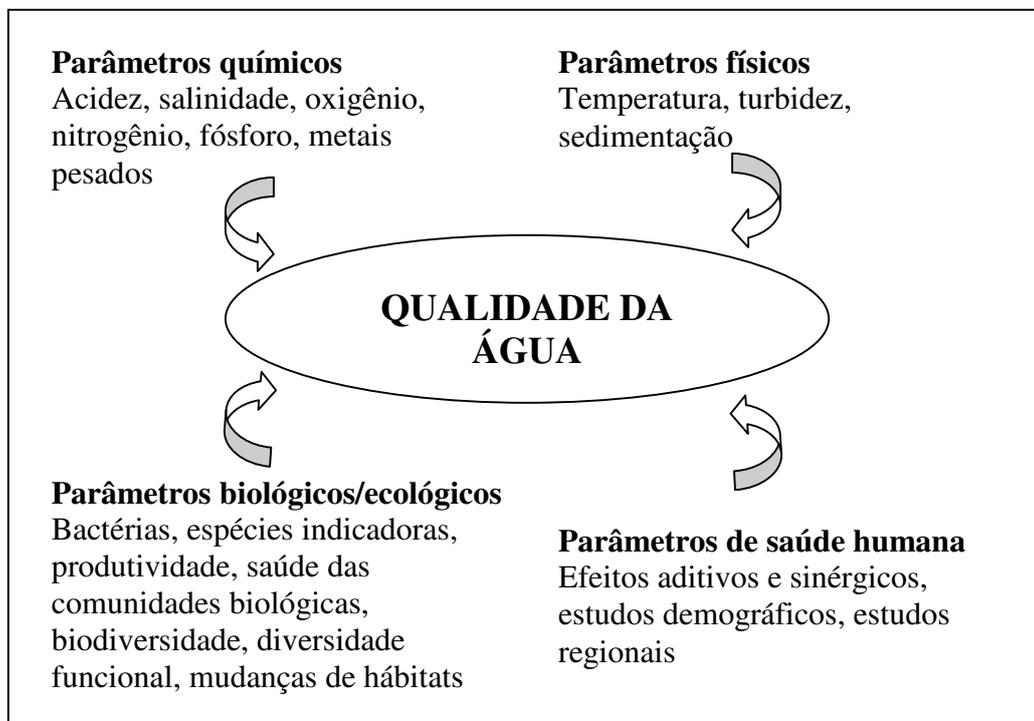


Figura 3 Abordagem holística para avaliar qualidade da água.

Fonte: COOTE & GREGORICH, 2000.

As cargas remanescentes foram estimadas com base no equivalente populacional da DBO5 (54 g/hab/dia) e nos fatores de redução, de acordo com a classificação das situações dos domicílios conforme a classe de tratamento. Consideraram-se somente as categorias que implicam em transposição de cargas para os cursos de água diretamente. Situações inadequadas de saneamento que geram contaminação do solo ou das águas subterrâneas foram desconsiderados, uma vez que esta carga possui um tempo de retardo para afetar a qualidade dos rios, o qual apresenta-se em escala incompatível com o tempo de decisão deste estudo. Consideraram-se, para fins deste indicador, as populações ligadas à rede geral, com fossa séptica e com fossa séptica ligada ao esgoto pluvial. Os fatores de redução foram adotados de CNEC (1980) e estão expressos na Tabela 27.

Tabela 27 Fatores de redução de cargas de DBO (CNEC, 1980).

Parâmetro	Classes	Fator de redução
DBO _{5,20}	Populações ligadas a rede geral (canalizações mistas)	0,5
DBO _{5,20}	Populações atendidas por fossa séptica (sistema decantação/infiltração)	0,85

Assim a carga remanescente para cada município é resultante da soma das cargas remanescentes para cada situação de saneamento, onde carga remanescente é igual ao produto da população pela carga unitária (54 g/hab/dia) e pela recíproca do respectivo fator de redução (0,5 ou 0,15). Esta carga foi relativizada para a área do município e expressa a carga potencial de DBO que é gerada por quilômetro quadrado. Como quanto maior a carga é maior a fragilidade, o índice foi reescalado para escala de bytes através de uma transformação inversamente proporcional no módulo Fuzzy do Idrisi32, de modo a passar a expressar a favorabilidade para implantação de barramentos.

Outra fonte de cargas orgânicas que pode ser especializada refere-se aos rebanhos. Os efetivos foram obtidos do IBGE (<http://www.ibge.gov.br>) e da FEE (2001). A carga neste caso é bruta, pois não se pode avaliar, com os dados disponíveis, o tipo de tratamento utilizado ou ausência de tratamento. As cargas brutas em DBO foram estimadas a partir das cargas de fósforo total para bovinos, eqüinos, suínos, caprinos e aves listadas em LASSEVILS & BERRUX (2000), utilizando-se o equivalente de 1 g P = 21,6 g DBO (OSPAR, 2000). A Tabela 28 apresenta os dados utilizados.

Tabela 28 Cargas unitárias de fósforo e DBO, por cabeça.

Rebanho	Carga unitária de Fósforo (gP/cab/dia)	Carga unitária DBO (gDBO/cab/dia)
Bovinos	42,3	913,7
Eqüinos	3,9	84,2
Suínos	20,0	432,0
Ovinos	5,0	108,0
Aves	2,5	54,0

(adaptado de LASSEVILS & BERRUX, 2000).

A carga bruta de DBO foi, então, estimada multiplicando-se o efetivo pela carga unitária de DBO. Para compor a carga total, foi utilizado o critério de que as criações predominantemente confinadas (aves e suínos) impactam cinco vezes mais que as não confinadas. Este fator foi adotado a partir da relação existente entre lavouras temporárias e permanentes, justificadas na seqüência, dada a ausência de informações. Deste modo, o índice derivado das cargas foi obtido através da seguinte fórmula:

$$\text{Irebanho} = (0,2 * \text{dbo bov}) + (0,2 * \text{dbo equ}) + (0,2 * \text{dbo ovi}) + (\text{dbo sui}) + (\text{dbo ave})$$

Este índice foi, então, relativizado, dividindo-se pela área municipal em quilômetros quadrados, passando a expressar a carga potencial de DBO que é gerada pelos rebanhos por quilômetro quadrado. Como quanto maior a carga é maior a fragilidade, o índice foi reescalado para escala de bytes através de uma transformação inversamente proporcional no módulo FUZZY do IDRISI32, de modo a expressar a favorabilidade para implantação de barramentos.

As cargas de nutrientes oriundas da atividade agrícola foram indicadas por um índice derivado das áreas colhidas ou destinadas a colheita disponibilizadas pelo IBGE (<http://www.ibge.gov.br>) e pela FEE (2001). Os dados foram agregados em culturas temporárias e permanentes. O índice foi gerado da seguinte forma:

- Somaram-se as áreas ocupadas por todas as culturas temporárias, por município.
- Somaram-se as áreas ocupadas por todas as culturas permanentes.
- Obteve-se um índice somando-se a área de culturas temporárias com a quinta parte da área das culturas permanentes (vide explicação abaixo).
- Relativizou-se o índice dividindo-se pela área do município, em hectares.

Considerou-se que as perdas de solo em lavouras permanentes é menor que a de lavouras temporárias na ordem da quinta parte com base em dados presentes em SANTA CATARINA (1994), para latossolos, que expressam perdas de solo da ordem de 810 kg/ha para ensaios de chuva em solos sem movimentação e de 4.300 kg/ha para solos preparados com duas passagens de grade. Considera-se, para fins de modelagem, que a perda de nutrientes é proporcional à perda de solos.

O índice expressa, portanto, a probabilidade de aporte de nutrientes oriundos das lavouras por unidade de área. Quanto maior o índice, maior o aporte potencial. Como quanto maior a carga é maior a fragilidade, o índice foi reescalado para escala de bytes através de uma transformação inversamente proporcional no módulo FUZZY do IDRISI32, de modo a expressar a favorabilidade para implantação de barramentos.

As cargas de poluentes industriais foram avaliadas conforme FEPAM (1997), sendo consideradas as cargas remanescentes de DBO_{5,20} e de cargas metálicas

agregadas. As cargas de cada município foram divididas pela área em quilômetros quadrados dos respectivos municípios, fornecendo os índices de cargas orgânicas industriais remanescentes e cargas metálicas remanescentes por quilômetro quadrado. Estes índices relativos foram reescalados para escala de bytes através de uma transformação inversamente proporcional, a fim de expressar a favorabilidade para implantação de barramentos.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética de cada empreendimento proposto foi avaliada a partir do índice potência/área. Considera-se que quanto maior a potência obtida por unidade de área alagada, mais eficiente será o empreendimento. Observa-se que esta relação está associada à forma do vale e à declividade do eixo longitudinal do rio. Barragens situadas em vales bastante encaixados e com boas quedas naturais otimizam esta situação.

As informações foram obtidas a partir de dados dos próprios inventários ou estimadas através do modelo digital de elevação do SRTM, considerando-se a cota no nível da água máximo (N_{\max}).

O índice potência/área para a iésima barragem foi obtido dividindo-se a potência firme (MW médios) pela área do reservatório em hectares:

$$(\text{índice potência/área})_i = (\text{potência})_i / (\text{área do lago no } N_{\max})_i$$

O índice de eficiência energética foi calculado padronizando-se o índice potência/área para escala de 0-100:

$$(\text{Índice de eficiência energética})_i = ((\text{índice potência/área})_i \times 100) / \text{máximo}(\text{índice potência/área})$$

Neste relatório, dada a grande variação apresentada neste índice, utilizou-se escala logaritma.

ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL DA DRENAGEM

O índice de favorabilidade ambiental da drenagem foi obtido extraíndo-se o valor médio do valor de fragmentação do rio expresso nas notas para os comprimentos de trechos de rios livres para o cenário atual e para os cenários futuros, considerando os empreendimentos inventariados. Este procedimento foi elaborado utilizando-se do módulo EXTRACT do IDIRISI32, empregando-se o mapa da drenagem (valor 1 para a drenagem e zero para o que não é drenagem) como mapa identificador das feições. Utilizou-se o valor médio para caracterizar a qualidade ambiental da drenagem de toda a bacia. Este procedimento foi desenhado para capturar o impacto da inserção de uma ou várias barragens na qualidade de toda a bacia hidrográfica, em função da propagação da perda de qualidade ambiental resultante da fragmentação dos rios, operacionalizando o critério proposto pela Comissão Mundial de Represas (CMR, 2000).

ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA DAS BARRAGENS

O índice de favorabilidade ambiental relativa das barragens foi obtido através da extração dos valores médios do índice ambiental dos meios terrestre e aquático, expressos na análise multi-critério para as áreas de inundação das barragens propostas. Para extração dos valores médios para cada barragem, utilizou-se o módulo EXTRACT do IDRISI32, considerando-se o mapa de polígonos contendo as áreas de inundação como mapa de feições.

O índice extraído através deste procedimento expressa o valor médio para cada barragem, porém refere-se a um procedimento "célula-a-célula", não refletindo o tamanho das barragens. Para resolver esta deficiência, foi atribuído um redutor deste índice de favorabilidade ambiental proporcional ao tamanho do reservatório da barragem.

Para compor este redutor foi calculada a área relativa de cada barragem através do seguinte equacionamento:

Área inundada relativa = (Área inundada no $N_{a_{máx.}}$ x 100) / máximo (Área inundada no $N_{a_{máx.}}$)

O resultado final do índice foi calculado da seguinte forma:

Índice de Favorabilidade Ambiental Relativa = (índice de favorabilidade ambiental x 0,5) - (área inundada relativa x 0,5)

Assim, quanto maior a área inundada, maior o redutor da favorabilidade. Neste caso, os pesos atribuídos para o redutor são iguais. Outros valores podem ser atribuídos.

RESULTADOS

Os resultados são apresentados com objetivo de hierarquizar os diversos empreendimentos, tanto os existentes, como os inventariados. Também foram considerados os empreendimentos inventariados por UFSM (2002) para fins de irrigação para o cenário futuro, assim com as barragens da CORSAN para o cenário atual (somente para análise de fragmentação). Estes foram considerados para compor uma visão integrada dos impactos, uma vez que interferem no regime hídrico das bacias, portanto no seu potencial hidroenergético, bem como na mudança dos valores de trechos livres de barragens. Empreendimentos desativados, como a PCH Touros, também foram considerados pelos mesmos motivos.

A Tabela 29 apresenta os empreendimentos considerados neste estudo.

Tabela 29 Barragens analisadas neste estudo.

Barragem	Área inundada m ²
<i>B 13 09)*</i>	1888856
<i>B 15 09)*</i>	1191154
<i>B 17 09)*</i>	1215460
<i>PCH AVANTE</i>	55685
<i>PCH ESMERALDA</i>	82319
<i>PCH FORQUILHA</i>	622450
<i>PCH FORQUILHA 2</i>	766475
<i>PCH FORQUILHA 4</i>	705868
<i>PCH GUATAMBU 1</i>	4597015
<i>PCH GUATAMBU 2</i>	455234
<i>PCH MOINHO</i>	291912
<i>PCH OURO</i>	4475
<i>PCH SANTANA 1</i>	1664373
<i>PCH SANTANA 2</i>	3104149
<i>PCH SANTANA 3A</i>	1198495
<i>PCH SANTANA 4A</i>	1048356
<i>PCH SANTANA 5A</i>	618541
<i>PCH SANTO INÁCIO</i>	6440742
<i>PCH SAO BERNARDO</i>	159986
<i>PCH SÃO JOAQUIM 1</i>	2879299
<i>PCH SÃO JOAQUIM 2</i>	908264
<i>PCH TOUROS</i>	296394
<i>UHE BARRA GRANDE</i>	98684960
<i>UHE ITA</i>	149165748
<i>UHE MACHADINHO</i>	86229167
<i>UHE PAQUERE</i>	66535920
<i>UHE PASSO DA CADEIA</i>	48541433

* barragens de irrigação.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Tabela 30 e a Figura 4 apresentam os resultados obtidos para as barragens, excluídas a PCH Touros (desativada) e as de irrigação.

Tabela 30 Índice de eficiência energética.

BARRAGEM	ÁREA M ²	POTÊNCIA MW	ÍNDICE POTÊNCIA/ÁREA	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
PCH OURO	4475	12.00	0.0026817	100.00
PCH ESMERALDA	82319	22.20	0.0002697	10.06
PCH SAO BERNARDO	159986	15.00	0.0000938	3.50
PCH MOINHO	291912	13.70	0.0000469	1.75
PCH SANTANA 5A	618541	18.60	0.0000301	1.12
PCH GUATAMBU 2	455234	10.00	0.0000220	0.82
PCH SÃO JOAQUIM 2	908264	18.00	0.0000198	0.74
PCH AVANTE	55685	1.00	0.0000180	0.67
PCH SANTANA 3A	1198495	21.30	0.0000178	0.66
PCH FORQUILHA 4	705868	12.00	0.0000170	0.63
PCH FORQUILHA 1	622450	8.00	0.0000129	0.48
UHE MACHADINHO	86229167	1060.00	0.0000123	0.46
PCH SÃO JOAQUIM 1	2879299	26.00	0.0000090	0.34
UHE ITA	149165748	1315.00	0.0000088	0.33
PCH FORQUILHA 2	766475	6.00	0.0000078	0.29
UHE BARRA GRANDE	98684960	690.00	0.0000070	0.26
PCH SANTO INÁCIO	6440742	44.00	0.0000068	0.25
PCH GUATAMBU 1	4597015	30.00	0.0000065	0.24
PCH SANTANA 4A	1048356	6.10	0.0000058	0.22
UHE PAQUERE	66535920	292.00	0.0000044	0.16
UHE PASSO DA CADEIA	48541433	104.00	0.0000021	0.08
PCH SANTANA 1	1664373	3.20	0.0000019	0.07
PCH FORQUILHA	622450	1.12	0.0000018	0.07
PCH SANTANA 2	3104149	4.90	0.0000016	0.06

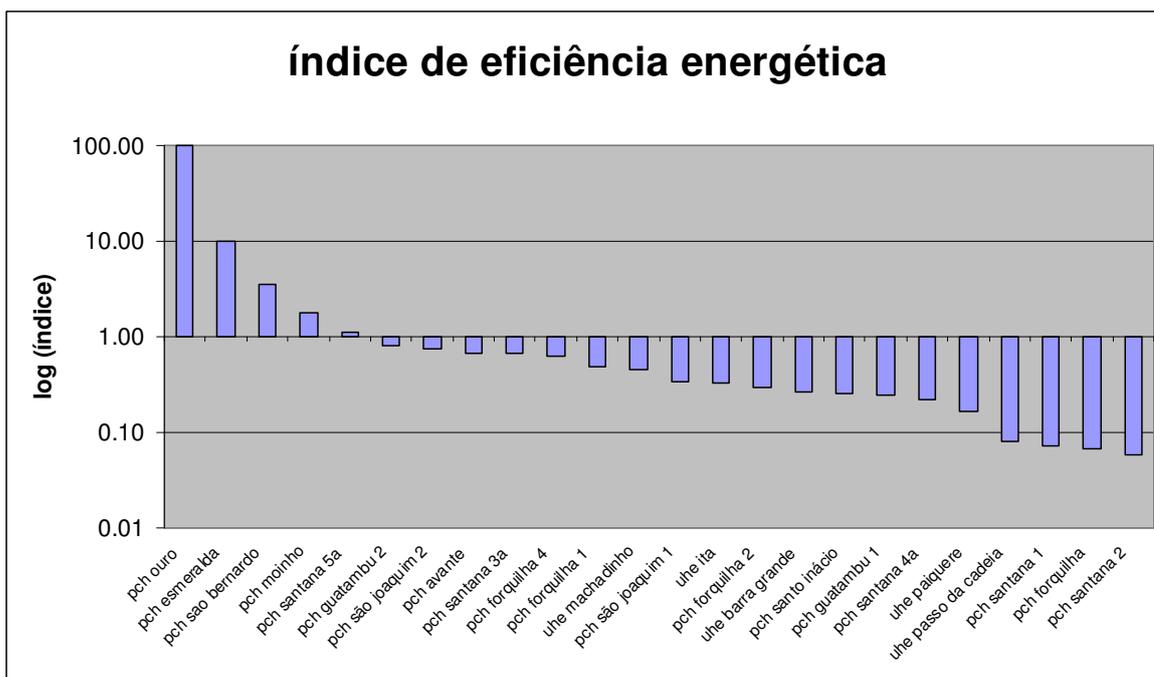


Figura 4 Índice de eficiência energética.

O resultado é apresentado na Figura 4 em escala alterada em função do valor muito elevado do índice apresentado pela PCH Ouro, que aproveita uma cascata (Cascata das Andorinhas). Mesmo desconsiderando-se esta, observa-se que o índice varia por um fator de centena.

ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL DA FRAGMENTAÇÃO DA DRENAGEM

A Figura 5 apresenta o resultado da comparação do cenário atual com os cenários futuros de toda a drenagem.

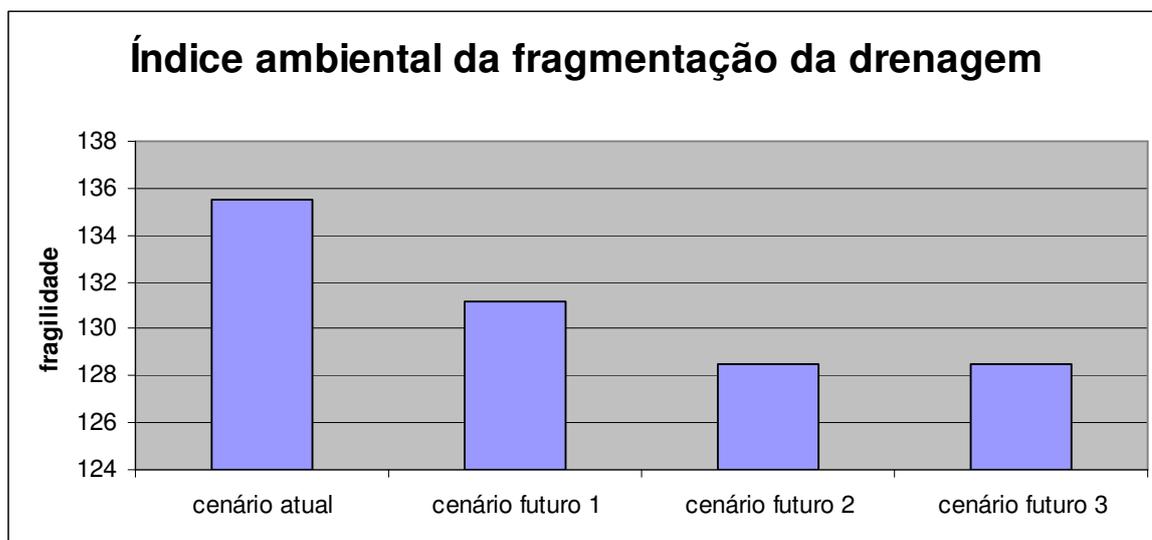


Figura 5 Índice ambiental da fragmentação da drenagem.

Observa-se que a implantação dos empreendimentos causa uma perda de qualidade média na bacia da ordem de 3,2 a 5,2%. Isto se deve à perda de valor causada pela fragmentação de trechos de rios. Também se observa que os valores já partem de um quadro médio de alta fragmentação (valor médio de trechos menores que 80 km), dado o efeito da forma da bacia e dos grandes empreendimentos já existentes (Itá, Machadinho e Barra Grande) na calha principal dos rios Uruguai-Pelotas. Este resultado realça a necessidade de serem preservados os trechos de rios livres de barragens por fisionomia, de acordo com a recomendação da Comissão Mundial de Barragens.

Ainda com relação ao critério de conservação de extensões de rios que preservem espécies migradoras, observa-se que esse critério é bastante pertinente para a região centro-oeste da U10. No entanto, o critério perde força para a região centro-leste, pois os registros de migradores são mais escassos e observa-se que nessa última região os rios percorrem distâncias mais curtas entre sua nascente e foz. Nessa área destaca-se a densidade alta de cachoeiras e cascatas como acidentes geográficos de grande beleza cênica e importância biológica. Essas quedas de água configuram-se em barreiras naturais à dispersão das espécies de peixes e produzem uma elevada

segmentação dos ambientes lóticos, criando distintos compartimentos no sistema.

A importância de cachoeiras como fatores determinantes da estruturação de comunidades de sistemas lóticos é constatada em estudos de riachos da Costa Rica (Ramirez & Pringle, 2001) nos USA (Maret et. al., 1997) e no continente africano (Balon, 1974).

No Brasil, o estudo de Silva (1999) detectou que a ordem do trecho lótico e a altitude são parâmetros importantes na determinação da diversidade da ictiofauna de rios e riachos. Esses fatores determinam condições tais como o fluxo energético da região marginal para o interior do sistema, sombreamento, declividade, velocidade da corrente, tamanho e forma do substrato.

Vilella (2002) estudando a relação entre variáveis físicas e químicas da água e a comunidade de um riacho de 1ª ordem constatou uma relação de hierarquia ou uma influência do fator da escala das variáveis determinando dois conjuntos classificados como de meso e macro escala, sendo as características de macro-escala aquelas que apresentam maior influência na estruturação da comunidade do riacho. As variáveis que compõem esse conjunto são a declividade, a altitude e o número e altura das barreiras geográficas (cachoeiras).

Além de influenciarem fortemente na estruturação das comunidades aquáticas, as quedas d'água são importantes fatores de isolamento de populações de espécies de peixes. De maneira simplificada pode-se dizer que dentre os mecanismos de especiação o isolamento geográfico de populações é um dos fatores que possibilita o isolamento reprodutivo de uma parcela de uma população. Como resultado disso, os indivíduos se reproduzem em um conjunto restrito de indivíduos distinto do resto da população. Essa condição chamada de "inbreeding" favorece a fixação de genes nessa parcela da população, que pode derivar do resto da população original favorecendo a sua diferenciação genética podendo levar, no decorrer do tempo, a formação de uma nova espécie (Ridley, 1999).

Um exemplo disso é o caso do lambari *Astyanax scabripinnis*, espécie típica das regiões de cabeceiras de riachos da Mata Atlântica. Essa espécie tem sido alvo de investigação. Pesquisadores analisando a estrutura cromossômica desses animais reconheceram a existência de um complexo de espécies geneticamente distintas, mas que morfologicamente não corroboram essa distinção (SOUZA & MOREIRA-FILHO, 1994; VEREGUE et. al. 2003).

Essas características reforçam o terceiro critério adotado na Análise das Fragilidades Ambientais da U10 elaborado no estudo que busca a preservação de trechos de pequena ordem (Sthraler, 1952). Esses trechos potencialmente abrigam um conjunto bastante rico e ainda pouco conhecido de espécies endêmicas.

Essas espécies, que normalmente possuem distribuição bastante restrita, tornam-se extremamente sensíveis as perturbações ambientais. Esse critério reforça a importância de conservação dos trechos da fisionomia centro-leste da bacia U10, especialmente os riachos de pequena ordem.

Cabe lembrar que, devido a diversas condições, o estudo teve de ser baseado em dados disponíveis (literatura, museus e estudos existente na Fepam) para avaliar a ictiofauna da região. Apesar deste ser o melhor

conjunto de dados disponíveis para a região, é preciso considerar que inventários de peixes ainda são muito escassos no Estado e que existe um conjunto potencialmente bastante elevado (aproximadamente 20%) da ictiofauna que carece de uma identidade taxonômica. Essa condição permite sugerir que os empreendimentos a serem instalados na região devem ter o cuidado de incluir em seus programas ambientais a execução de estudos mais aprofundados de inventário e de conservação de populações de espécies endêmicas e ameaçadas.

As figuras 6 a 9 apresentam, respectivamente, os valores dos trechos de rios para os cenários atual, futuro 1 (opção 1 do inventário do Alto Pelotas), futuro 2 (opção 2 do inventário do Alto Pelotas) e futuro 3 (opção pela UHE Passo da Cadeia).

Da análise das figuras 6 a 9 pode-se verificar que as perdas de qualidade da bacia são concentradas em dois trechos. Também se pode verificar que o rio mais frágil (menor favorabilidade) não é afetado. Considerando-se a recomendação de garantir uma representatividade fisionômica de rios livres de barramento, sugere-se que os trechos demarcados sejam tornados imunes de barragens: o trecho na parte oeste da bacia formado pelo rio Piracuce e o trecho do rio Ligeiro situado entre a confluência com o Piracuce e com o reservatório de Itá e o rio Cerquinha na parte leste da bacia.

Mapa de favorabilidades da drenagem
Cenário atual

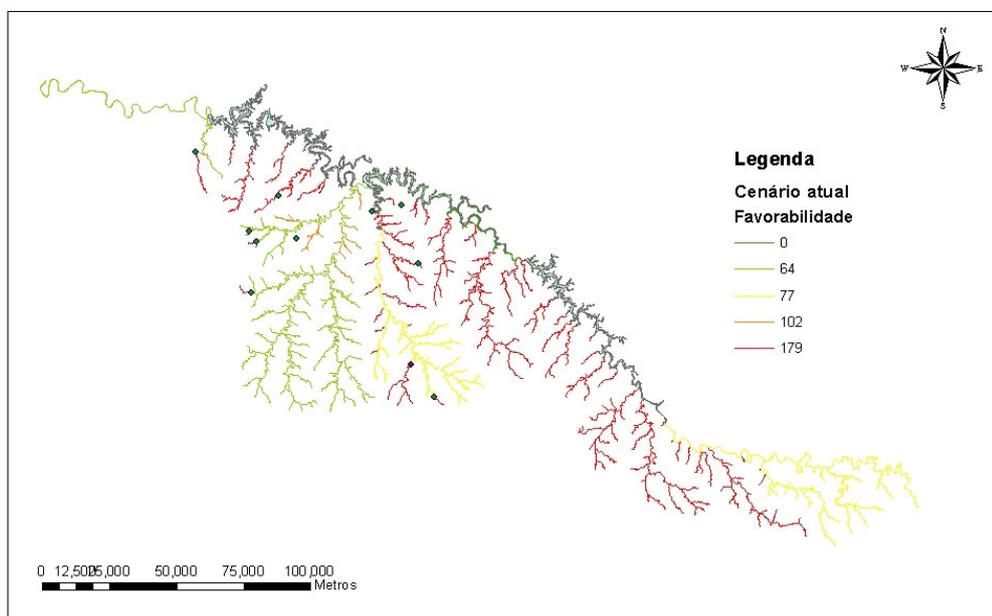


Figura 6 Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário atual.

Mapa de favorabilidades da drenagem
Cenário Futuro 1

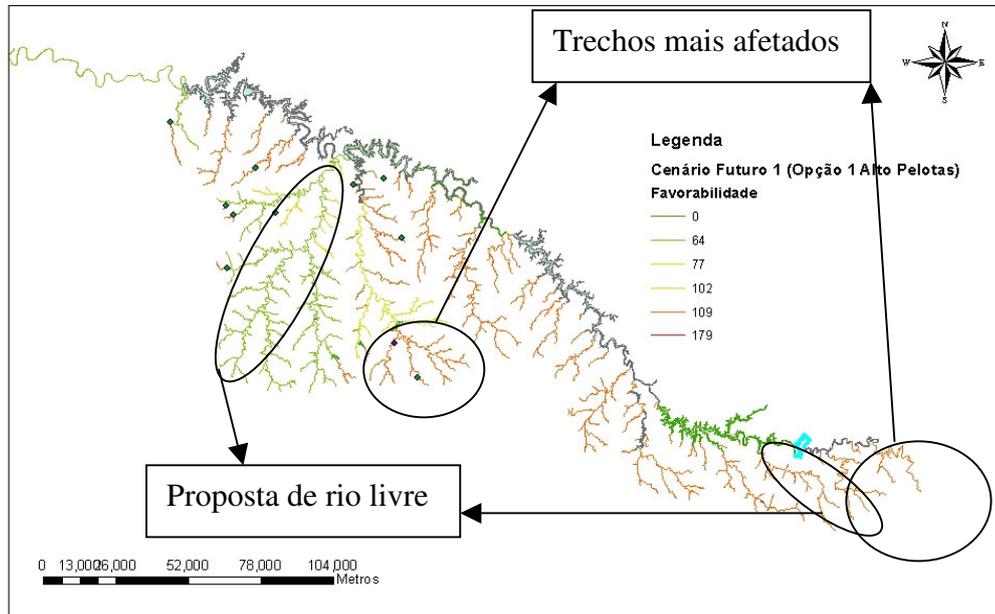


Figura 7 Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário futuro 1.

Mapa de favorabilidades da drenagem
Cenário Futuro 2

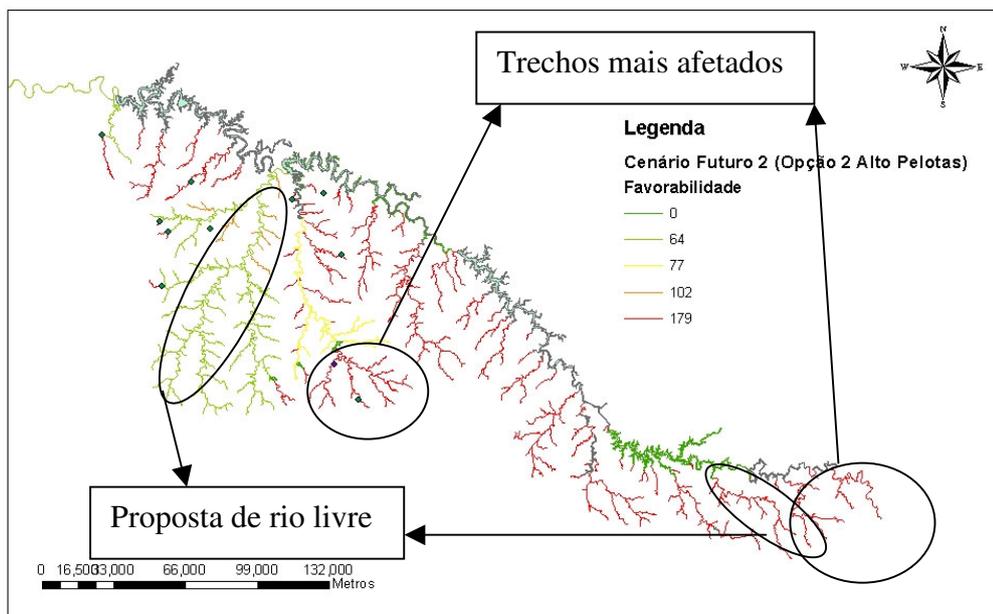


Figura 8 Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário futuro 2.

Mapa de favorabilidades da drenagem
Cenário Futuro 3

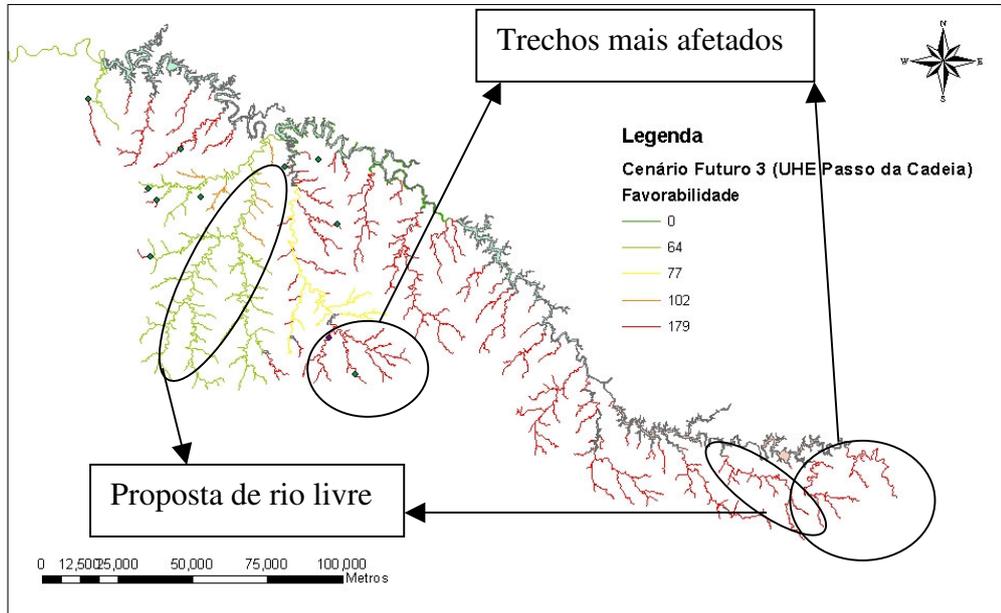


Figura 9 Favorabilidade ambiental da drenagem, cenário futuro 3.

ÍNDICE DE FAVORABILIDADE AMBIENTAL RELATIVA DAS BARRAGENS

Para a análise dos índices de favorabilidade ambiental relativa das barragens, os modelos foram rodados considerando separadamente os meios terrestre e aquático. Para uma análise inicial, também foram rodados os modelos conjuntos (meios aquáticos e terrestres juntos).

As figuras 10 a 12 a seguir representam os histogramas síntese dos modelos conjuntos (Tabela 2).

Comparando-se os histogramas dos modelos conjuntos (meio terrestre e meio aquático) com os dos modelos rodados separadamente para o meio aquático e terrestre, observa-se que os efeitos se compensam, fazendo desaparecer singularidades específicas que podem ser observadas nos histogramas dos modelos rodados separadamente.

Por exemplo, observando-se os histogramas do modelo 0, para as três situações estudadas (modelo conjunto, modelo aquático e modelo terrestre), onde os pesos são iguais para todos os blocos, percebe-se que o meio aquático contém duas tendências de favorabilidades ambientais, o mesmo ocorrendo no meio terrestre, e quase imperceptível para o modelo conjunto, devido a compensação que ocorre nos fatores ambientais entre o meio aquático e meio terrestre.

Portanto, para a seleção do modelo, devem ser ponderadas as análises dos modelos separadamente.

As figuras 13 a 16 apresentam exemplos de mapas de favorabilidades ambientais resultantes do processamento dos modelos.

Considerando-se a situação atual da qualidade da água na bacia, o modelo terrestre 4 apresenta uma menor favorabilidade ambiental para a implantação de empreendimentos, o que se deve ao grau de deterioração qualitativa na bacia. Porém, se for dada maior importância para as condições da rede de drenagem, as favorabilidades aos empreendimentos crescem. Isto tem uma implicação direta na gestão dos recursos hídricos da bacia, especialmente para o processo de enquadramento e, por conseguinte, para o processo de planejamento. Se o enquadramento direcionar para um melhora significativa das condições de qualidade das águas, poderá ser viabilizado o licenciamento de um número maior de empreendimentos.

Analisando-se os resultados para os modelos terrestres (Figura 11), percebe-se que, quando o modelo 0 (igual peso para os blocos) é simulado, as favorabilidades são maiores do que quando o bloco das condições antrópicas tem menor peso que os demais (modelo 4).

Os resultados dos diferentes modelos, bem como da segregação dos efeitos do meio terrestre e do meio aquático, subsidiam o processo de negociação na bacia e fortalecem os processos de planejamento e de enquadramento dos corpos hídricos da bacia.

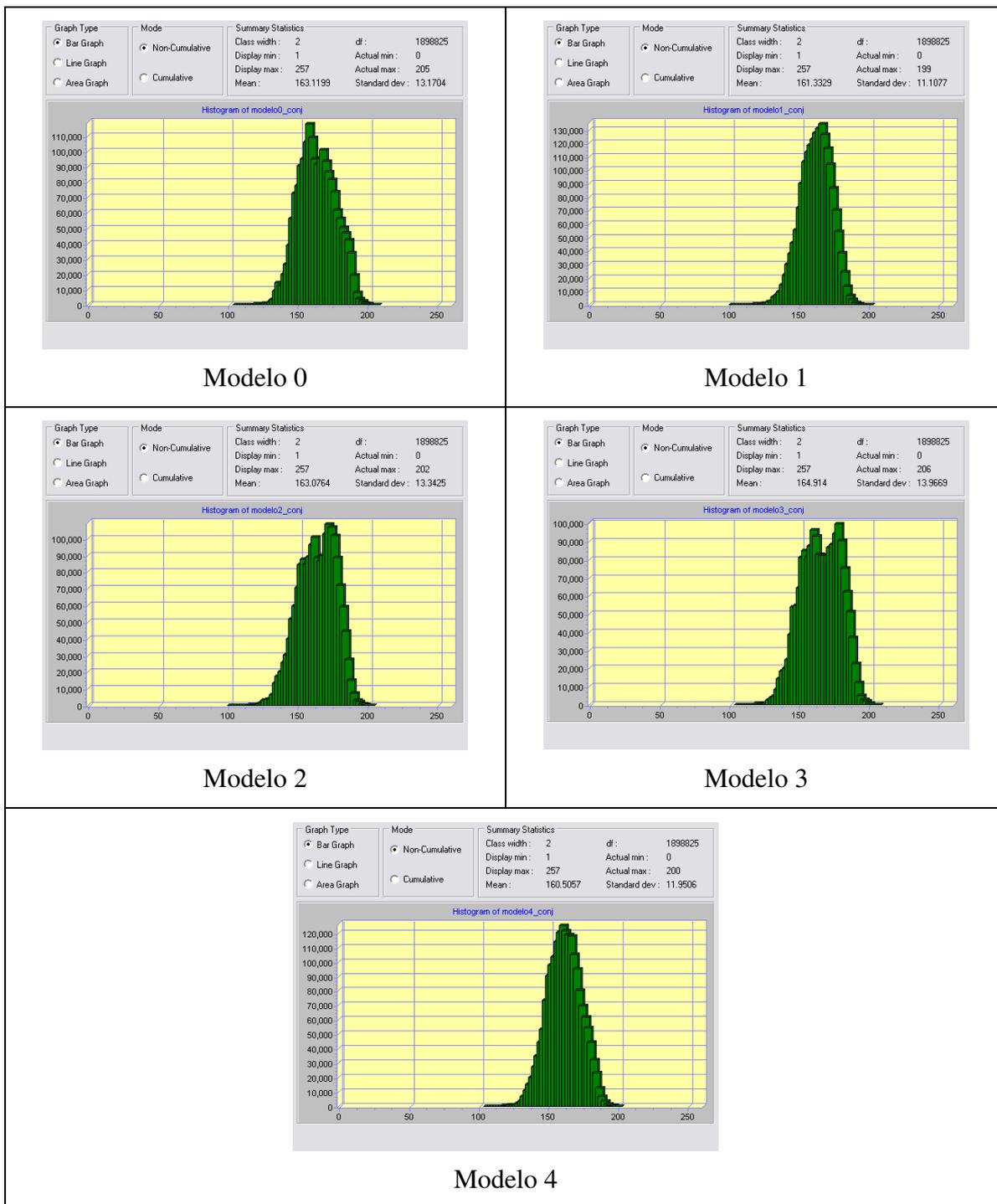


Figura 10 – Histogramas resultantes dos modelos conjuntos

Os histogramas resultantes dos modelos rodados para o meio terrestre podem ser visualizados na figura 5.

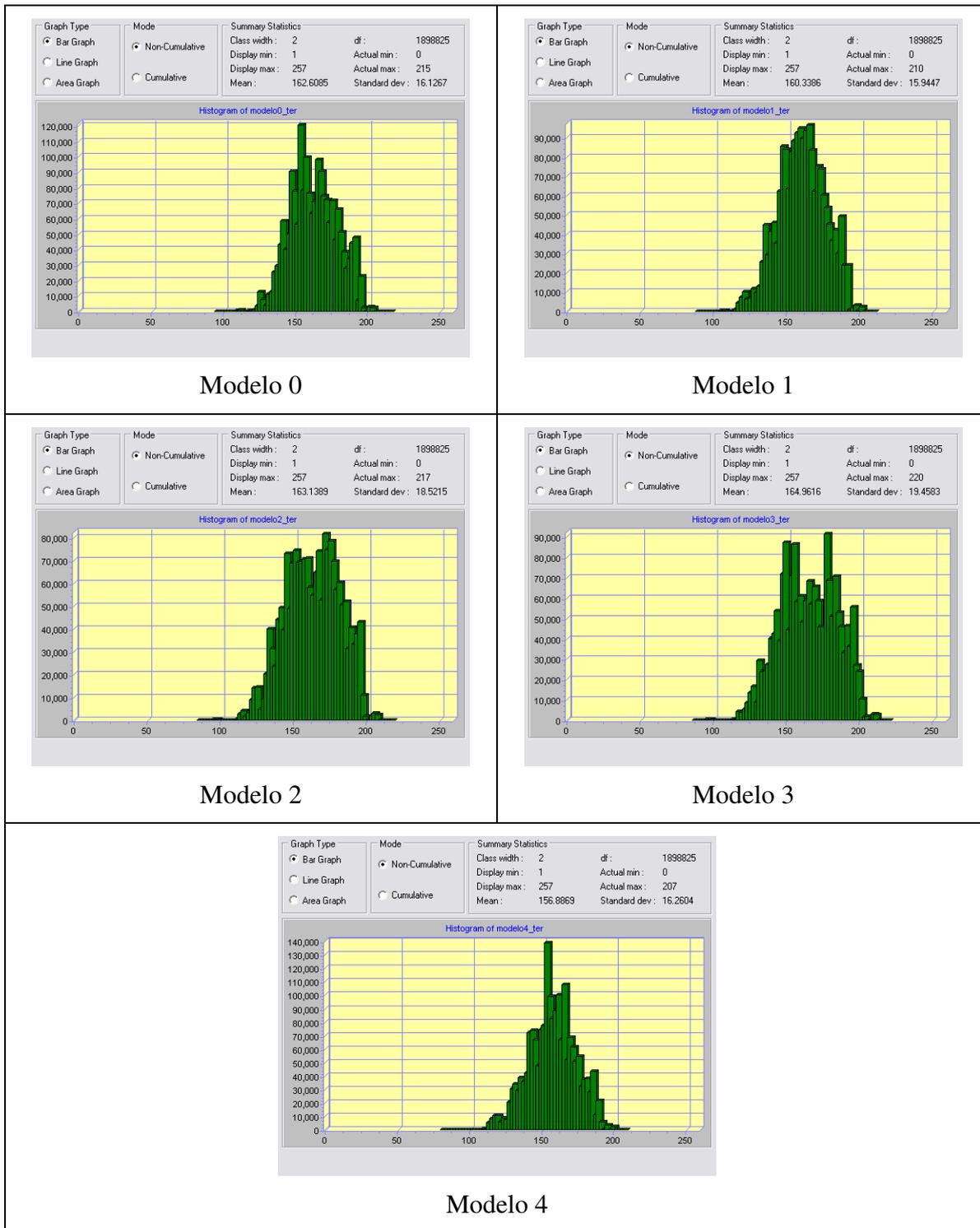


Figura 11 Histogramas dos modelos rodados para o meio terrestre

A figura 6 apresenta os histogramas dos modelos rodados para o meio aquático.

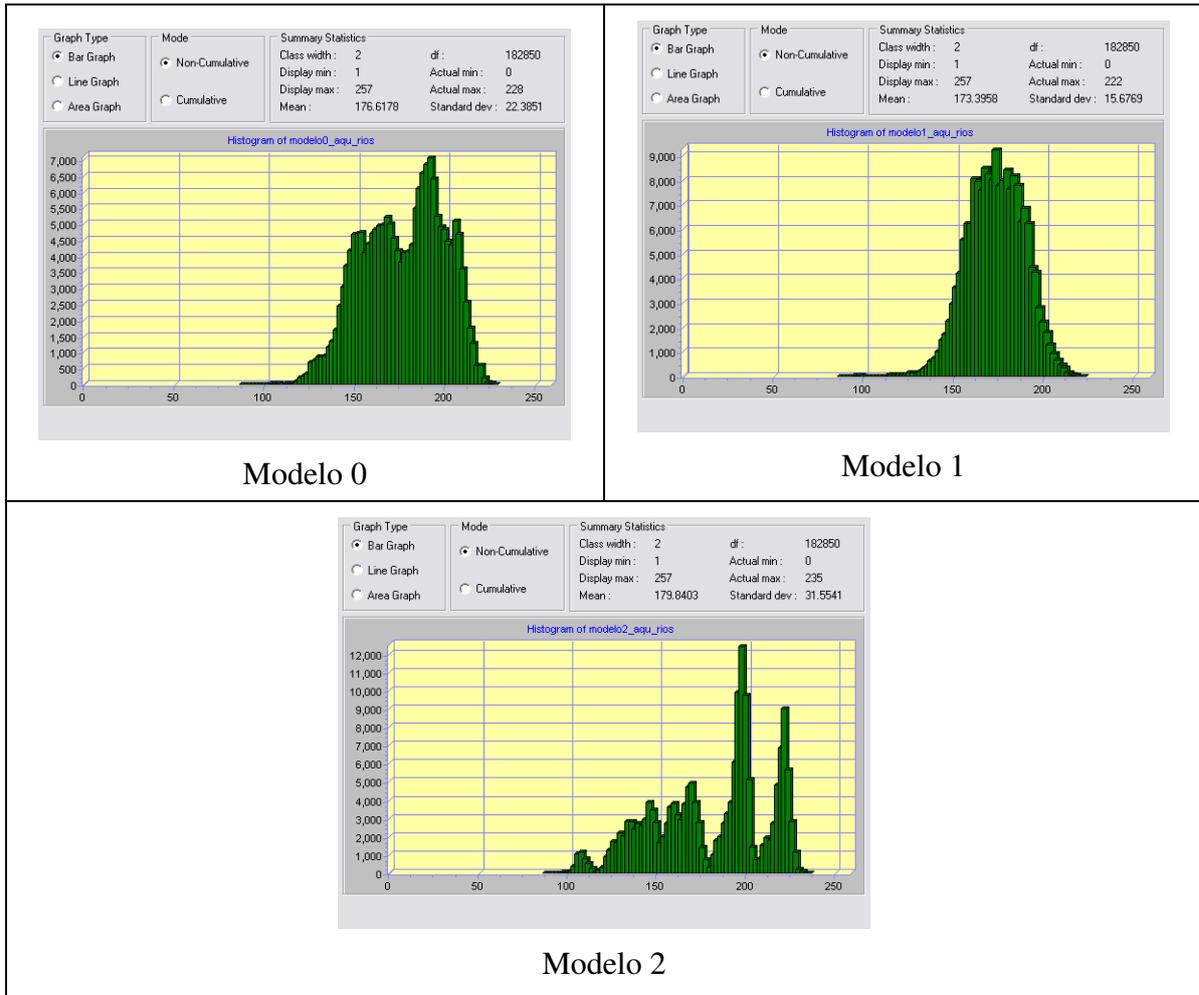


Figura 12 Histogramas resultantes dos modelos rodados para o meio aquático.

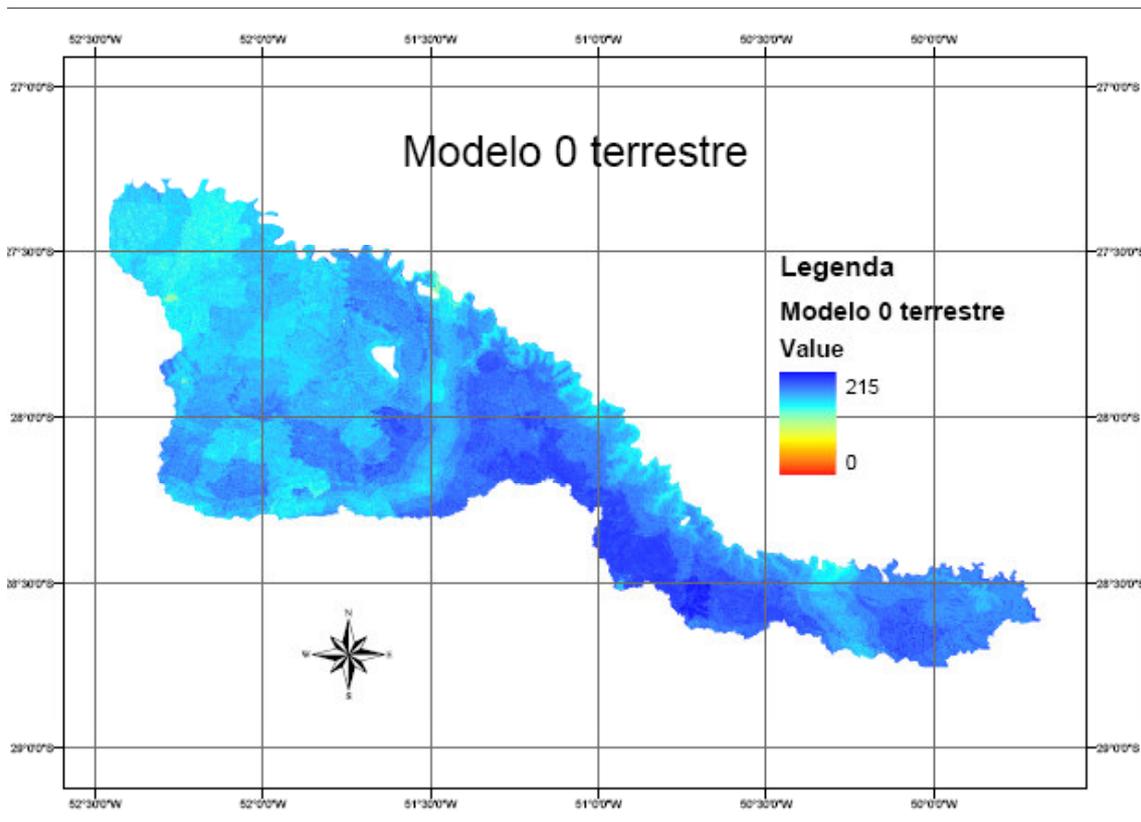


Figura 13 Mapa síntese do modelo 0 – meio terrestre

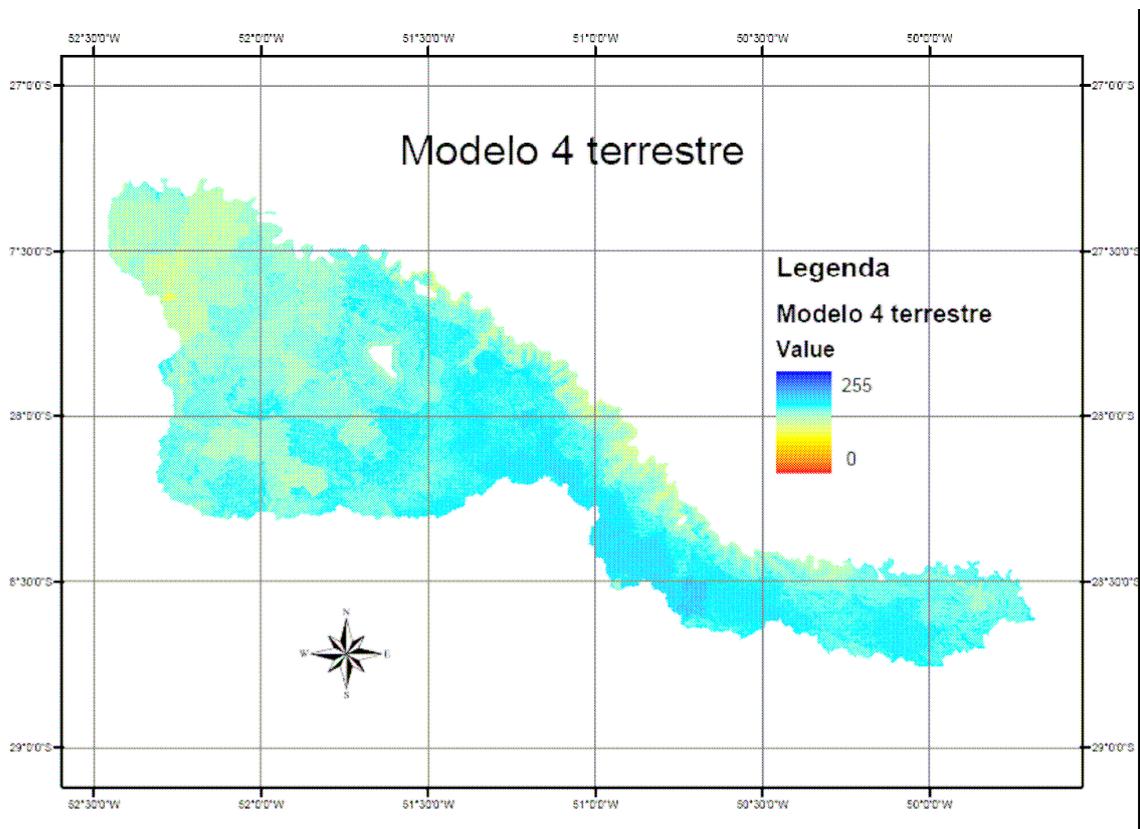


Figura 14 Mapa síntese do modelo 4 – meio terrestre

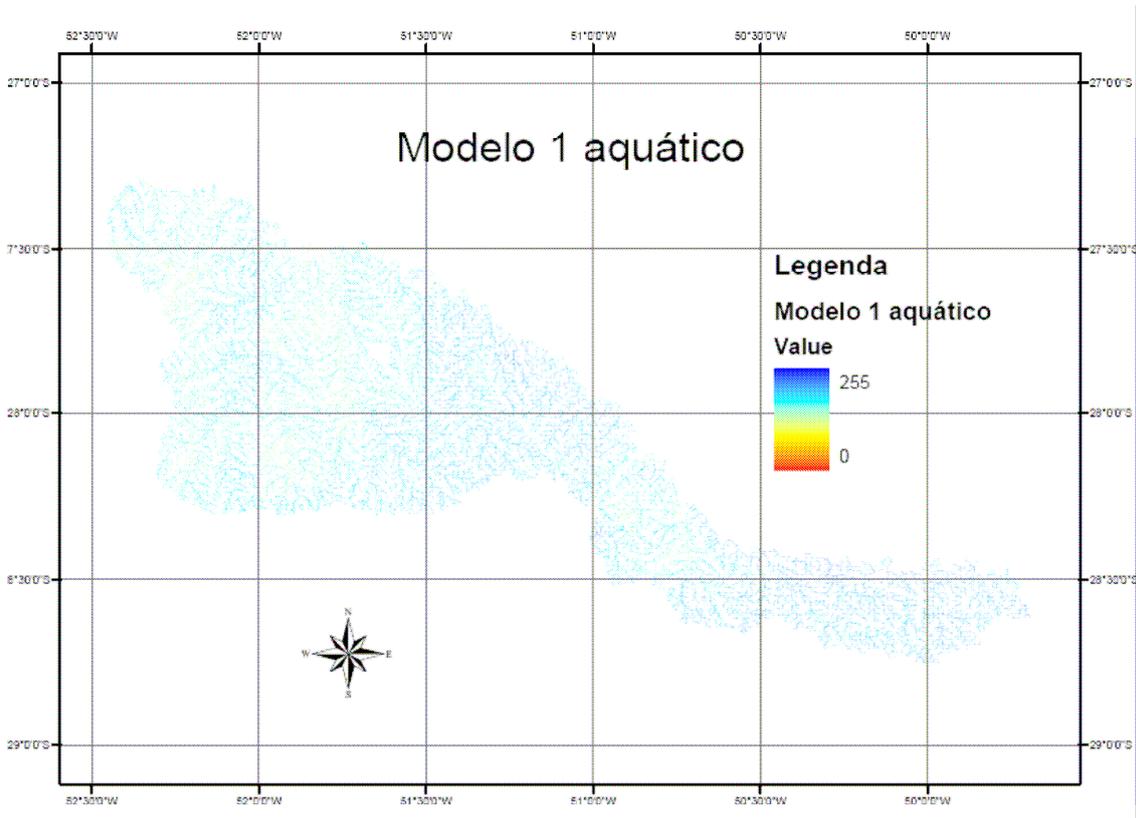


Figura 15 Mapa síntese do modelo 1 – meio aquático

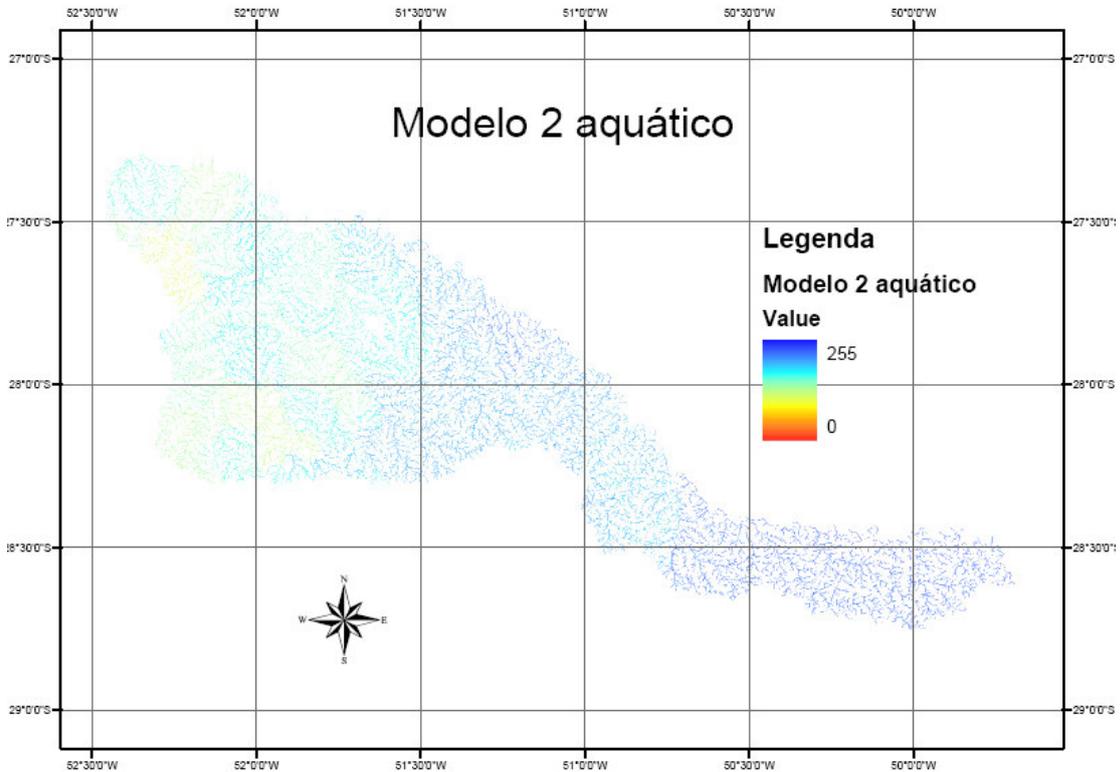


Figura 16 Mapa síntese do modelo 1 – meio aquático

A Tabela 31 apresenta a síntese dos resultados para os modelos rodados para os meios aquático e terrestre. A figura 17 apresenta a ordenação dos empreendimentos de acordo com o meio aquático, modelo 2, que representa o modelo que apresenta o maior coeficiente de variação do índice no meio aquático. Ou seja, como possui uma maior variabilidade entre os modelos do meio aquático, consegue discriminar melhor entre os empreendimentos. Já a escolha do meio aquático é devida ao fato de que este meio apresenta a menor favorabilidade, ou uma maior fragilidade.

Da análise, observa-se que somente as duas opções da PCH São Joaquim, com relação aos empreendimentos do Alto Pelotas, encontram-se dentro do bloco de empreendimentos relativamente bem situados quanto ao índice. Este fato deve-se à presença da Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, a qual praticamente inviabiliza os aproveitamentos UHE Ponta da Cadeia, PCH Guatambu 1, PCH Santo Inácio, UHE Paiquerê e PCH Guatambu 2.

Dos aproveitamentos propostos no inventário do rio Santana, observa-se que, do ponto de vista do índice de favorabilidade ambiental relativa, os pontos Santana 4ª e 5A destacam-se pelo índice muito baixo de favorabilidade. Os aproveitamentos Santana 1, 3A e 2 demonstraram as maiores favorabilidades.

Os novos aproveitamentos propostos para o rio Forquilha, PCHs Forquilha 2 e 4, apresentam boas condições de favorabilidade.

Também observa-se que as grandes barragens estão situadas na parte direita do gráfico, demonstrando que os impactos são maiores em função do tamanho do reservatório. As exceções referem-se às PCHs que ocorrem na Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.

Dada sua alta favorabilidade, recomenda-se que seja avaliada a possibilidade de reativação da PCH Touros.

Estes resultados devem ser relativizados, como proposto em FEPAM (2004), para o impacto que cada empreendimento causa sobre o estado de fragmentação da rede fluvial. No Anexo é apresentada uma tabela com os valores dos trechos de rios antes e depois da implantação de um reservatório.

Tabela 31 Índice de favorabilidade ambiental relativa para os meios aquático e terrestre.

Barragem	Área inundada m ²	Área inundada relativa	Índice de Favorabilidade Ambiental Relativa							
			Meio aquático			Meio terrestre				
			mod 0	mod 1	mod 2	mod 0	mod 1	mod 2	mod 3	mod 4
PCH TOUROS	296394	0.20	100.18	91.44	108.98	84.80	86.40	90.31	90.53	85.43
PCH MOINHO	291912	0.20	97.01	92.57	101.45	71.52	68.86	74.34	77.05	64.81
PCH SANTANA 1	1664373	1.12	89.34	79.46	99.15	90.52	88.68	91.79	93.43	86.20
PCH SANTANA 3A	1198495	0.80	87.26	76.20	98.32	80.09	77.43	82.05	84.46	73.58
PCH SANTANA 2	3104149	2.08	86.60	75.05	98.08	89.61	87.80	91.01	92.72	85.22
PCH SAO BERNARDO	159986	0.11	91.90	86.11	97.83	73.42	70.42	76.33	79.33	67.30
PCH OURO	4475	0.00	93.33	88.67	97.67	57.50	58.50	64.50	65.50	56.50
PCH ESMERALDA	82319	0.06	90.93	84.43	97.29	78.56	76.97	79.84	81.25	73.34
B 13 09	1888856	1.27	89.81	87.59	91.89	88.27	86.63	87.83	88.89	85.05
PCH FORQUILHA 2	766475	0.51	85.00	84.98	85.08	85.25	84.81	84.97	85.22	84.53
PCH FORQUILHA	622450	0.42	82.00	80.78	83.31	89.12	88.63	88.48	88.71	88.94
B 15 09	1191154	0.80	79.93	78.63	81.22	86.94	85.16	85.39	86.30	84.53
PCH FORQUILHA 4	705868	0.47	80.61	80.75	80.47	80.39	79.71	79.83	80.22	79.19
PCH AVANTE	55685	0.04	75.48	83.18	67.93	82.58	80.78	77.93	78.08	80.78
B 17 09	1215460	0.81	67.52	74.20	60.81	72.04	69.69	67.06	67.50	68.29
PCH SÃO JOAQUIM 2	908264	0.61	56.48	53.01	59.98	46.08	44.79	47.98	49.54	43.28
PCH SÃO JOAQUIM 1	2879299	1.93	49.86	46.42	53.29	41.70	40.47	43.38	44.81	39.17
UHE PASSO DA CADEIA	48541433	32.54	14.96	12.44	17.49	10.51	9.72	11.56	12.46	8.87
PCH GUATAMBU 1	4597015	3.08	14.63	13.21	16.06	12.51	12.06	13.06	13.53	11.62
PCH SANTO INÁCIO	6440742	4.32	12.91	11.76	14.07	10.93	10.54	11.44	11.88	10.19
UHE MACHADINHO	86229167	57.81	10.46	8.23	12.68	5.73	5.36	6.49	6.96	4.28
UHE BARRA GRANDE	98684960	66.16	7.37	4.57	10.17	-1.95	-3.52	-0.70	0.78	-5.30
PCH SANTANA 4A	1048356	0.70	4.88	4.35	5.41	4.06	3.85	4.21	4.41	3.65
UHE PAQUERE	66535920	44.61	2.25	0.32	4.18	-3.90	-4.61	-2.86	-2.08	-5.52
PCH GUATAMBU 2	455234	0.31	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15
PCH SANTANA 5A	618541	0.41	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21
UHE ITA	149165748	100.00	-27.06	-26.67	-27.44	-26.97	-27.21	-27.42	-27.37	-27.48
máximo	149165748	média	53.45	50.79	56.11	48.48	47.47	49.20	50.14	46.15
		CV	1.31	1.29	1.32	1.23	1.22	1.25	1.26	1.20

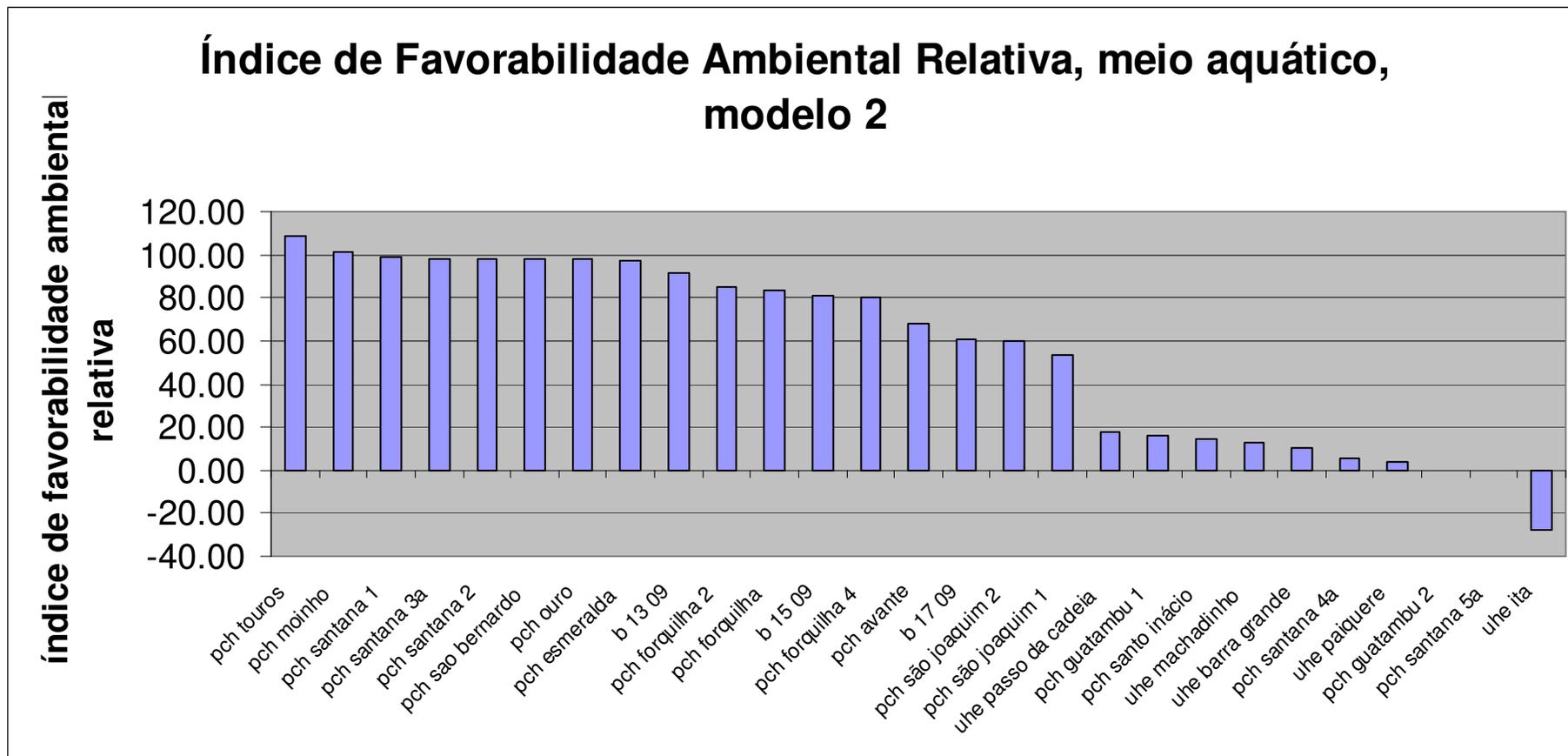


Figura 17 Índice de favorabilidade ambiental relativa para o meios aquático, modelo 2.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINHO, A. A.; L. CARLOS GOMES; H. I. SUZUKI & H. F. JÚLIO JR. Migratory Fishes of the Upper Paraná River Basin, Brazil. In: J. CAROSFELD, B. HARVEY, A. BAER, C. ROSS (eds). *Migratory Fishes of South America: Biology, social importance and conservation status*. World Fisheries Trust, 2004.
- BACKES, A., NARDINO, M. *Árvores, arbustos e algumas lianas nativas no Rio Grande do Sul*. São Leopoldo: Ed. UNISINOS. 1998. 202p.
- BACKES, P., IRGANG, B. *Árvores do Sul*. Santa Cruz: Clube da Árvore / Instituto Souza Cruz. 2002. 325p.
- BALON, E.K, 1974. Fishes from the Edge of Victoria Falls, Africa: Demise of a Physical Barrier from Downstream Invasions. *Copeia*: 3: 643 – 660
- BELTON, W. *Aves do Rio Grande do Sul: distribuição e biologia*. São Leopoldo: Ed. UNISINOS. 1994. 584p.
- BENCKE, G.A. *Lista de referênciã das aves do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. 2001. 102p.
- BENCKE, G.A., KINDEL, A. Bird counts along an altitudinal gradient of Atlantic forest in northeastern Rio Grande do Sul, Brazil. *Ararajuba*, v. 7, n. 1, p. 91-107, 1999.
- BENCKE, G.A., KINDEL, A., MÄHLER Jr, J.K. Adições à avifauna de Mata Atlântica do Rio Grande do Sul. p. 317-323. In: *A ornitologia no Brasil: pesquisa atual e perspectivas*. Sociedade Brasileira de Ornitologia. 2000.
- BENDA, L.; ANDRAS, K.; MILLER, D. & BIGELOW, P. 2004a. Confluence effects in rivers: Interactions of basin scale, network geometry, and disturbance regimes. *Water Resources Research*, vol. 40, W05402, doi:10.1029/2003WR002583, 2004. 15 p.
- BENDA, L.; POFF, L.; MILLER, D.; DUNNE, T.; REEVES, G.; PESS, G.; POLLOCK, M. 2004b. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. *Bioscience*, vol. 54, no. 5, p 413-427.
- BERTACO, V.A., MALABARBA, L.R. Description of two new species of *Astyanax* (Teleostei: Characidae) from headwater streams of South Brazil, with comments on the "A. scabripinnis species complex". *Ichthiol. Explor. Freshwaters*, v. 12, n. 3, p. 221-234. 2001.
- BERTOLETTI, J.J., LUCENA, C.A.S., LUCENA, Z.M.S., MALABARBA, L.R., REIS, R.E. Estrutura e composição da fauna de peixes na área de influência da futura usina hidrelétrica de Garabi, Rio Grande do Sul, Brasil. *Comm. Mus. Cienc. Tecnol. PUCRS, Ser. Zool.*, v. 3, n. 2, p. 33-97. 1990.
- BRACK, P., BUENO, R.M., FALKENBERG, D.B., PAIVA, M.R.C., SOBRAL, M., STEHMANN, J.R. Levantamento Florístico do Parque Estadual do Turvo, Tenente Portela, Rio Grande do Sul, Brasil. *Roessléria*, Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais "Ataliba Paz", Porto Alegre, v. 7, n. 1. 1985.
- BRAUN, P.C., BRAUN, C.S. Lista prévia dos anfíbios do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér. Zool.*, Porto Alegre. n. 56, p. 121-146. 1980.
- BRUM, N.B. *Caminhos do Sul*. Porto Alegre: Metr pole, 1999. 169 p.
- BUCKUP, P.A. & REIS, R.E. Characidiin Genus *Characidium* (Teleostes, Characiformes) in Southern Brazil, with Description of Three New Species. *Copeia*, n. 3, p.531-548. 1997.

- CÂMARA, L.F, HAHN, L. The fish fauna of two tributaries of the Passo Fundo river basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Comm. Mus. Cienc. Tecnol. PUCRS, Ser. Zool.*, v. 15, n. 2, p. 163-174. 2002.
- CEEE. Companhia Estadual de Energia Elétrica. Inventário Hidrelétrico da Sub-Bacia 75. Porto Alegre: Geolinks, Convênio SOPHS/DRH/CRH-RS-SEMC/CEEE. 4 tomos, 9 vols. 2000.
- CEMIG/CETEC. Companhia Energética de Minas Gerais / Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Guia ilustrado de peixes da bacia do Rio Grande*. 2000. 144p.
- CMR. Comision Mundial de Represas. *Represas y Desarrollo - Um Nuevo Marco para la Toma de Decisiones. El Reporte Final de la Comision Mundial de Represas*. Cape Town: Comision Mundial de Represas/Global Water Partnership/Unión Mundial para la Naturaleza. 444 p., 2000.
- CNEC. *Estudos de Implantação do Pólo Petroquímico de Triunfo*. 1980.
- COLLAR, N.J., CROSBY, M.J., STATTERSFIELD, A.J. *Birds to watch 2: The world list of threatened birds*. Cambridge: BirdLife International. 1994.
- COOTE, D.R. & GREGORICH, L.J. (eds.) *The Health of our Water: toward sustainable agriculture in Canada*. Ottawa: Minister of Public Works and Government Services Canada. 187 p. ([http:// res2.agr.ca/research-recherche/science/Healthy_Water/toc.html](http://res2.agr.ca/research-recherche/science/Healthy_Water/toc.html)). 2000.
- DI-BERNARDO, M. *História natural de uma comunidade de serpentes da borda oriental do planalto das araucárias, Rio Grande do Sul, Brasil*. Tese de Doutorado, não publicada, Instituto de Biociências, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 1998. 123p.
- EASTMAN, R.J. *IDRISI32: Guide to GIS and Image Processing. Vol 1*. Worcester: Clark Labs. 1999. 193 p.
- EISENBERG, J.F., REDFORD, K.H. *Mammals of the neotropics - the Central Neotropics*. v. 3. The University of Chicago Press. 1999b.
- EISENBERG, J.F., REDFORD, K.H. *Mammals of the neotropics - the Southern Cone*. v. 2. The University of Chicago Press. 1999a.
- ELETOBRÁS. *Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas*. <http://www.eletobras.gov.br/atuacao/recursos/default.asp>. 1997.
- FEE. Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. *Anuário Estatístico do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: FEE. CD-ROM. 2001.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. *Efluentes líquidos Industriais: cargas poluidoras lançadas nos corpos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul - 1997*. Porto Alegre: FEPAM. 145 p. 1997.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. *Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais*. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.) Mapa em meio digital. 2001.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler. 2004. *Análise de Fragilidades Ambientais e da Viabilidade de Licenciamentos de Aproveitamentos Hidrelétricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Ijuí e Butuí-Piratinim-Icamaquã, Região Hidrográfica do Rio Uruguai - RS*. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS. 140 p.
- FEPAM/FAURGS. 2005. Classificação taxonômica dos solos do Estado do Rio Grande do Sul segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e Avaliação da classe de resistência a impactos ambientais. Relatório Final. (não publicado).
- FLORES, M. *Tropeirismo no Brasil*. Porto Alegre: Nova Dimensão, 1998. 92 p.
- GAMMON, J.R. & SIMON T.P. Vraiation in a Great River Index of biotic Integrity over a 20-year period. *Hydrobiologia*, n.422/423, p. 291-304. 2000.
- GANASAN, V. & HUGHES, R.M. Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India. *Freshwater Biology*, n.40, p. 367-383. 1998.
- GUAPYASSSÚ, M.S. & HARDT, L.P.A. Avaliação de Fragilidade Ambiental: uma nova abordagem metodológica para unidades de conservação de uso indireto em áreas urbanas. *Floresta e Ambiente*, Vol. 5(1):55-67. 1998.

- HADDAD, C.F.B., ABE, A.S. Anfíbios e Répteis. *In: Workshop Mata Atlântica e Campos Sulinos*. 1999.
- HUGUENY, B., CAMARA, S., SAMOURA, B. & MAGASSOUBA, M. Applying an index of biotic integrity based on fish assemblages in a West African river. *Hydrobiologia*, n.331, p71-78. 1996.
- IBGE-RADAM-BRASIL. *Folhas SH. Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim.(Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra)*. Rio de Janeiro, 1986. 796p.
- KARR, J.R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, v.6, n.6, p.21-27. 1981.
- KARR, J.R. Biological Monitoring and Environmental Assessment: a Conceptual Framework. *Environmental Management*, v.11, n.2, p. 249-256. 1987.
- KLEIN, R.M. Árvores Nativas da Floresta Subtropical do Alto Uruguai. *Sellowia*, Itajaí, SC, v. 24, n. 24, p. 9-62. 1972.
- LASSEVILS, J.F. & BERRUX, D. 2000. *Sources of phosphorus to surface waters: comparing calculated with measured P loadings for three French rivers*. Disponível em <http://www.ceep-phosphates.org/geoplusuk.pdf>. Acesso em 08/05/2005.
- LEMA, T. & FERREIRA, M.T.S. Contribuição ao conhecimento dos Testudines do Rio Grande do Sul (Brasil) - Lista sistemática comentada (Reptilia). *Acta biol. leopoldensia*, v. 12, n. 1, p. 125-164. 1990.
- LEMA, T. A nomenclatura vulgar das espécies de serpentes ocorrentes no Estado do Rio Grande do Sul, e a proposição de sua unificação. (Reptilia, Serpentes). *Acta biol. leopoldensia*, v. 11, n. 1, p. 25-46. 1989.
- LEMA, T. Lista comentada dos Répteis ocorrentes no Rio Grande do Sul, Brasil. *Comun. Mus. Ciênc. Tecnol. PUCRS, Série Zool.*, Porto Alegre, v. 7, p. 41-150. 1994.
- LUCENA, C.A.S. & KULLANDER, S.O. The *Crenicichla* (Teleostei: Cichlidae) species of the Uruguai River drainage in Brazil. *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, v.3, n.2, p. 97-160. 1992.
- MARET, T.R., ROBINSON, C.T., & MINSHALL, G.W., 1997. Fish assemblages and environmental correlates in least-disturbed streams of the Upper Snake River Basin: Transactions of the American Fisheries Society, v. 126, no. 2, p. 200-216.
- MARQUES, A.A.B., FONTANA, C.S., VELEZ, E., BENCKE, G.A., SCHNEIDER, M., REIS, R.E. *Lista de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Rio Grande do Sul. Decreto n.º 41672, de 11 junho de 2002*. Porto Alegre: FZB/MCT-PUCRS/PANGEA, 52p. Publicações Avulsas FZB, n. 11. 2002.
- MEDIDAS: Com quantas braças se perfaz uma légua. Disponível em <http://www.brazilia.jor.br/HistDocs/Medidas.htm>. Acesso em 12/11/2005.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. *Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade nos Biomas Brasileiros*. Brasília: MMA/SBF, 2004. 404 p. CDROM (edição digital).
- MORATO, S.A.A. *Padrões de Distribuição da Fauna de Serpentes da Floresta de Araucária e Ecossistemas Associados na Região Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado, não publicada, Curso de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná. 1995. 122p.
- NAKATANI, K., AGOSTINHO, A.A., BAUMGARTNER, G., BIALETZKI, A., SANCHES, P.V., MAKRAKIS, M.C., PAVANELLI, C.S. *Ovos e larvas de peixes de água doce. Desenvolvimento e manual de identificação*. Ed. da Universidade Estadual de Maringá, 2001. 378p.
- OLIVEIRA, L.D. O Caminho das Tropas. *In: Anais. CIPA International Symposium 1999 "Mapping and Preservation for the New Millenium"*. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Olinda, Brasil, de 3 a 6 de outubro de 1999. Disponível em <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/olinda/99c507.pdf>. Acesso em 16/11/2005.

- OLIVEIRA, R.B., DI-BERNARDO, M. Serpentes da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul: generalizações a partir de amostragem pontual. *In: Resumos do XXI Congresso Brasileiro de Zoologia*, 05 a 09 de fevereiro, Porto Alegre. 1996.
- OSPAR CONVENTION FOR THE PROTECTION ON THE MARINE ENVIRONMENT OF THE NORTH-EAST ATLANTIC. *Guideline 4: Quantification and Reporting of Nitrogen and Phosphorus Discharges from Sewage Treatment Works and Sewerage*. OSPAR 00/92 Add.4 and OSPAR 00/20/1, § 9.5a, 2000.
- PAIVA, M.P., ANDRADE-TUBINO, M.F., GODOY, M.P. *As represas e os peixes nativos do Rio Grande, bacia do Paraná, Brasil*. Ed. Interciência, 2002. 78p.
- PEREIRA, E.H.L., REIS, R.E. Revision of the loricariid genera *Hemipsilichthys* and *Isbrueckerichthys* (Teleostei: Siluriformes) with description of five new species of *Hemipsilichthys*. *Ichthiol. Explor. Freshwaters*, v. 13, n. 2, p. 97-146. 2002.
- PETERS, J. A., DONOSO-BARROS, R. Catalogue of the Neotropical Squamata. Part 2. Lizards and Amphisbaenians. *Bull. U. S. Nat. Mus.*, n. 297, p. 1-293. 1970.
- PETERS, J. A., OREJAS-MIRANDA, B. Catalogue of the Neotropical Squamata. Part 1. Snakes. *Bull. U. S. Nat. Mus.*, n. 297, p. 1-347. 1970.
- RAMBO, B. *A fisionomia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. Selbach. 1956. 476p.
- RAMÍREZ, A. & PRINGLE, C. M., 2001. Spatial and temporal patterns of invertebrate drift in streams draining a Neotropical landscape. *Freshwater Biology* 46: 47 - 62.
- REIS, R.E., PEREIRA, E.H.L. Three new species of the Loricariid catfish genus *Loricariichthys* (Teleostei: Siluriformes) from Southern South America. *Copeia*, v. 4, p. 1029-1047. 2000.
- REIS, R.E., SCHAEFER, S.A. New cascudinhos from Southern Brazil: systematics, endemism, and relationships (Siluriformes, Loricariidae, Hypoptopomatinae). *American Museum Novitates* n. 3254, 1998. 25p.
- REIS, R.E; KULLANDER, S.O. & FERRARIS JR., S.J. *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*. EDIPUCRS, 2003.
- REITZ, R., KLEIN, R. M., REIS, A. Projeto Madeira do Rio Grande do Sul. *Sellowia*, Itajaí, SC, n. 34-35. 1983.
- RIDLEY, M., 1999. *Evolution*. 2nd Ed. Blackwell Science, Quebec. 719pp.
- RIO GRANDE DO SUL. 2003. Decreto nº42.099, de 31 de dezembro de 2002. Declara as espécies da flora nativa ameaçadas de extinção no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 1º jan. 2003, v.62, n.1, p.1-6, 2003.
- RODRIGUES, E.M.S.; MADEIRA, J.L.; SANTOS, L.M.S.; BARROSO, V.L.M. (orgs.) *Bom Jesus e o Tropeirismo no Cone Sul*. Porto Alegre: Edições EST, 2000. 429 p.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. *Manual de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água. Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas*. 2 ed., Florianópolis: EPAGRI. 1994. 384 p.
- SANTOS, L.M.S.; VIANNA, M.L.C. & BARROSO, V.L.M. (orgs.) *Bom Jesus e o Tropeirismo no Brasil Meridional*. Porto Alegre: Edições EST, 1995. 184 p.
- SCHIEMER, F. Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers. *Hydrobiologia*, n. 422/423, p. 271-278. 2000.0
- SICK, H. *Ornitologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997. 862p.
- SILVA, C.P.D., 1999. Estrutura, dieta e padrão longitudinal da comunidade de peixes de dois rios da Estação Ecológica Juréia-Itatins e sua regulação por fatores bióticos e abióticos. Tese de doutorado.136pp. UNICAMP, Campinas.
- SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C. (org.) *Seleção Ambiental de Barragens: Análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica*. Santa Maria. Editora UFSM/ABRH. 2005, 390p.
- SOUZA, A.B. AND O. MOREIRA-FILHO, 1994. Estudos cariotípicos em duas populações do caracideu *Astyanax scabripinnis*. I. Riacho próximo a Campos do Jordao, SP. p. 35. In: V. Simp. Citogenet. Evol. e Aplic. de Peixes Neotropicais, Botucatu - SP.

- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.* n. 63, p. 1117-1142. 1952.
- UFSM. *Inventário de Recursos Hídricos e de Possíveis Locais de Barramentos para Fins de Irrigação na Parte Norte do Rio Grande do Sul, 1ª Etapa: Inventário de Bacias Hidrográficas, Volume 2: Diagnóstico das Bacias em Estudo*. Santa Maria: Termo de Cooperação MAPA-UFSM nº 001/2002. 3 TOMOS. 2002.
- VAZZOLER, A.E.A.M. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: Teoria e prática*. Ed. da Universidade Estadual de Maringá, 1996. 169p.
- VEREGUE, A.M.L. & ORSI, M.L., 2003. Biologia reprodutiva de *Astyanax scabripinnis paranae* (Eigenmann) (Osteichthyes, Characidae), do ribeirão das Marrecas, bacia do rio Tibagi, Paraná. *Rev. Bras. Zool., Mar.*, vol.20, no.1, p.97-105.
- VILELLA F.S., 2002. Ecologia da comunidade aquática de um riacho de 1ª ordem da Mata Atlântica: Relações entre variáveis estruturais e bióticas em uma Reserva de Biosfera Tropical. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos. 89 pp.

ANEXO

Valores de favorabilidade dos trechos de rios antes e depois de sua inserção (valores calculados para os empreendimentos dos cenários futuros).

Barragem	Índice de Favorabilidade Ambiental Relativa	Valor do trecho antes	Valor do trecho depois montante	Valor do trecho depois jusante	Máxima diferença (antes - depois)
<i>PCH MOINHO</i>	101,45	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>PCH SANTANA 1</i>	99,15	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>PCH SANTANA 3A</i>	98,32	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>PCH SANTANA 2</i>	98,08	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>PCH OURO</i>	97,67	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>PCH ESMERALDA</i>	97,29	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>B 13 09</i>	91,89	77,00	109,00	77,00	-32,00
<i>PCH FORQUILHA 2</i>	85,08	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>B 15 09</i>	81,22	77,00	109,00	77,00	-32,00
<i>PCH FORQUILHA 4</i>	80,47	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>B 17 09</i>	60,81	64,00	109,00	64,00	-45,00
<i>PCH SÃO JOAQUIM 2</i>	59,98	77,00	179,00	179,00	-102,00
<i>PCH SÃO JOAQUIM 1</i>	53,29	77,00	179,00	179,00	-102,00
<i>UHE PASSO DA CADEIA</i>	17,49	77,00	179,00	179,00	-102,00
<i>PCH GUATAMBU 1</i>	16,06	77,00	0,00	179,00	-102,00
<i>PCH SANTO INÁCIO</i>	14,07	77,00	109,00	0,00	-77,00
<i>PCH SANTANA 4A</i>	5,41	179,00	179,00	179,00	0,00
<i>UHE PAQUERE</i>	4,18	77,00	179,00	179,00	-102,00
<i>PCH GUATAMBU 2</i>	-0,15	77,00	179,00	179,00	-102,00
<i>PCH SANTANA 5A</i>	-0,21	179,00	179,00	179,00	0,00

ANEXO CARTOGRÁFICO

Roteiro da Viagem

Legenda

- ▲ Pontos gravados no GPS
- Trilha da viagem
- Rios

