

Avaliação Ambiental Integrada: Construção Metodológica de Modelo para Bloco do Meio Físico

Jussara Cabral Cruz¹, Andrea Valli Nummer¹, Flávio Luiz Foleto Eltz¹, José Luiz Silvério da Silva¹, Tales Augusto Araujo¹
jussaracruz@gmail.com, a.nummer@gmail.com, flavioeltz@gmail.com, silverioufsm@gmail.com, tmilaraujo@gmail.com

Recebido: 08/02/12 – revisado: 14/06/12 – aceito: 03/10/12

RESUMO

A avaliação ambiental integrada é necessária para o licenciamento ambiental de hidrelétricas e permite hierarquizar trechos de rios e de bacias com base em fragilidades ambientais, com dados abrangentes a toda a bacia, importantes para a detecção de variações ambientais em relação às obras no meio e ao meio nas obras. A análise é constituída de três blocos: físico, biótico e antrópico. Este trabalho apresenta a metodologia elaborada para avaliação do meio físico, envolvendo cinco aspectos: Geologia e Geomorfologia, Estabilidade de Encostas, Fragilidade à Erosão, Áreas de Mineração e Contaminação das Águas Superficiais e Subterrâneas (aquéferos). Cada aspecto foi constituído de variáveis, as quais foram transformadas em uma escala de valores de 0 a 255 bytes para facilidade de armazenamento e processamento computacional, sendo um a maior fragilidade e 255 a menor fragilidade. Em sistema de informações geográficas foram gerados mapas para cada aspecto, e o cruzamento destes aspectos, com pesos decididos pela comunidade do grupo de trabalho do projeto, gerou um mapa para o bloco físico.

Palavras-chave: Hidrelétricas. Bacia hidrográfica. Fragilidade ambiental.

INTRODUÇÃO

Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas, com o enfoque abordado neste artigo, consiste na análise integrada de uma bacia hidrográfica à luz de uma abordagem metodológica que permita hierarquizar trechos de rios e de bacias com base em análises de fragilidades ambientais, visando subsidiar a construção de políticas, planos e programas, preferencialmente em uma etapa anterior ao processo de Licenciamento Ambiental.

Quando em 2003 o IBAMA passou a exigir no licenciamento ambiental de usinas hidrelétricas que a bacia hidrográfica fosse considerada como área de influência dos estudos, conforme determina a Resolução CONAMA nº 01/86, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) adotou a Avaliação Ambiental Integrada (AAI) de Bacia Hidrográfica como estratégia para a redução dos conflitos nos licenciamentos e, no início de 2004, iniciou uma série de discussões com o Ministério de Minas e Energia – MME relativo a essa questão.

Após a realização de algumas AAIs, percebendo a necessidade de aprimoramento dos méto

dos e antevendo a necessidade de sua aplicação em outras bacias, o MMA buscou parceria com a UNIPAMPA e UFSM para a realização do projeto “Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas” (FRAGRIO), visando atender a demanda resultante de um Termo de Compromisso firmado entre o Ministério das Minas e Energia (MME), MMA, IBAMA, Advocacia Geral da União (AGU), Empresa Energética Barra Grande S.A. e Ministério Público Federal (MPF), com diretrizes metodológicas elaboradas de acordo com o MMA, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler-RS (FEPAM), FATMA (Fundação do Meio Ambiente-SC), EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e Comitê de Gestão Integrada de Empreendimentos de Geração do Setor Elétrico. O projeto atendeu a área da bacia hidrográfica do Médio e Alto Rio Uruguai.

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS

As Fragilidades Ambientais refletem o potencial de degradação na qualidade ambiental do meio como resposta a qualquer perturbação dos padrões e processos. O modelo de fragilidades ambientais deve ser

¹Universidade Federal de Santa Maria

capaz de espacializar esse potencial, de modo a permitir diferenciar as regiões segundo o grau relativo de maior ou menor fragilidade, por meio de indicadores que refletem alterações possíveis nos diferentes componentes do meio em função das possíveis alterações no mesmo. Pelo elevado número de variáveis indicadoras, as quais são tratadas de forma integrada, o modelo de fragilidades ambientais é na sua essência um modelo multicritério. Nesse tipo de modelo atribui-se um índice (nota final, valor síntese) a um processo (objetivo da valoração) em função de diferentes aspectos valorados por critérios pré-definidos.

Além disso, o modelo de fragilidades ambientais, distingue-se de zoneamento ambiental, definido pelo Decreto 4.297/2002 como um “instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas”, pois como um instrumento que gera informações, possibilita a definição de diretrizes que servem como balizadores do ordenamento, mas não constituem em si um zoneamento, podendo subsidiar planos, licenciamento ambiental e tomadas de decisão.

O desenvolvimento do modelo teve como ponto de partida o estudo “Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava”, desenvolvido pela FEPAM (FEPAM, 2005), na região hidrográfica do rio Uruguai, em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

A ideia de avaliar integralmente o ambiente da bacia hidrográfica permite hierarquizar trechos de rios e de bacias com base em fragilidades ambientais, utilizando dados que estejam disponíveis para toda a bacia em estudo, e que sejam significativos e sensíveis para a identificação de variação ambiental em relação a barramentos. Estes dados são divididos em três grandes blocos, assim chamados de blocos físico, biótico e antrópico.

Toda a análise parte de um modelo conceitual que entende o rio como um sistema contínuo, conectando todos os pontos da bacia até o seu exérlio, com as variáveis sendo analisadas por um sistema de informações geográficas que permite o detalhamento da distribuição das informações sobre toda a área da bacia hidrográfica em estudo, em um modelo digital *raster pixel a pixel*. O resultado desta avaliação ambiental integrada não define se algum empreendimento é viável ou não, mas organiza as informações disponíveis para que o órgão ambiental possa tomar a decisão com o conhecimento mais completo possível da situação ambiental da bacia hidrográfica.

A evolução dessa perspectiva passa pela construção de soluções que levam em conta a heterogeneidade das bases de dados, as diferenças regionais, estaduais e institucionais, bem como a identificação de variáveis que consideram as diversidades de ambientes regionais e que sejam significativas e sensíveis para a identificação de gradientes ambientais relacionados à implantação de barramentos.

Para alcançar o objetivo de hierarquizar os trechos de rio segundo a maior ou menor fragilidade à implantação de empreendimentos hidrelétricos, os resultados do modelo do meio físico devem ser cruzados com os mapas resultantes dos meios biótico e antrópico numa relação de pesos iguais. A hierarquização é realizada então, sobrepondo os trechos da drenagem obtidos dos diversos cenários analisados (diferentes combinações de implementação de empreendimentos, que originam as várias configurações de fragmentações da drenagem) ao mapa da análise integrada. O valor médio obtido de cada trecho é utilizado para a classificação.

Este artigo apresenta a construção do modelo de avaliação de fragilidades ambientais para representar **somente o bloco do meio físico**, parte do estudo de desenvolvimento metodológico realizado no Projeto FRAG-RIO, o que não permite por si só hierarquizar trechos de rios.

METODOLOGIA

A construção do modelo conceitual para avaliação da fragilidade ambiental das bacias hidrográficas do Alto e Médio Uruguai foi realizada com base em reuniões periódicas com as equipes, por meio do consenso obtido a partir da experiência qualitativa dos técnicos que formaram o “Grupo de Trabalho” do projeto FRAG-RIO, o qual inclui especialistas do MMA, FEPAM e FATMA, dos Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, bem como da equipe de especialistas do projeto. As reuniões objetivaram a discussão permanente da metodologia, da adequada seleção de variáveis indicadoras e dos pesos a serem atribuídos nas análises de multicritérios.

A definição dos critérios de seleção de variáveis é um passo extremamente importante para a metodologia proposta, porque tem que se relacionar com o modelo conceitual e ser disponível em toda a área da bacia hidrográfica. A escala da base cartográfica selecionada para a bacia nem sempre pode ser aplicada a todas as variáveis, desta forma, mapas com menor detalhamento darão um maior grau de

incerteza à qualidade global do modelo de análise de fragilidades ambientais. Além disto, estas variáveis devem ter algumas propriedades, tais como a) importância dada pela equipe multidisciplinar aos processos mais significativos que são representados pelos mapas e sua relativização em relação aos outros; b) discriminância do mapa em relação a espaços e empreendimentos, ou seja, poder distinguir onde é melhor ou pior em função de sua maior ou menor variabilidade espacial; c) consistência entre os produtos da análise e a realidade verificada a campo pela equipe multidisciplinar. Além disto, deve ser considerada nos resultados a hierarquização de trechos e cenários, a identificação de áreas com fragilidades maiores e menores.

A modelagem das fragilidades ambientais é espacialmente distribuída, a partir de mapas básicos ou temáticos, que combinados e classificados com a maior capacidade de gerar ou sofrer impactos, dão origem a mapas de fragilidades ambientais, auxiliando a tomada de decisão sobre quais áreas apresentam maior ou menor potencial para a implementação de empreendimentos hidrelétricos. São elaborados dois tipos de mapas: de fatores e de restrição. Dos cruzamentos sucessivos destes mapas são gerados os mapas-síntese, que contém informação agregada e por isto reduzem as incertezas, facilitando a tomada de decisão pela autoridade ambiental.

A padronização das variáveis contínuas é necessária, de modo que possa haver cruzamento das informações. Isto envolve a transformação da escala das variáveis, de modo que todas elas sejam expressas no mesmo intervalo de grandeza, por exemplo zero e um. Os mapas de fatores variam de zero (restrição absoluta) a um (sem restrições). Entretanto, para otimizar o armazenamento e processamento das informações no *software* de geoprocessamento, a escala utilizada é a de bytes, com 256 valores (0 a 255). Os mapas de restrições tem somente dois tipos de área: sem restrições e restrição absoluta. Assim, são apresentados em escala booleana, valor zero para áreas onde há restrição absoluta e um para áreas sem restrição.

Os mapas síntese representam o resultado final do cruzamento das informações que expressam o grau de fragilidades ambientais, com equacionamento desenvolvido *pixel a pixel*, de forma georreferenciada. Um primeiro modelo a ser usado é a soma ponderada dos mapas de fatores, resultando num valor VA, onde $VA = \sum (F_i * p_i) = F_1 * p_1 + F_2 * p_2 + \dots + F_n * p_n$, onde F é o fator ou aspecto considerado; p é a ponderação do fator e n é o número de fatores considerados.

O modelo está organizado em três níveis de modelagem: um conjunto de variáveis forma um aspecto, e um conjunto de aspectos forma um bloco. Neste modelo, a síntese dos mapas dos blocos físico, biótico e antrópico forma o mapa final da avaliação ambiental integrada. Cada bloco é formado por aspectos relevantes indicativos de processos geradores de impactos: das obras no meio e do meio nas obras. Cada aspecto é resultante do equacionamento de variáveis indicadoras de estado, mapeáveis em 100% da área.

A dinâmica de aplicação dessa abordagem deve prever, após a obtenção dos cruzamentos, expedições a campo para realizar a consistência do mapa de fragilidades resultante com o que se constata na realidade a campo.

RESULTADOS

O Modelo do Bloco do Meio Físico

O modelo foi construído a partir de reuniões realizadas com o Grupo de Trabalho do projeto FRAG-RIO. O bloco do meio físico ficou definido como a composição dos seguintes aspectos a serem trabalhados para avaliação da fragilidade ambiental: Geologia e Geomorfologia, Estabilidade de Encostas, Fragilidade à Erosão, Áreas de Mineração e Contaminação das Águas Superficiais e Subterrâneas (aquéferos). A figura 1 apresenta o fluxograma do modelo, com os respectivos pesos que foram atribuídos a cada aspecto.

Cada um dos aspectos foi concebido como a combinação de variáveis com notas atribuídas em escala padronizada de 0 a 255, conforme a avaliação do grupo, onde a máxima fragilidade corresponde a nota 0 e a menor, nota 255. Cada aspecto, ao final do processamento das variáveis, tem sua pontuação rescalonada para o intervalo padrão do estudo: 0 a 255.

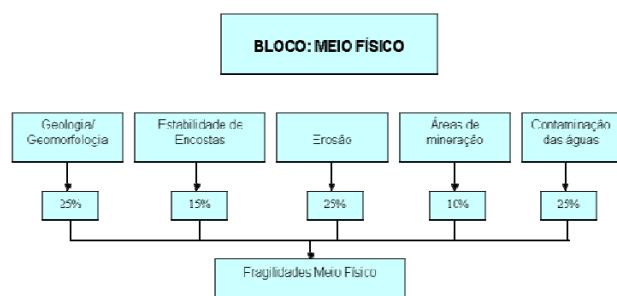


Figura 1 - Fluxograma do modelo de Fragilidades do Meio Físico

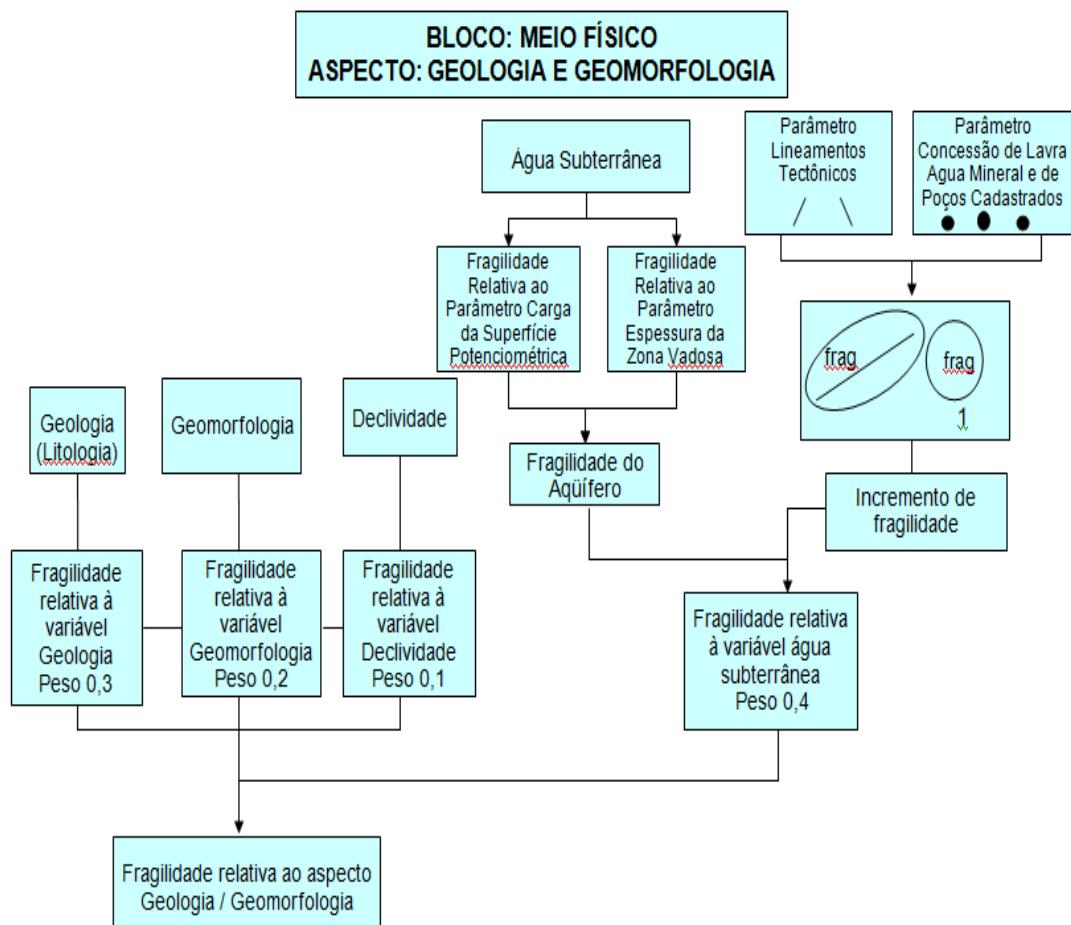


Figura 2 - Fluxograma das Fragilidades do Aspecto Geologia e Geomorfologia

As variáveis de cada aspecto

Para a construção do **Aspecto Geologia e Geomorfologia**, foram consideradas as seguintes variáveis: Geologia, Geomorfologia, Declividade e Água Subterrânea conforme fluxograma da figura 2.

Nesse aspecto a Geologia reflete a qualidade da rocha, sua resistência ao intemperismo, a resistência mecânica, enquanto que os lineamentos, a superfície potenciométrica e a zona vadosa e lavra de água mineral estão associadas à probabilidade de impactos em aquíferos.

A variável Geologia baseou-se no mapa geológico do RS modificado de Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM (2003) onde foram atribuídas notas às litologias considerando a fragilidade das rochas em relação ao intemperismo e a sua resistência geomecânica, que associados à declividade originam diferentes modelados de relevo. Os valores atribuídos constam da tabela 1.

Para a variável geomorfologia, as notas de fragilidade levaram em consideração os tipos de modelados de relevo, conforme RADAMBRASIL (1986, 2005) que contribuem com informações de processos superficiais predominantes e tipos de depósitos associados (Tabela 2), enquanto que para a variável declividade, as notas de fragilidade atribuídas (Tabela 3) indicam maior fragilidade quanto maior a declividade.

A fragilidade da variável água subterrânea foi avaliada tomando-se os seguintes parâmetros: superfície potenciométrica, espessura da zona vadosa, lineamentos tectônicos e concessões de lavra de água mineral e balneários hidrotermais cadastrados no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Os dois primeiros parâmetros foram cruzados para estabelecer a fragilidade do aquífero, e para os últimos dois que também foram cruzados, foi realizado um *buffer* de aumento de fragilidade para a lavra de água mineral, onde ao redor dos

poços até 500m a fragilidade foi aumentada em 50%, de 500 à 1000 m o aumento foi de 30%, de 1000 a 2500m o aumento foi de 20% e acima de 2500m não houve aumento de fragilidade. O cruzamento da fragilidade do aquífero com o das lavras de água mineral e lineamentos forneceu o mapa da fragilidade relativa da variável água subterrânea.

Para a obtenção do mapa de fragilidade do Aspecto Geologia e Geomorfologia, foi realizado o cruzamento final das variáveis geologia, geomorfologia, declividade e água subterrânea com os seguintes pesos: 0,3; 0,2; 0,1; e 0,4, respectivamente.

Tabela 1 - Formações geológicas, litologia e fragilidade das rochas na bacia do Médio e Alto Uruguai-Aspecto Geologia/Geomorfologia. Fonte: CPRM (2003)

Formações geológicas	Litologia	Fragilidade
Depósitos Aluvionares	arcias, cascalhos	32
Formação Tupanciretã	arenitos	64
Intrusões Ígneas-Lages	sienitos, carbonatitos	96
Formação Serra		
Geral-Vulcânicas básicas	basaltos, andesitos	191
Formação Serra		
Geral-Vulcânicas	riolitos, riolacitos,	
intermediárias e ácidas	dacitos	255
Formação Botucatú	quartzo-arenitos	159
	Pelito e arenito com	
Grupo Passa Dois	predominância de	
(Fm. Rio do Rasto)	camadas tabulares	140
Formação Teresina	siltito-argiloso	128
Formação Serra Alta	argilito, folhelho, siltito	128
Formação Irati	calcário, folhelho	96
Formação Palermo	arenito, siltito	128
Itararé Indiviso	arenito, diamictico, folhelho	96

Tabela 2 - Notas de fragilidade para a variável geomorfologia relativas ao Aspecto Geologia e Geomorfologia.

Valores baixos indicam maior fragilidade

Modelado de relevo	Fragilidade
P (aplaínamento)	227
D1 (dissecação)	198
D2 (dissecação)	227
D3 (dissecação)	255
A (acumulação)	170

Tabela 3 - Classes de declividade e notas de fragilidade atribuídas

Classes de declividade (%)	Fragilidade
0 – 3	255
3 – 8	204
8 – 20	123
20 – 45	82
45 – 75	41
> 75	10

O **Aspecto Estabilidade de Encostas** é o resultado da combinação das variáveis Geologia (litologia), Declividade e Geomorfologia, as quais refletem a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e áreas de risco. Foi construído com o cruzamento das três variáveis, todas com o mesmo peso (Figura 3), sendo que as fragilidades da declividade podem ser vistas na tabela 3 e da geomorfologia na tabela 2. Neste aspecto, as notas relativas a fragilidade das litologias consideraram a presença de depósitos superficiais associados e os tipos de movimentos de massa predominantes cujos valores podem ser vistos na tabela 4.

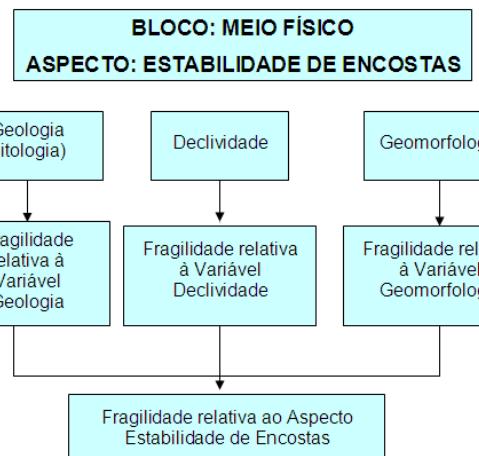


Figura 3 - Fluxograma das Fragilidades do Aspecto Estabilidade de Encostas

Assim, dentre as rochas ígneas, as básicas receberam notas menores, indicativas de maior fragilidade, pois pela sua composição condicionam o aparecimento de depósitos superficiais do tipo colúvio/tálsus de maior espessura e maior área de abrangência. As rochas sedimentares também receberam notas indicativas de fragilidade mais alta, devido à baixa resistência que apresentam frente aos proces-

sos de intemperismo e devido a sua baixa resistência mecânica. Já as rochas ígneas intermediárias e ácidas receberam notas de fragilidade maiores que as básicas, pois condicionam vales mais íngremes onde predominam movimentos de massa do tipo queda, rolamento de blocos e corridas de detritos.

Tabela 4 - Formações geológicas, litologia e fragilidade das rochas na bacia do Médio e Alto Uruguai – Aspecto Estabilidade de Encostas

Formações geológicas	Litologia	Fragilidade
Depósitos Aluvionares	arcias, cascalhos	76
Formação Tupanciretã	arenitos	42
	sienitos,	
Intrusões Ígneas-Lages	carbonatitos	76
Formação Serra		
Geral-Vulcânicas básicas	basaltos, andesitos	180
Formação Serra Geral		
Vulcânicas intermediárias e ácidas	riolitos, riocacitos, dacitos	240
Formação Botucatú	quartzo-arenitos	127
Rio do Rasto	pelitos e arenitos	76
Formação Teresina	siltito-argiloso	38
	argilito, folhelho,	
Formação Serra Alta	siltito	38
Formação Iratí	calcário, folhelho	38
Formação Palermo	arenito, siltito	61
	arenito, siltito	
Formação Rio Bonito	carbonoso	61
	arenito, diamictito,	
Itararé Indiviso	folhelho	38

O Aspecto Fragilidade à Erosão foi construído como indicador dos impactos relativos ao transporte de sedimentos aos corpos d'água. As variáveis componentes do aspecto são os solos existentes na região de estudo, em mapa na escala 1:250.000, cujas classes foram classificadas segundo sua resistência a impactos ambientais conforme Giassom et al. (2005), o mapa de declividades classificado segundo critério adotado pela EMBRAPA e mapa de distâncias das calhas dos rios de 3^a ordem ou maior em escala 1:250.000. A figura 4 mostra o fluxograma do modelo do Aspecto Erosão e a tabela 5 ilustra as Classes de solos ocorrentes suas classes de resistência a impactos e respectivos valores de fragilidade adotados no trabalho.

As diferentes resistências a impactos ambientais dos solos são função de sua profundidade, textura, gradiente textural, drenagem, lençol freático, lençol suspenso, risco de inundação, suscetibili-

dade à erosão, relevo, declividade, aptidão agrícola e tipo de argilomineral (GIASSOM et al., 2005). De acordo com os fatores do solo ou do terreno, os solos são então classificados em 4 classes de resistência a impactos ambientais: Alta (A); Média (B); Baixa (C) e Muito Baixa (D). Para estas classes, foram atribuídos valores de fragilidade, a saber: A – 205(baixa); B – 153; C – 102; D – 51(alta). A fragilidade 255 foi atribuída para os solos de maior resistência a impactos ambientais (A). Mesmo sendo a resistência alta, estes solos não são imunes à degradação, principalmente à erosão. E para os solos de resistência muito baixa (D), foi atribuída a fragilidade 51, porque sua resistência não é nula (0), conforme pode ser visto na tabela 5.

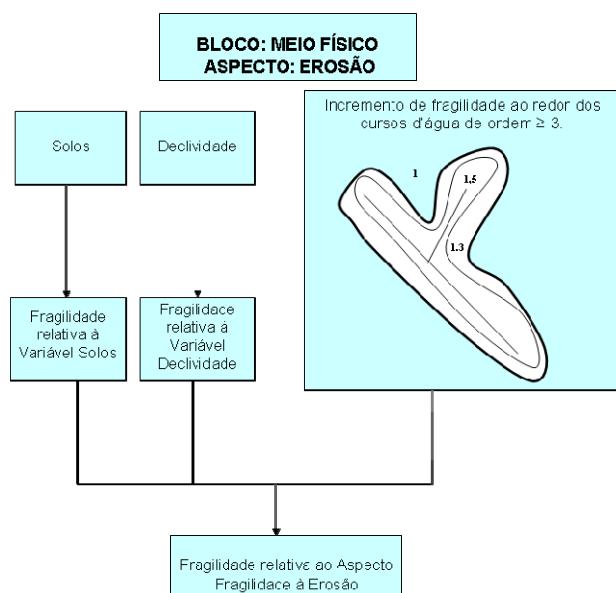


Figura 4 - Fluxograma das Fragilidades do Aspecto Erosão

No entorno da rede de drenagem foi adotado incremento de fragilidade de 50% para a distância da rede de drenagem até 500 m e de 30% de 500 a 1000 m da rede de drenagem, devido à facilidade com que os sedimentos erodidos de um solo cheguem mais rapidamente à rede de drenagem e lagos do reservatório, causando impactos. Além de 1000 m a fragilidade não é alterada.

As seis classes de declividade consideradas foram definidas pela EMBRAPA SOLOS (EMBRAPA, 1999) (0-3; 3-8; 8-20; 20-45; 45-75 e maior que 75%), às quais foram atribuídos valores de fragilidade, respectivamente: (0-3) – 250 (baixa fragilidade); (3-8) -200; (8-20) – 120; (20-45) – 80; (45-75) – 40 e (>75) – 10 (alta fragilidade). As duas variáveis, solo e declividade, foram cruzadas com o mesmo peso.

Tabela 5 - Classes de solos ocorrentes, suas classes de resistência a impactos e respectivos valores de fragilidade adotados

Sigla	Nomenclatura	Classe de Resistência	Fragilidade
CHA	CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico	C	102
CX	CAMBISSOLO HÁPLICO	B	153
FTe	PLINTOSSOLO ARGILÚ- VICO	D	51
GM	GLEISSOLO MELÂNICO	D	51
LBa	LATOSSOLO BRUNO Alumínico	A	255
LBaf	LATOSSOLO BRUNO Aluminoférreico	A	255
LV	LATOSSOLO VERMELHO	A	255
MEO	CHERNOSSOLO ÉBANI- CO	C	102
NV	NITOSSOLO VERMELHO	A	255
NX	NITOSSOLO HÁPLICO	A	255
PV	ARGISSOLO VERMELHO	B	153
PVA	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	C	102
PVAc2	AMARELO Eutrófico latossólico	C	102
RL	NEOSSOLO LITÓLICO	D	51
RLd	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico	D	51
RLe	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico	D	51
RQo2	NEOSSOLO QUARTZA- RÊNICO Órtico	D	51
RYbe	NEOSSOLO FLÚVICO	D	51

O **Aspecto Áreas de Mineração**, cuja importância está relacionada à possibilidade de contaminação das águas superficiais e solos, teve como variáveis a fase do processo junto ao DNPM (títulos minerários) e potencial poluidor do bem mineral. As fases correspondentes aos requerimentos, autorização de pesquisa e disponibilidade receberam valores de baixa fragilidade. As concessões, registros, licenciamentos e lavra receberam valores indicativos de mais alta fragilidade.

O cruzamento destas variáveis gerou um mapa da fragilidade da variável títulos minerários (Figura 5). Foi acrescido a este mapa um *buffer* (área de influência) de incremento de fragilidade ao redor das áreas de mineração, com incremento de 50% nas áreas até 500m e de 500 a 1000, com in-

cremento de fragilidade de 25%. Também foi realizado outro *buffer* ao redor dos cursos d'água de ordem ≥ 3 , com os mesmos valores de distância e incremento de fragilidade. O cruzamento destes gerou a fragilidade relativa ao Aspecto Áreas de Mineração.

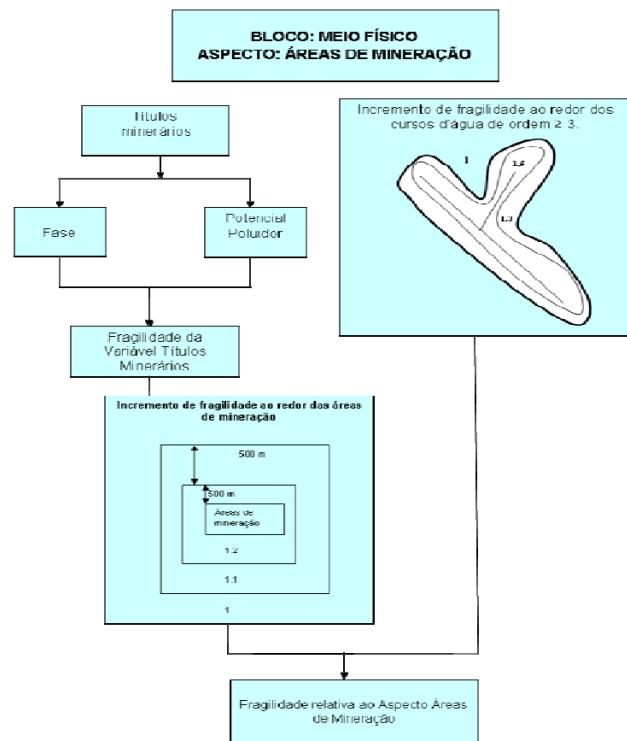


Figura 5 - Fluxograma das Fragilidades do Aspecto Mineração

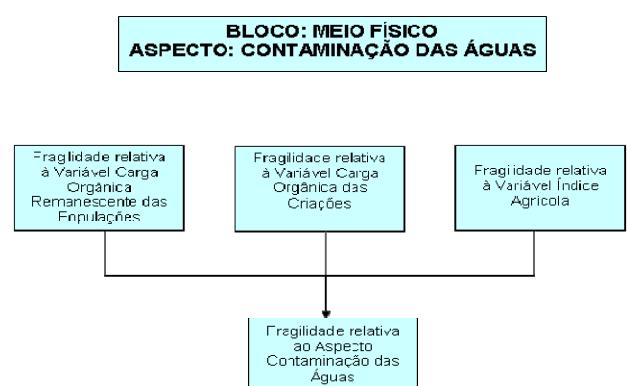
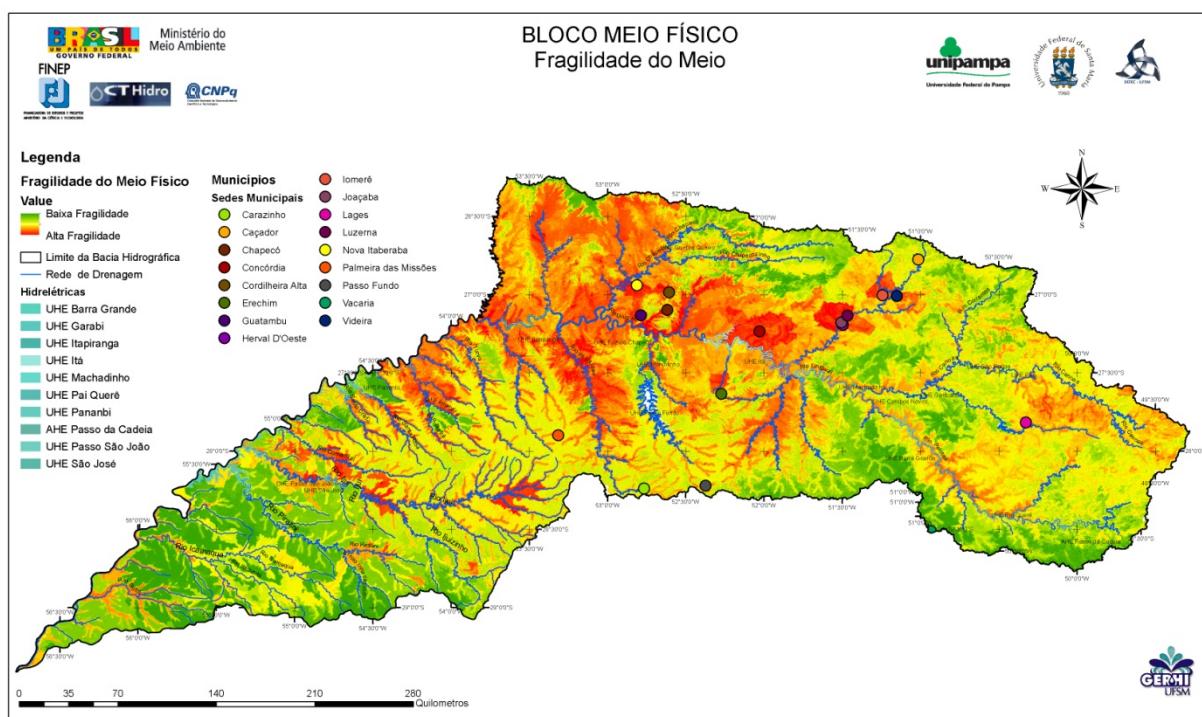


Figura 6 - Fluxograma das Fragilidades do Aspecto Contaminação das Águas

Tabela 6 - Os dez municípios com maior população e os dez com maior carga orgânica remanescente das populações

No. de ordem	Município	Estado	População total (hab)	Município	Estado	Carga remanescente g/dia/km ²
1	Passo Fundo	RS	168.458	Joaçaba	SC	2.439
2	Lages	SC	157.682	Luzerna	SC	2.439
3	Chapecó	SC	146.967	Chapecó	SC	1.750
4	Erechim	RS	90.347	Guatambu	SC	1.750
5	Caçador	SC	63.322	Nova Itaberaba	SC	1.750
6	Concórdia	SC	63.058	Cordilheira Alta	SC	1.750
7	Carazinho	RS	59.894	Videira	SC	1.643
8	Vacaria	RS	57.341	Iomerê	SC	1.643
9	Videira	SC	41.589	Herval D'Oeste	SC	1.442
10	Palmeira das Missões	RS	38.192	Erechim	RS	1.372


Figura 7 – Mapa de Fragilidades Relativo ao Bloco Meio Físico

Os valores de fragilidade atribuídos às fases e tipos de bens minerais são: requerimento de pesquisa -229,5; autorização de pesquisa - 229,5; requerimento de licenciamento - 229,5; licenciamento: de basalto - 178,5; cascalho - 102; argila - 127,5; diabásio -178,5; areia - 102; saibro - 153; siltito - 178,5; fonólito - 178,5; requerimento de registro de extração - 229,5; registro de extração de: cascalho - 102; basalto - 178,5; saibro - 153; fonólito - 178,5; requerimento de lavra - 229,5; concessão de lavra: basalto - 178,5; argila - 127,5; fonólito - 178,5; carvão - 51;

bauxita - 76,5; ametista - 153; saibro - 153; requerimento de lavra garimpeira - 229,5; lavra garimpeira de ametista - 127,5 e disponibilidade (área liberada) - 204.

O **Aspecto Contaminação das Águas** foi considerado devido à qualidade da água ser muito restritiva para a implantação de barragens. As variáveis deste aspecto são a fragilidade relativa à Carga Orgânica Remanescente das Populações, a variável Carga Orgânica das Criações e a variável Índice Agrícola., todas com o mesmo peso (Figura 6).

A variável Carga Orgânica Remanescente das Populações foi estimada com base no censo populacional do IBGE (1991), onde foram obtidas informações sobre a população média de habitantes urbanos e rurais, seus respectivos tipos de tratamento de esgoto doméstico por domicílio e município. A carga orgânica de cada município foi estimada baseada no equivalente populacional da DBO₅ (54 g/hab/dia) e em fatores de redução de acordo com o tipo de tratamento, onde o fator de redução de 0,5 foi aplicado para populações ligadas à rede geral (canalizações mistas) e de 0,85 para populações atendidas por fossas sépticas. A variável Carga Orgânica Remanescente das Populações é proporcional à densidade populacional dos municípios, portanto, apresentam como áreas mais frágeis os municípios mais densamente povoados, não necessariamente os de maior população, como se pode ver na tabela 6.

A variável Carga Orgânica das Criações foi construída a partir de dados do censo agrícola, relativas à área de propriedades rurais por classe de tamanho, o tamanho do rebanho efetivo do município e a área rural explorada. Para a carga orgânica bruta foram utilizadas as cargas unitárias de DBO para bovinos, equinos, suínos, ovinos e aves, como descritas em Lassevils e Berrux (2000), pelo equivalente de 1 g P = 21,6 g DBO (OSPAR CONVENTION FOR THE PROTECTION ON THE MARINE ENVIRONMENT OF THE NORTH-EAST ATLANTIC, 2000). A carga bruta é obtida multiplicando-se a carga unitária de DBO pelo efetivo de cabeças de cada tipo de criação. A população de bovinos, equinos e ovinos tiveram um redutor de 80%, já que impactam bem menos que criações confinadas, como é o caso de suínos e aves.

A variável Índice Agrícola retrata a intensidade da atividade agrícola e indica o potencial de contaminação por insumos agrícolas, onde a área das culturas temporárias é somada às áreas das culturas permanentes, estas com redutor de 80%. O Índice foi relativizado dividindo-se pela área do município, e posteriormente rescalonado linearmente para 255 para a menor fragilidade e 1 para a maior fragilidade.

Resultado Final do Bloco do Meio Físico

Conforme ilustrado no fluxograma da figura 1, para a obtenção do mapa de **Fragilidades do Bloco do Meio Físico** (Figura 7) foram atribuídos pesos para cada **Aspecto**, sendo de 25% para Geologia/geomorfologia, 15% para Estabilidade de Encostas, 25% para Erosão, 10% para Áreas de Mineração

e 25% para Contaminação das Águas, sendo gerado o mapa final da fragilidade do meio físico.

Os aspectos Geologia/Geomorfologia, Erosão e Contaminação das Águas receberam o mesmo peso (25%) devido a sua importância na bacia, relacionado principalmente a contaminação da águas superficiais por carga orgânica, perda de solos e contaminação de aquíferos. O aspecto estabilidade de encostas recebeu um peso intermediário (15%), pois a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa na bacia se dá de forma localizada. O aspecto mineração recebeu o menor peso, pois os bens minerais que são extraídos da bacia estão localizados em áreas restritas e sua extração pode ser considerada, em sua grande maioria, de baixo a médio potencial poluidor.

Percebe-se que a fragilidade é maior no centro norte da bacia estudada, sendo acentuada ao longo dos cursos d'água, principalmente em torno do rio Uruguai com destaque para o município de Itapiranga, associadas às variáveis erosão, estabilidade de encostas e contaminação das águas. Áreas isoladas de alta fragilidade estão relacionadas à variável carga orgânica das populações e ocorrem junto aos municípios de Ijuí no RS e Concórdia, Chapecó e Joaçaba em Santa Catarina.

As áreas de baixa fragilidade ocorrem nas porções leste e oeste da bacia (nos seus extremos) e são devido à menor possibilidade de contaminação das águas (baixa densidade populacional e menor índice agrícola), bem como estar associadas a relevos mais suaves. Na maior parte da bacia ocorrem rochas ígneas básicas e em menor quantidade rochas ácidas e intermediárias, com baixa fragilidade ambiental, uma vez que apresentam boas condições geomecânicas e hidrogeotécnicas para implementação de barragens para a geração de eletricidade.

Foram elaboradas diretrizes preliminares em conjunto com os órgãos licenciadores e comitês de gerenciamento de bacias, diretrizes parciais numa primeira etapa, com vistorias a campo numa segunda etapa, onde se comprovou a adequação do modelo ao meio físico. Em uma terceira etapa foram realizadas a análise de sensibilidade, divulgação dos resultados e diretrizes finais.

Importante ressaltar que os resultados apresentados neste estudo de caso, refletem a disponibilidade de dados na época de sua realização. Porém, o modelo apresentado não encerra as possibilidades. Considerando as limitações inerentes a escolha das variáveis e a sua disponibilidade para toda a área da bacia, estas poderão ser melhor detalhadas a medida que as informações forem sendo disponibilizadas em escala maior. Por exemplo, a variável carga or-

gânica das populações pode ser mais discriminante se os dados censitários estiverem disponibilizados por setor. Da mesma forma, com relação à carga orgânica das criações e o índice agrícola, se as informações forem apresentadas por técnicas de uso e manejo do solo. Esta particularidade do modelo, poder utilizar escalas menores desde que disponíveis, reflete o caráter construtivista do método.

Outra limitação do modelo refere-se a dinâmica de seleção das variáveis, atribuição de suas fragilidades e dos pesos de ponderação entre os aspectos para compor o bloco. Esta limitação pode ser minimizada se o modelo for submetido à análise de sensibilidade, de modo que se possa identificar variáveis mais e menos influentes na discriminância das fragilidades finais.

A expedição de consistência dos resultados, com a presença dos especialistas, é indispensável e necessária para reduzir as incertezas inerentes ao modelo, obtendo resultados de qualidade que possam ser utilizados para a elaboração de diretrizes para diferentes atividades, em especial para apoio a decisão em licenciamento ambiental. Isso permite a reavaliação contínua desde a construção até a aplicação do modelo, permitindo a validação dos resultados.

CONCLUSÃO

A construção de um método para avaliar integradamente o ambiente físico, para fins de hierarquizar trechos de rios com o objetivo de construir hidrelétricas, foi possível de ser alcançado quando as variáveis de cada aspecto permitiam cobrir 100% da área da bacia hidrográfica em estudo, tinham relevância em processos geradores de impactos, tanto das obras no meio quanto do meio nas obras, e indicavam um estado do meio ambiente. O cruzamento destas informações em sistema de informações geográficas, com pesos decididos por toda a comunidade envolvida na questão, permitiu a geração de mapas que não decidem empreendimentos, mas subsidiavam os tomadores de decisão quanto às melhores alternativas.

Devido ao método de construção do modelo, em que as variáveis são selecionadas em função do objetivo e da disponibilidade de informações, é possível que nem todas variáveis sejam adequadas a outros locais, mas os fundamentos de aplicação do método, construtivista, podem ser aplicados em qualquer local.

REFERÊNCIAS

- CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informação Geográfica folhas SH.22 Porto Alegre e SI.22 Curitiba*. Programa Geológico do Brasil. Brasília: Porto Alegre: CPRM, 2003. CD-ROM.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler e UFSM. Universidade Federal de Santa Maria. *Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do rio Uruguai*. Relatório Técnico Final. Santa Maria: FEPAM/UFSM, 2005.
- GIASSOM, E.; INDA JR, A. V.; NASCIMENTO, P. C. *Relatório final de consultoria para 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 à impactos ambientais*. Porto Alegre: FEPAM, 2005.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 1991*. População Residente urbana e Rural. 1991. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censodem/default_censo1991.shtml>. Acesso em: 28 out. 2008.
- LASSEVILS, J. F.; BERRUX, D. Sources of phosphorus to surface Waters: comparing calculated with measured P loadings for three French rivers. 2000. Disponível em: <<http://www.ceep-phosphates.org/Files/Document/56/Geoplus%20France%20p%20in%20surface%20waters%20ENGLISH%20translation%202000.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2008.
- 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.
- RADAMBRASIL. *Levantamento de Recursos Naturais, folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim*. Rio de Janeiro: Fundação

ção Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1986. v. 33.

RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais: folha SG.22 Curitiba e parte da folha SG.21 Assuncion.* Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. v. 34.

Integrated Environmental Evaluation: Methodological Construction of Model for Physical Environment Block

ABSTRACT

Integrated environmental evaluation is necessary for the environmental licensing of hydroelectric power plants and it allows ranking river reaches and basins based on environmental fragilities, with data including the entire basin. This is important for the detection of environmental variations in relation to works in the environment and to the environment in works. The analysis consists of three blocks: physical, biotic and anthropic. This work focuses on the physical environment, which was constituted by five aspects: Geology and Geomorphology, Stability of Hillsides, Erosion Fragility, Mining Areas and Contamination of Superficial and Groundwater (aquifers). Each aspect was constituted by variables, which were transformed into a scale of values from 0 to 255 bytes for easy storage and computer processing, one being the greatest fragility and 255 the smallest fragility. Maps were generated for each aspect in a geographic information system. Cross-matching these aspects, with weights decided by the community work group of the project, generated a map for the physical block

Key-words: hydroelectric power plant, watershed basin, environmental fragilities