

Uso de sistema de informações geográficas (SIG) para identificação de áreas de recarga de aquíferos na bacia do Itajaí

Priscila Dionara Krambeck Braun¹

Alexander Christian Vibrans¹

Julio César Refosco¹

Debora Vanessa Lingner¹

¹ Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Campus II
Rua São Paulo, 3250 – Itoupava Seca – 89030-000 – Blumenau/SC
priscila.krambeck@macroplast.com.br
{acv, refosco}@furb.br

Abstract. This paper describes an instrument using geoprocessing in order to identify areas of recharge of aquifers in the watershed of Itajaí river in Santa Catarina state, southern Brazil, through analysis and crossing of thematic maps in the environment of a Geographic Information System (GIS). Results are expected to help the creation of protection policies for these areas, making way for a more adequate use of the water resources in this region. For such, an analytic model was applied based on the integration of thematic maps in raster format, with 60 x 60 meter pixels. The method applied ensures the identification of areas with larger or smaller potentiality to recharge aquifers in the watershed. The study showed the decreasing capacity of recharge of the aquifers due to change of land use patterns during the last 150 years. The categorization of the various watershed regions ought to be verified through measures of the outflow in field.

Palavras-chave: recharge of aquifers, watershed management, GIS, recarga de aquíferos, manejo de bacias hidrográficas, SIG.

1. Introdução

A bacia hidrográfica do Rio Itajaí, situada no nordeste do Estado de Santa Catarina, no quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas 26°30' e 28° Sul e 48°30' e 50 °30' Oeste compreendendo uma área de 15.000 km² e abrangendo 47 municípios, constitui um importante manancial para abastecimento público, industrial e agrícola.

Os recursos hídricos da bacia, considerados abundantes, sempre supriram as demandas da população estabelecida. No entanto, com o longo período de estiagem o que ocorreu entre 2004 e 2006, problemas de disponibilidade de água foram sentidos e em áreas de elevada demanda para a agricultura, têm aparecido conflitos pelo uso da água.

Ao longo dos últimos 150 anos, desde o início colonização da região em 1850, as classes de uso da terra da categoria natural foram substituídas pelas de categoria antrópica; a demanda pelos recursos hídricos diversificou e aumentou, emissões urbanas, industriais e agrícolas começaram a impactar fortemente os recursos hídricos da bacia, criando um quadro de incertezas quanto ao atendimento das demandas atual e futura e quanto aos aspectos de proteção ambiental.

O armazenamento subterrâneo de água e a recarga de aquíferos são processos complexos, influenciados por um grande número de variáveis, de ordem geológica, geomorfológica, edáfica, de relevo e de uso do solo, além climática. O trabalho proposto tem como objetivo o desenvolvimento de um instrumento cartográfico para identificar as áreas de recarga de aquíferos na bacia do Itajaí e que forneça auxílio para um manejo mais adequado dos recursos hídricos da região e para a criação de políticas de proteção dessas áreas. Para tanto foi aplicado o modelo proposto por Chiaranda (2002) para uma bacia hidrográfica na região de Cuiabá-MT, adaptado à realidade da área de estudo.

A geologia da área de estudo é constituída por litologias do Embasamento Catarinense (Escudo Catarinense), que inclui rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, rochas

sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná e sedimentos mais recentes; é constituída ainda por seis unidades geomorfológicas: Planalto Cristalino, Serras Litorâneas, Planalto Sedimentar, Planalto de Lages, Planalto Basáltico e Planícies Costeiras, sobre os quais assentam-se principalmente quatro grupos de solos: os Cambissolos, que compreendem solos minerais não hidromórficos, com horizonte B incipiente bastante heterogêneo, os Argissolos, os Gleissolos e os Organossolos.

O uso do solo na bacia é caracterizado pela agricultura e pecuária, hoje ocupando 23 % aproximadamente, pelos reflorestamentos (2%), pelas áreas urbanas (2,6%) e pelos diversos estágios da sucessão secundária da Floresta Ombrófila Densa (67%), de acordo com Vibrans (2003). Eles formam uma espécie de “colcha de retalhos”, composta também por relictos de florestas pouco influenciadas pela atividade humana (florestas primárias) e por remanescentes explorados e alterados de forma mais ou menos intensiva (florestas primárias alteradas).

2. Materiais e Métodos

A principal ferramenta utilizada neste trabalho foi o geoprocessamento, os dados foram organizados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e apresentados em forma de mapas. De maneira geral, o trabalho foi executado cumprindo as etapas descritas abaixo.

- Organização e uniformização dos dados e mapas existentes para compor uma base de dados georeferenciada única.
- Análise de Mapas Temáticos da Bacia do Itajaí que representam os elementos e as variáveis relevantes para a recarga de aquíferos.
- Descrição das unidades dos elementos em classes de acordo com o grau de sua significância para a recarga.
- Ponderação das unidades e dos elementos temáticos.
- Cruzamento de dados e confecção de mapas: mapas temáticos base, mapas temáticos derivados, mapas de síntese intermediários e mapas finais.

O modelo de análise de dados espaciais utilizado é do tipo empírico, baseado em dados da literatura e no conhecimento e julgamento subjetivo de especialistas. Sua aplicação é efetuada com o uso de técnicas de concorrência ponderada, através do qual cada unidade homogênea dos elementos é avaliada recebendo um valor de acordo com sua influência na recarga dos aquíferos, numa escala de 1 a 5, escalonada para fins de cálculo como 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1. Os elementos, por sua vez, são ponderados pela atribuição de pesos no cruzamento das informações espaciais e na composição dos mapas. O potencial (importância/relevância) de uma unidade de um elemento é determinado multiplicando-se o valor de sua significância com o peso atribuído ao elemento. O potencial de ocorrência simultânea de uma combinação de unidades de diversos elementos no mesmo espaço territorial é determinado pela adição dos pesos ponderados das respectivas unidades. Os mapas finais são elaborados a partir dos mapas temáticos num processo analítico hierárquico.

Para facilitar o entendimento da metodologia a ser utilizada, segue fluxograma (**Figura 1**) adaptado do modelo de análise de CHIARANDA (2002) para o presente estudo.

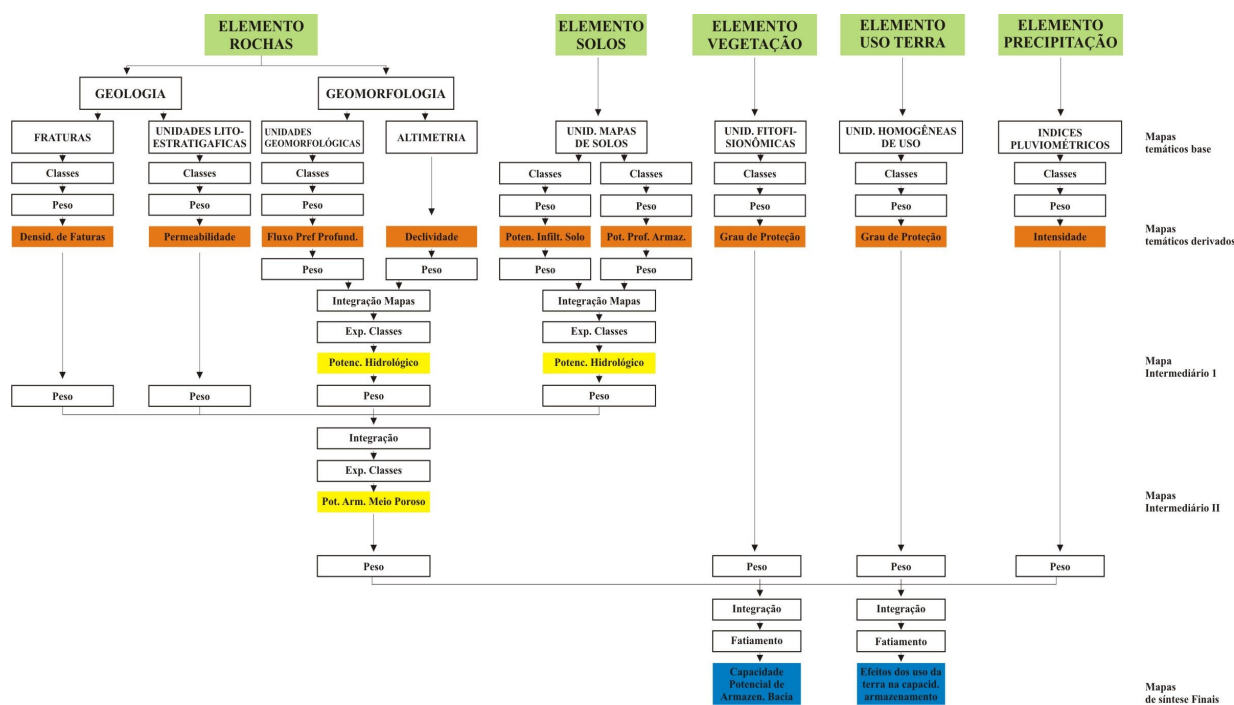


Figura 1 – Fluxograma da metodologia de trabalho.

Como ferramenta computacional foi utilizado o software ArcGis 8.3 ESRI, instalado em uma estação de trabalho com processador *Pentium 4*. Como base cartográfica foram utilizadas as cartas do Mapeamento Sistemático Brasileiro na escala 1:50.000. Os mapas temáticos básicos de geologia (AUMOND, 2006), geomorfologia (SANTOS, 2006), declividade (REFOSCO, 2004), vegetação original (SEVEGNANI, 2006), uso do solo (VIBRANS, 2003) e precipitação (Banco de dados da Agência Nacional de Águas - ANA), foram re-editados e formatados de acordo com os propósitos deste estudo. Foram utilizadas também as cartas geológicas do DNPM, escala 1:250.000 (1969), folhas Rio do Sul, Blumenau e Joinville para confecção do mapa de fraturas geológicas e o mapeamento de solos de Santa Catarina da EMBRAPA, escala 1:250.000, folhas Rio do Sul, Blumenau e Joinville para confecção do mapa de solo.

3. Resultados

Mapas temáticos derivados e intermediários

Entende-se por mapa temático o mapa no seu estado original com a legenda das unidades (tipológicas) ocorrentes na área da bacia. Os mapas temáticos derivados são os mapas que contêm todas as unidades tipológicas organizadas em classes de importância relativas ao potencial de recarga dos aquíferos. Para a construção do mapa temático derivado de fraturas foi necessário fazer a vetorização dos mapas do DNPM, posteriormente foi gerada uma grade de 5 x 5 km e calculada a densidade de fraturas em km por km². Os valores resultantes do cálculo de densidade foram classificados de acordo com a importância relativa ao potencial de recarga. Áreas com maior concentração de fraturas apresentam maior importância para a recarga, uma vez que, fraturas geológicas, são caminhos abertos para a infiltração de água (**Figura 2**).

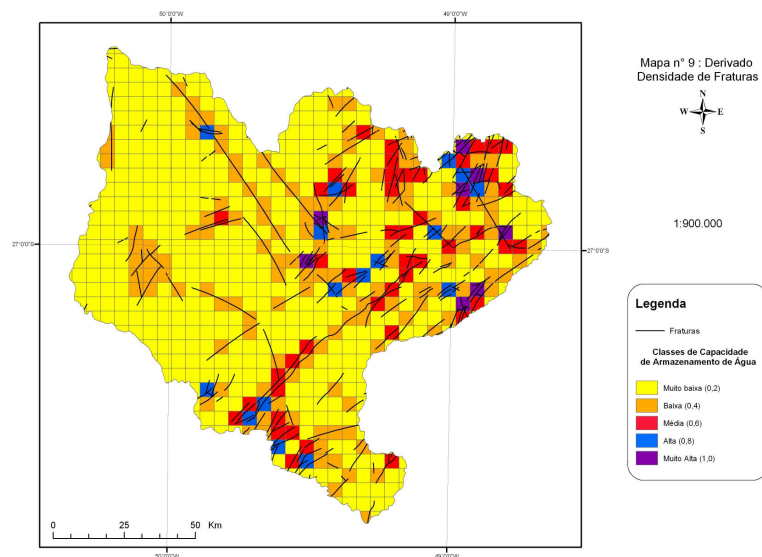


Figura 2 – Mapa derivado de fraturas geológicas.

Os mapas intermediários são os mapas resultantes da combinação das informações de dois ou mais mapas temáticos derivados. Para a geração dos mapas intermediários foi utilizada a operação de sobreposição de mapas em formato *raster*, com cruzamento de informações contidas, em cada um deles, atribuindo pesos percentuais diferenciados. Os mapas intermediários de nível I são obtidos a partir de um conjunto de mapas temáticos derivados e representam o “*status*” do potencial hidrológico (ou de recarga) do relevo e do potencial hidrológico do solo. O mapa intermediário de nível II representa o “*status*” do potencial hidrológico do meio poroso. É considerado como *status*, o conjunto das expressões hidrológicas resultantes da interação das variáveis e processos abordados e valorados nos mapas temáticos base. A integração das duas ou mais variáveis (expressões hidrológicas) de cada componente é efetuada com o uso de Operador de Lógica Ponderada.

O potencial hidrológico geomorfológico (**Figura 3**) é resultado da integração das variáveis, Fluxo Preferencial em Profundidade e Declividade, cujos pesos percentuais de ponderação são 0,333 e 0,667 respectivamente.

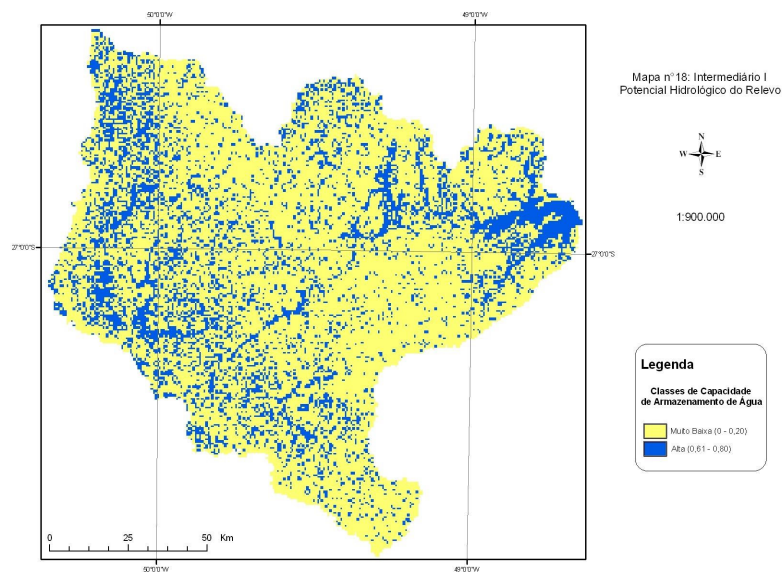


Figura 3 – Potencial hidrológico geomorfológico.

O potencial hidrológico do solo (**Figura 4**), por sua vez, é composto pelas unidades de solo provenientes do mapa temático Solos, organizadas de acordo com seu potencial de recarga composto pela sua textura e profundidade, responsáveis pelo seu potencial de infiltração e pelo seu potencial de armazenamento, respectivamente. Os pesos atribuídos a cada uma das variáveis são 0,333 para o potencial de infiltração e 0,667 para o potencial de armazenamento.

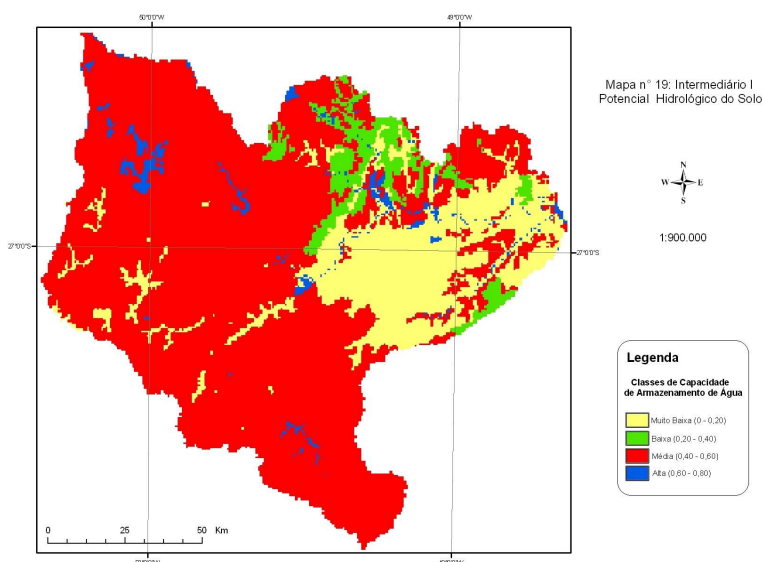


Figura 4 – Potencial Hidrológico do solo da bacia.

As classes dos mapas intermediários do potencial hidrológico do relevo e do potencial hidrológico do solo foram escalonadas em cinco intervalos, sendo 0 à 0,20 o de menor capacidade de armazenamento e 0,80 à 1,00 o de maior capacidade.

O Mapa Intermediário de nível II caracteriza o potencial de armazenamento do Meio Poroso (**Figura 5**), sendo este expressão do potencial de permeabilidade das rochas (Mapa temático derivado Geologia), do potencial de fraturas (mapa temático derivado Fraturas), do potencial hidrológico geomorfológico e do potencial hidrológico do solo (mapas intermediários de nível I). Os pesos atribuídos a cada um dos elementos integrantes do conjunto meio poroso, são os que seguem: 0,25 para o potencial de permeabilidade das rochas, 0,30 para o potencial das fraturas, 0,15 para o potencial hidrológico geomorfológico e 0,30 para o potencial hidrológico do solo.

Os pesos foram atribuídos, tendo como base, a hierarquia das componentes do fluxo hidrológico. A primeira interação ocorre entre os fluxos da água oriundos da precipitação com o componente solo, sendo o relevo o responsável pela rota preferencial e as rochas como meio de armazenamento e liberação. As interações iniciais ocorrem na superfície e apresentam maior velocidade e menor tempo de duração (CHIARANDA, 2002). O produto numérico resultante da integração foi transformado em intervalos de valores que representam as classes de potencial de armazenamento do meio poroso.

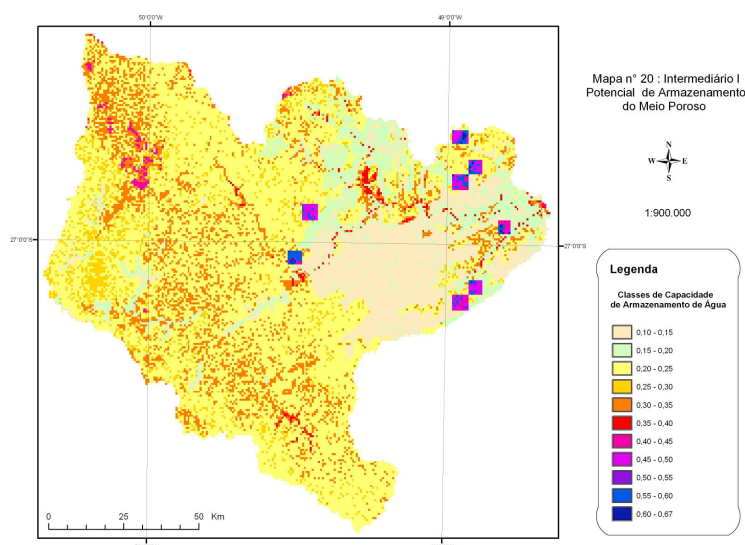


Figura 5 – Potencial de Armazenamento do Meio Poroso.

Mapas Finais

Os mapas do potencial hidrológico da bacia do Itajaí com as classes de potencial de recarga dos aquíferos representam o resultado final deste trabalho, sob duas perspectivas: uma considerando a cobertura florestal original da bacia (Figura 6), outra o atual uso do solo (Figura 7). A geração destes mapas, denominada Mapas Síntese Finais, foi realizada através da integração do Mapa Intermediário II – Potencial de Armazenamento do Meio Poroso com os mapas temáticos derivados, Cobertura Vegetal Original e Precipitação, para a determinação das áreas responsáveis pela recarga dos aquíferos da bacia, desconsiderando a influência antrópica recente. Para a estimativa das áreas atualmente responsáveis pelo armazenamento de águas subterrânea e conseqüente recarga dos aquíferos foi realizada a integração do Mapa Intermediário II – Potencial de Armazenamento do Meio Poroso e os Mapas Temáticos Derivados, Usos do Solo do ano de 2000 e Precipitação.

Os procedimentos metodológicos utilizados são os mesmos dos mapas intermediários: atribuição de pesos diferenciados aos componentes, sendo 0,50 para o Potencial de Armazenamento do Meio Poroso, 0,30 para o Grau de Proteção do solo exercido pela Cobertura Vegetal Original e pelo Uso Atual do Solo e 0,20 para a Precipitação. O produto numérico resultante da integração foi transformado em intervalos de valores que representam as classes de potencial de armazenamento da bacia.

4. Conclusões

A aplicação dos princípios de funcionamento das bacias hidrográficas e dos conceitos de estrutura hidrológica permitiu avaliar o estágio de modificação hidroambiental da paisagem por meio da capacidade potencial de armazenamento e recarga dos aquíferos. Conjuntamente com estes princípios e conceitos, a abordagem sistêmica permitiu a identificação dos elementos e variáveis mais importantes e das relações que existem entre eles.

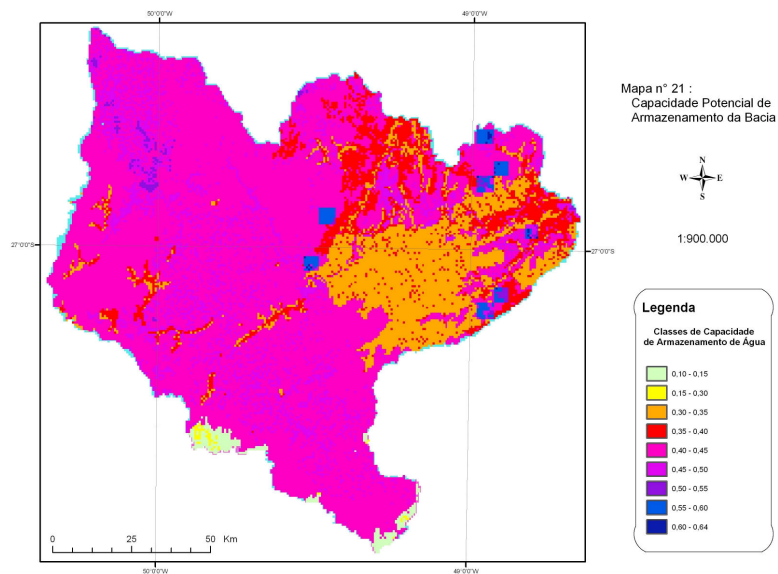


Figura 6 – Capacidade de armazenamento potencial original da Bacia.

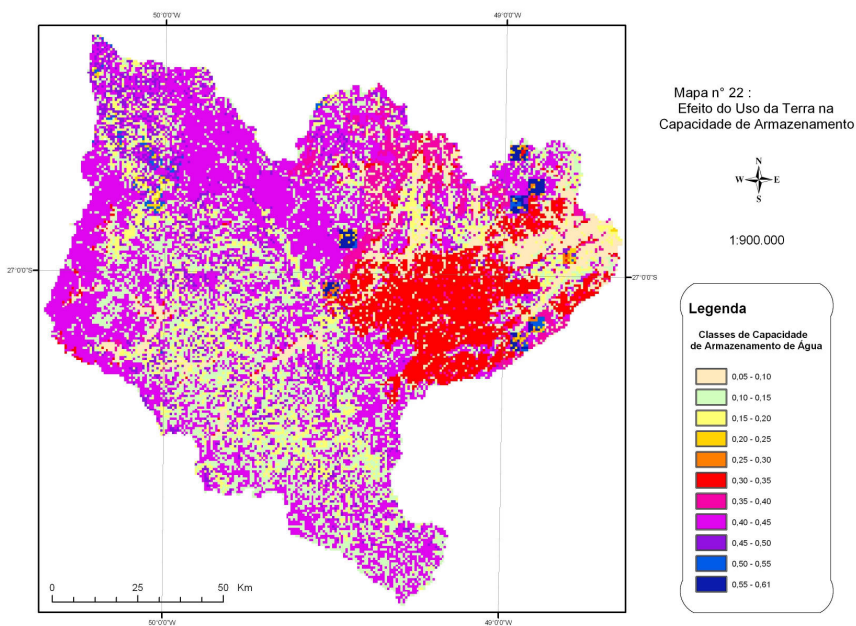


Figura 7 – Efeitos do uso da terra atual sobre a Capacidade de Armazenamento da Bacia.

Pode-se concluir, com base na análise dos resultados, que os usos da terra alteraram significativamente a capacidade potencial de armazenamento da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí (**Tabela 1**). As duas classes intermediárias sofreram redução significativa, enquanto que aumentou em 39% a superfície com capacidade muito baixa de armazenamento de água e abastecimento dos aquíferos. Este quadro certamente teve influência sobre o regime hidrológico da bacia, como o aumento de frequência de cheias observado durante o século 20.

No campo do uso da terra e dos recursos naturais, a expansão das classes de uso da categoria antrópica sobre as de categoria natural ocorreu em função do aumento da atividade agrícola e industrial, da melhoria da infra-estrutura viária, e em função dos valores sociais referentes ao uso da terra que adentraram na bacia hidrográfica por meio da migração.

Tabela 1: Alteração da capacidade de recarga dos aquíferos da bacia, de acordo com os mapas finais (considerando cobertura vegetal original e cobertura vegetal atual da bacia).

Classes de potencial de recarga	Intervalos	Capacidade original da bacia		Capacidade atual da bacia		Diferença entre capacidade original e atual	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Muito baixo	0-0,20	185,9	1,28	5.840,8	40,12	+5.654,8	+38,84
Baixo	0,21-0,40	3.394,7	23,32	2.314,0	15,90	-1.080,7	-7,42
Médio	0,41-0,60	10.966,5	75,33	6.402,8	43,98	-4.563,8	-31,35
Alta	0,61-0,80	10,3	0,07	0,00	0,00	-10,3	-0,07
Muito Alta	0,81-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		14.557,6	100,00	14.557,6	100,0		

NOTA: O sinal (-) denota retração na classe, enquanto que o sinal (+) denota expansão.

Colaborou com este cenário a falta de instrumentos de ordenamento da ocupação do solo, tanto das atividades econômicas como das conseqüências sociais decorrentes.

A dinâmica da modificação dos usos da terra trouxe como conseqüência a diminuição da proteção do solo, o que pressupõe também modificações na dinâmica hidrológica, tanto dos processos superficiais quanto dos de profundidade.

Diante dos efeitos negativos dos usos dos recursos naturais sobre a capacidade potencial de armazenamento de água da bacia e diante do quadro de incertezas quanto á satisfação atual e futura da demanda por recursos hídricos a adoção de políticas de gerenciamento ambiental na bacia hidrográfica do Itajaí torna-se urgente.

Agradecimentos

O presente estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), edital MCT/CNPq/CT Hidro, processo 50 3004/2003-0 e por uma bolsa de mestrado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- Aumond, J. Geologia e Paleoambiente. In: Aumond, J.; Frank, B. (org.). **Atlas da Bacia do Itajaí: Formação, Recursos Naturais e Ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2006 (no prelo).
- Chiaranda, R. **Usos da terra e avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia do Rio Cuiabá – MT**. 2002. 362f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- Frank, B. **Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes**. 1995. 362f. Tese (Doutorado em Engenharia Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1995.
- Refosco, J.C. **Mudanças no uso da terra: o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico**. 2004. 216f. Tese (Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2004.
- Santos, G.F. Geomorfologia. In: Aumond, J.; Frank, B. (org.). **Atlas da Bacia do Itajaí: Formação, Recursos Naturais e Ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2006 (no prelo).
- Sevegnani, L. Vegetação. In: Aumond, J.; Frank, B. (org.). **Atlas da Bacia do Itajaí: Formação, Recursos Naturais e Ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2006 (no prelo).
- Vibrans, A. C. **A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí – elementos para uma análise histórica**. 2003. 240f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2003.