

Análise Espacial do Balanço Hídrico no Meio Rural de Santa Catarina

Gerson Conceição¹, Luiz Fernando de Novaes Vianna¹, Ivan Luiz Zilli Bacic¹, Masato Kobiyama²,
Paulo Belli Filho²

gconceicao@epagri.sc.gov.br, vianna@epagri.sc.gov.br, bacic@epagri.sc.gov.br, kobiyama@ufrgs.br, belli@ens.ufsc.br

Recebido: 10/05/12 - revisado: 09/10/12 - aceito: 15/07/13

RESUMO

O suprimento de alimentos é uma prioridade mundial que impulsiona o setor do agronegócio e exige um aumento constante da produção agrícola, ocasionando crescimento no consumo de água e conseqüentemente o déficit hídrico em zonas rurais. Para identificar as bacias hidrográficas com elevado potencial de uso da água foi feito um estudo abrangendo as principais atividades rurais do Estado. Através de técnicas de análise espacial, foram mapeadas as demandas e a disponibilidade hídrica. O cálculo da demanda foi feito com base no consumo potencial da água pelas propriedades no meio rural. Os potenciais usuários da água foram divididos em três grupos: população rural, rebanho animal e agricultura irrigada. A disponibilidade hídrica foi definida como a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, ou seja, $Q_{7,10}$. E o balanço hídrico foi calculado pela diferença entre a disponibilidade hídrica e a demanda rural. Os resultados foram fundamentados na: a) análise da distribuição espacial da demanda hídrica em escala estadual e local; b) análise dos fatores que impactam essa disponibilidade; e c) estimativa do balanço hídrico rural nas divisões hidrográficas. As análises foram feitas no Sistema de Informações Geográficas – SIG ArcGis® e os resultados apresentados por superfície contínua e divisões hidrográficas em escala estadual, e por superfície contínua dentro das divisões hidrográficas, em escala local. Constatou-se que a região no extremo sul do Estado apresenta os maiores déficits no balanço hídrico, coincidindo com os períodos de intensa atividade agrícola com irrigação, indicando que a demanda da quantidade de água destinada à atividade agrícola, supera a capacidade da $Q_{7,10}$ regional das bacias.

Palavras-chave: Análise espacial. Sistema de Informações Geográficas. Demanda de água.

INTRODUÇÃO

O suprimento de alimentos é uma prioridade mundial que impulsiona o setor do agronegócio e exige um aumento constante da produção agrícola, ocasionando crescimento no consumo de água e conseqüentemente o déficit hídrico em zonas rurais. Entretanto, esse aumento na produção de alimento não ocorre na mesma proporção que as ações necessárias à gestão sustentável dos recursos hídricos. Nas zonas rurais, o déficit hídrico resulta também de uma situação onde os agricultores não utilizam métodos de irrigação eficazes (UNESCO, 2003). Segundo Tundisi (2008), 70% dos recursos hídricos consumidos no mundo são utilizados na agricultura irrigada. O setor agrícola de vários países utiliza, muitas vezes, esses recursos de forma excessiva,

gerando conflitos de uso e conduzindo a uma crise mundial da água, não somente pela escassez ou estresse hídrico, mas principalmente pela ausência de gerenciamento (ROGERS; LLAMAS; MARTÍNEZ-CORTINA, 2006). Segundo Somlyody e Varis (2006), o agravamento e a complexidade da crise decorrem de problemas reais de baixa disponibilidade e aumento da demanda, o que também passa por questões de gestão.

O Estado de Santa Catarina, no período de 1980 a 2003 registrou 492 ocorrências de estiagem, sendo em 2002, a de maior magnitude, atingindo 74% dos municípios do Estado (GONÇALVES; MOLLERI, 2007). Os dados levantados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI (EPAGRI, 2003), indicam que as causas da ocorrência não estão associadas somente às adversidades climáticas, mas também condicionadas pela forma de utilização e manejo dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Portanto, os conflitos pelo uso da água na zona rural em Santa Catarina, não são muito diferentes dos que ocorrem em outros países.

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/EPAGRI/CIRAM

² Depto. Eng. Sanitária e Ambiental, UFSC

De acordo com Campos, Braga e Alves(2006), os problemas podem ser agravados pelos indicativos de mudanças no ciclo hidrológico, que apesar de não apontarem claramente para escassez, demonstram grande variabilidade de distribuição da precipitação. A concentração de chuvas intensas de curta duração e os longos períodos de estiagem resulta em prejuízos para a atividade rural e conflitos setoriais pelo uso da água (HERRMANN, 2007).

Para elaborar políticas públicas que visem minimizar estes conflitos em zonas rurais, é importante que se conheça, além do ciclo hidrológico as relações entre o balanço hídrico e os usos consuntivos. Em uma perspectiva espacial a unidade territorial de análise que favorece esse conhecimento é a divisão hidrográfica, que permite investigações em diferentes escalas (MENDIONDO; TUCCI, 1997) e a integração de ações de naturezas múltiplas (LOCH; NEUMANN; BERNARDY, 2000).

A organização institucional das águas no território nacional é definida por bacia hidrográfica através da Lei 9433/97 (BRASIL, 1997), e se dá por meio da instância de decisão local que são os comitês de bacia. O que ocorre neste ambiente é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem.

O balanço hídrico em uma área pode ser efetuado em diversos níveis, escolhendo o volume de controle conveniente. Caso este volume de controle seja uma bacia hidrográfica, o volume armazenado neste sistema hídrico é expresso por vazões de entrada e saída de água (RIGHETTO, 1998).

A carência de dados que exprimam de forma completa o balanço hídrico em grandes áreas, como o estado de Santa Catarina, exige a utilização de ferramentas estatísticas que exploram as informações nelas existentes. Por sua vez, esses parâmetros hidrológico-estatísticos em uma região homogênea podem ser relacionados com suas características hidrometeorológicas e fisiográficas, permitindo assim expressar o balanço hídrico através de equações de regionalização em regiões homogêneas e obter a disponibilidade hídrica a partir dessas equações (TUCCI, 2002). A regionalização da $Q_{7,10}$ ou superior apresenta a condição mais crítica na utilização da água, por isto, é definida neste estudo como o montante de água ofertada (disponibilidade hídrica) para atender à dessedentação animal e irrigação na zona rural.

Neste sentido, poucos países sabem quanto de água está sendo utilizada de seus mananciais e para que fins (UNESCO, 2008). Em Santa Catarina isto pode ser atribuído à ausência de dados

sistemáticos para determinação da vazão mínima e também do rearranjo espacial das demandas por bacias.

Sendo assim, o objetivo do estudo foi avaliar a distribuição espacial da disponibilidade hídrica e da demanda de água na zona rural do estado de Santa Catarina, utilizando as divisões hidrográficas do estado (EPAGRI, 2010) e a vazão mínima dada pela vazão mínima regionalizada ($Q_{7,10}$) (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2006a).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de análise abrange o território do Estado de Santa Catarina, onde foi feito um estudo com base nos dados do Levantamento Agropecuário Catarinense - LAC (EPAGRI, 2003) e na Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2006a). O LAC possui, coordenadas pontuais dos estabelecimentos agropecuários do Estado, dados quantitativos e qualitativos sobre o número de habitantes, efetivo animal, área irrigada e métodos de irrigação. A Regionalização das Bacias apresenta as regiões homogêneas e suas respectivas equações para cálculo da $Q_{7,10}$.

Cálculo de demanda hídrica

Este procedimento utilizou as informações por estabelecimento agropecuário para obter os valores absolutos de demanda hídrica humana (D_H), animal (D_A) e para irrigação (D_I) em litros por mês (L./mês). Foi considerado que o mês tem 30 dias em média, para permitir o somatório entre as D_H , D_A e D_I .

Demanda hídrica humana

O consumo médio per capita do país em 2009 para as regiões urbanas foi de 148,5 L.hab⁻¹.dia⁻¹, sendo que as médias regionais resultaram em 139,5 L.hab⁻¹.dia⁻¹ na região Norte, 114,4 L.hab⁻¹.dia⁻¹ na região Nordeste, 170,4 L.hab⁻¹.dia⁻¹ na região Sudeste, 138,1 L.hab⁻¹.dia⁻¹ na região Sul e 143,7 L.hab⁻¹.dia⁻¹ na região Centro-Oeste (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRES SANEAMENTO, 2010).

Portanto, há uma certa variabilidade entre os valores médios de consumo de água nas regiões urbanas do Brasil e segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000), nas regiões rurais o consumo é metade daquele da área urbana. Entretanto, considerando que o padrão de vida dos agricultores no estado de Santa Catarina é elevado, comparado com os demais estados brasileiros, o presente trabalho adotou o valor de consumo para a área rural como aquele da área urbana na região sul, que corresponde a 138,1 L . dia⁻¹.

O cálculo da demanda humana obedece à seguinte expressão:

$$D_H = N_H \times V_H \times 30 \tag{1}$$

onde D_H é a demanda hídrica humana (L/mês); N_H é o número de habitantes no estabelecimento; V_H é o volume de referência de consumo diário de água por habitante rural (L/dia).

Demanda hídrica animal

A demanda animal foi obtida como:

$$D_A = \sum_{i=1}^n N_i \times V_i \times 30 \tag{2}$$

onde D_A é a demanda hídrica animal (L/mês); N_i é o efetivo de animais (neste estudo temos bovinos, suínos, aves e javalis; e V_i são os volumes de referência de consumo diário de água (L/dia). O consumo diário de água para diversos animais foram estimado por GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, (2006b). O presente trabalho assume que o consumo diário de água para javalis seja o mesmo consumo de suínos (Tabela 1).

Tabela 1 - Consumo de referência diário de água por animal

Animal	Consumo médio diário por cabeça (L/dia)
Bovinos	50
Suínos	20
Aves	0,36

Fonte: Governo do Estado de Santa Catarina, 2006b.

Demanda hídrica para irrigação

Considerou-se como referência de vazão específica o valor mais elevado para cada método de irrigação (Tabela 2). Na ausência de valores de consumo de referência para as técnicas de gotejamento e micro aspersão, foi aplicado o dado referente ao método de irrigação localizada.

A equação da demanda para irrigação foi obtida relacionando os seguintes parâmetros:

$$D_I = V_E \times A_{ha} \times T \times 30 \tag{3}$$

Onde D_I é a demanda hídrica para irrigação (L/mês); V_E é a vazão específica (L.s⁻¹.ha⁻¹); A_{ha} é a área irrigada do estabelecimento (ha); T é o tempo efetivo de irrigação (s/dia).

Ao contrário das demandas para consumo humano e animal, que podem ser consideradas constantes, o consumo na irrigação (Tabela 2), se diferencia de forma sazonal (ROSSO, 2007). Por isso, utilizou-se no cálculo as variáveis da área irrigada da propriedade e o método de irrigação empregado. O tempo efetivo de irrigação foi considerado constante (1 dia). Em média, os valores de demanda devem ser interpretados quantitativamente como representativos dos períodos extremos de uso da água para irrigação pelos métodos adotados.

Tabela 2 - Eficiência e valor de consumo de referência por método de irrigação

Método de Irrigação	Eficiência (%)	Faixa de consumo de referência (L.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
Sulco	40 a 65	0,80 – 2,0
Inundação	40 a 65	0,25 – 1,5
Aspersão	70 a 85	0,60 – 1,0
Localizada	90 a 95	0,30 – 0,7
Outros	40 a 85	0,30 – 2,5

Fonte: Governo do Estado de Santa Catarina (2006a).

Regionalização de vazão (Q_{7,10})

A oferta hídrica nas divisões hidrográficas foi a Q_{7,10}, obtida pelo estudo de regionalização (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2006a), para as seis regiões homogêneas (Figura 1). Os resultados estão apresentados em m³.s⁻¹.

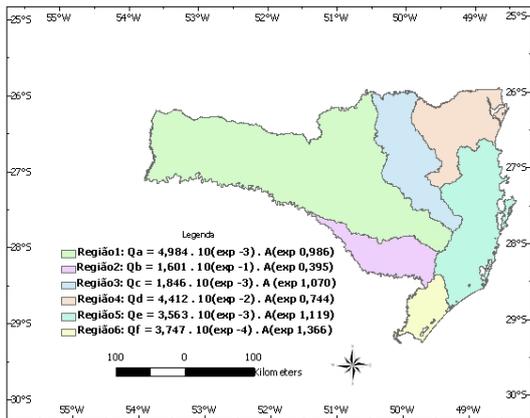


Figura 1 - Regiões homogêneas com a respectiva vazão mínima para 7 dias ($Q_{7,10}$) em Santa Catarina
Fonte: Governo do Estado de Santa Catarina, 2006a, modificado.

Análise espacial

Para as análises espaciais foi utilizado o programa *Statística*[®] e o Sistema de Informações Geográficas – SIG – *ArcGis*[®]. O primeiro auxiliou no cálculo das estatísticas descritivas de demanda e na definição das classes de mapeamento para os valores absolutos. No segundo, foram empregadas técnicas de interpolação para criar as superfícies contínuas de análise a partir dos pontos do LAC (EPAGRI, 2003). Para os mapas de demanda hídrica foram adotados os valores absolutos (L/mês) e de densidade (L.ha⁻¹.mês⁻¹) por estabelecimento. Os valores absolutos foram interpolados através de krigagem e a densidade utilizando-se o interpolador de densidade. Para definir as faixas de demanda hídrica absoluta aplicada no mapeamento, foram consideradas as médias por estabelecimento da demanda humana, animal e irrigação, assim como suas respectivas distribuições de frequência. A análise espacial da demanda para irrigação foi feita através da análise de densidade e as demandas totais por estabelecimento agropecuário. A demanda hídrica, por divisão hidrográfica, foi calculada por estatística em zonas, através do somatório das demandas dos estabelecimentos contidos em cada unidade hidrográfica. O valor final foi convertido de L/mês para m³.s⁻¹ para facilitar a correlação com o cálculo do balanço hídrico, obtido através da diferença entre os valores da $Q_{7,10}$ e da demanda hídrica rural. A classificação das áreas homogêneas e as faixas de mapeamento de densidade foram geradas através do algoritmo de cálculo intervalos

naturais (*Natural Breaks*) do *ArcGis*[®], conforme é descrito a seguir.

Análise de agrupamento e classificação em intervalos naturais das áreas homogêneas.

O método intervalos naturais foi inicialmente aplicado na classificação de áreas homogêneas por Jenks (1967) em mapas coropléticos (que seguem uma ordem visual de cores), sendo atualmente considerado uma metodologia que produz resultados precisos e realísticos no agrupamento e na classificação das classes (REGGI; SCICCHITANO, 2012; SMITH, 1986). Em SIG, o método intervalos naturais é processado por algoritmo que reduz a variância dentro das classes e maximiza a variância entre as mesmas. A utilização do algoritmo pode ser ilustrada em cinco etapas: a) seleciona o atributo, z, a ser classificado e especifica o número de classes necessárias, k; b) um conjunto de k-1 valores aleatórios ou uniformes são gerados no intervalo [min {z}, max {z}]. Estes são usados como limites das classes iniciais; c) calcula-se a média total dos valores aleatórios e a média no interior de cada classe inicial (\hat{z} , z_j). Com a diferença entre os valores do intervalo e as médias obtém-se os desvios quadráticos dos membros das classes (matriz de classes) e para todos os dados do intervalo (matriz global); d) executa-se então a soma dos desvios quadráticos médio para ambas, matriz global (SMG) e de classes (SMC). Em seguida subtrai-se os dois valores obtidos nesta soma (SMG-SMC). Registra-se um primeiro ajuste da variância (MAVi) calculando o quociente entre o valor desta subtração com a soma dos desvios quadráticos global (MAVi = (SMG-SMC)/SMG); e) os valores individuais em cada classe são atribuídos as classes adjacentes para ajustar aos limites da classe e para verificar que o MAVi pode ser reduzido. Este processo iterativo termina quando MAVi melhora, ou seja, declina para valores abaixo de um nível limiar. Esse limiar é alcançado quando a variação dentro da classe é tão pequena quanto for possível e entre as classes a variância alcance um valor máximo. Enquanto a otimização dos dados não é assegurada, todo o processo é repetido, a partir da etapa b e os valores MAVis comparados. A equação apresentada a seguir foi obtida a partir de Reggi e Scicchitano (2012) e Smith (1986) e, na qual descreve a atividade requerida ao usar o algoritmo intervalo natural para calcular o melhor ajuste da variância (MAV).

$$MAV = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} (z_{ij} - \hat{z}_j)}{\sum_{i=1}^N (z_i - \hat{z})^2} \quad (4)$$

Onde:

- z_i é o conjunto de valores que foram ordenados entre 1 até N;
- \hat{z} é a média do conjunto de valores;
- z_{ij} é o conjunto de valores ordenados dentro de cada classe;
- \hat{z}_j é a média de cada classe entre i e N_j ;
- N é o número total de valores;
- N_j é o número de valores dentro das classes;
- K é o número máximo de classes;
- $1 \leq i, j, k < N$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A demanda hídrica em valores absolutos para consumo humano é a de menor representatividade, correspondendo a 0,56% do total necessário para Santa Catarina. A produção de animais é responsável por 1,74% da demanda e apesar de também apresentar valores baixos, ela é 121% superior à demanda humana. O somatório da demanda hídrica dos estabelecimentos agropecuários do Estado foi $5.300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dos quais 97,7% destinam-se às atividades agrícolas com irrigação. Esta prática é a grande consumidora de água e está 27,7% acima dos padrões mundiais que, de acordo com a Food and Agriculture Organization (2006) é de 70%.

Demanda hídrica para consumo humano

A demanda destinada ao abastecimento humano foi a que apresentou os menores valores, variando de 119 a 130 L/mês, indicando condições dentro da normalidade, comparando-se à estimativa de 138,1 L/mês destinadas à região sul (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRES SANEAMENTO, 2010).

O reduzido valor na zona rural resulta da baixa densidade habitacional. A demanda para abastecimento humano em comparação com as demais atividades demonstra que, na zona rural, o maior montante de uso da água nas bacias é destinado às atividades produtivas. A demanda hídrica média para consumo humano por estabelecimento agropecuário é de 13.359,27 L/mês, que representa uma necessidade média

diária de 445,31 L. Cerca de 57,36% dos estabelecimentos demandam entre 10 e 20 mil L/mês, enquanto 32,3% podem contar com valores abaixo desta faixa e apenas cerca de 10% dependem de consumo superior a 20 mil L/mês (Tabela 3). Com base nesta distribuição cerca de 36% dos estabelecimentos ocupam uma faixa padrão de consumo entre 15 e 20 mil L/mês. A demanda hídrica humana (Tabela 3), mostrou-se pouco significativa em termos de distribuição espacial, vista que o padrão fundiário do Estado é de pequenas propriedades (com até 15 hectares) distribuídas pelo território de maneira uniforme. Isso indica que não há uma variação espacial significativa dessa demanda, o que permite concluir que não é necessário fazer o seu mapeamento.

Tabela 3 - Distribuição de frequência dos estabelecimentos agropecuários por faixa de demanda hídrica humana

Faixa de demanda (L/mês)	N*	Porcentagem (%)
< 5.000	26.213	14,10
5.001 – 10.000	33.874	18,23
10.001 – 15.000	39.640	21,33
15.001 – 20.000	67.013	36,06
20.001 – 25.000	11.013	5,92
25.001 – 30.000	4.480	2,41
> 30.000	3.620	1,95
Total	185.853	100%

*N é o número de estabelecimentos

Demanda hídrica para consumo animal

Tabela 4 - Distribuição de frequência dos estabelecimentos agropecuários por faixa de demanda hídrica animal

Faixa de demanda (L/mês)	N*	Porcentagem (%)
< 20.000	72.612	49,46
20.001 – 25.000	12.498	8,51
25.001 – 55.000	35.809	24,40
55.001 – 100.000	11.379	7,75
100.001 – 250.000	8.797	5,99
250.001 – 500.000	3.654	2,49
> 500.000	2.068	1,41

*N é o número de estabelecimentos

A demanda para consumo animal deve ser analisada em duas etapas: primeiro considerando a

necessidade de consumo absoluto e depois através da avaliação da densidade desta necessidade. Este procedimento é fundamental porque existe diferença na distribuição espacial da demanda hídrica para consumo animal quando se considera uma área de abrangência. A demanda média por estabelecimento é de 55.291,56 L/mês e cerca de 90% deles necessitam de até 100 mil L/mês (Tabela 4). A demanda animal é 121% superior à humana, indicando que os valores de demanda necessária para atender a pecuária na zona rural catarinense representam mais do que o dobro da quantidade de água destinada às pessoas. Esta demanda não se distribui espacialmente de forma homogênea como a humana, pois devido às características do sistema de produção ser de pequenas propriedades, ela é concentrada em regiões específicas do Estado em destaque nas cores alaranjado, amarelo e vermelho demonstradas na figura 2a. Avaliando a necessidade para consumo animal absoluta, demandas superiores a 1 milhão L/mês (Figura 2a), distribuem-se no Meio-oeste (nas bacias dos rios Chapecó, Jacutinga, do Peixe e Irani), no Planalto Norte (bacias do Iguçu e Canoinhas), no Planalto Serrano (bacias do Canoas e Pelotas). Nas áreas mais altas das bacias do Canoas, Pelotas e Chapecó, se encontram os valores mais elevados de demanda absoluta de consumo animal. Nessas áreas, estão localizados os maiores rebanhos de bovinos, grandes consumidores de água entre os animais (Figura 2a e Tabela 1).

Diferente dos animais confinados, eles consomem a água diretamente dos cursos d'água. Já os suínos e aves são criados em confinamento e em regiões específicas do Estado. Isto fica evidente e notório na avaliação da densidade da demanda hídrica animal (Figura 2b). Nas regiões produtoras de suínos e aves confinados foram encontrados valores de densidade superiores a 950 L/mês. Eles correspondem às bacias dos rios Peperi-Guaçu no extremo oeste, médio Chapecó, médio Irani e quase toda a bacia do Jacutinga no oeste, no alto vale do Rio do Peixe no meio-oeste e no alto rio Tubarão em Braço do Norte. Na análise sobre a demanda animal verificou-se também que regiões com altos valores (Figura 2a), em sua maioria pela presença de gado bovino, apresentam baixa densidade desta demanda (Figura 2b), pois há uma menor densidade de animal por área, quando comparado com suínos e aves que se apresentam de forma concentrada. Isto pode ser observado nas bacias dos rios Canoas e Pelotas, na região do Planalto Serrano.

Analisando a demanda hídrica animal em nível local de unidades hidrográficas, percebe-se

que os valores mais altos são encontrados nas porções superiores e medianas das bacias. Um exemplo pode ser observado na sub-bacia do rio Ariranha (Figura 3), que representa o padrão de ocupação espacial no oeste do Estado. Esta concentração sugere uma discussão sobre a adequação da distribuição espacial dos estabelecimentos agropecuários para produção animal. O alto consumo destas atividades ocorre justamente nas regiões próximas às nascentes, onde os volumes dos rios são reduzidos, mas com melhor qualidade de água. Por sua vez, os lançamentos de efluentes na porção mais alta das bacias degradam a qualidade da água que abastece as localidades à jusante. Os impactos nos mananciais de água vêm sendo analisados desde a década de 80 (HOLZ, 2004; SEDUMA, 1989; VIEIRA, 2006).

Apesar de estes trabalhos estarem focados no impacto da suinocultura sobre a qualidade da água, verificaram que os níveis de poluição dos mananciais são mais elevados nos períodos de estiagem, indicando a presença de fontes pontuais de poluição na sub-bacia da Ariranha (Figura 3). As estimativas climáticas para a região oeste de Santa Catarina apresentadas por Campos, Braga e Alves (2006), exigem uma reflexão mais intensa sobre a gestão dos recursos hídricos no Estado, pois indicam uma tendência de ocorrência cada vez mais frequente de escassez de água e períodos prolongados de estiagem.

Logo, não é só o comprometimento dos recursos hídricos pela baixa qualidade das águas dos mananciais superficiais que podem causar conflitos, mas também as alterações no ciclo hidrológico e o manejo da água para produção animal. O excesso de consumo deste sistema produtivo deve ser tratado com preocupação, gerando a necessidade de implementar projetos que estimulem o consumo de forma racional e que resultem em maior disponibilidade hídrica, seja por processos de armazenamento e reúso ou por políticas que estabeleçam a governança da água na zona rural.

Demanda hídrica para irrigação

Os estabelecimentos agropecuários catarinenses utilizam vários sistemas de irrigação (Tabela 2), sendo que os dois tipos mais relevantes por área ocupada são inundação (111.305 ha) e aspersão (17.081 ha), que representam respectivamente 83,8% e 12,9% do total dos sistemas utilizados (EPAGRI, 2003). O Governo do Estado de Santa Catarina (2006b) apontou que, em média, 60 % das demandas relacionadas ao uso da água nas

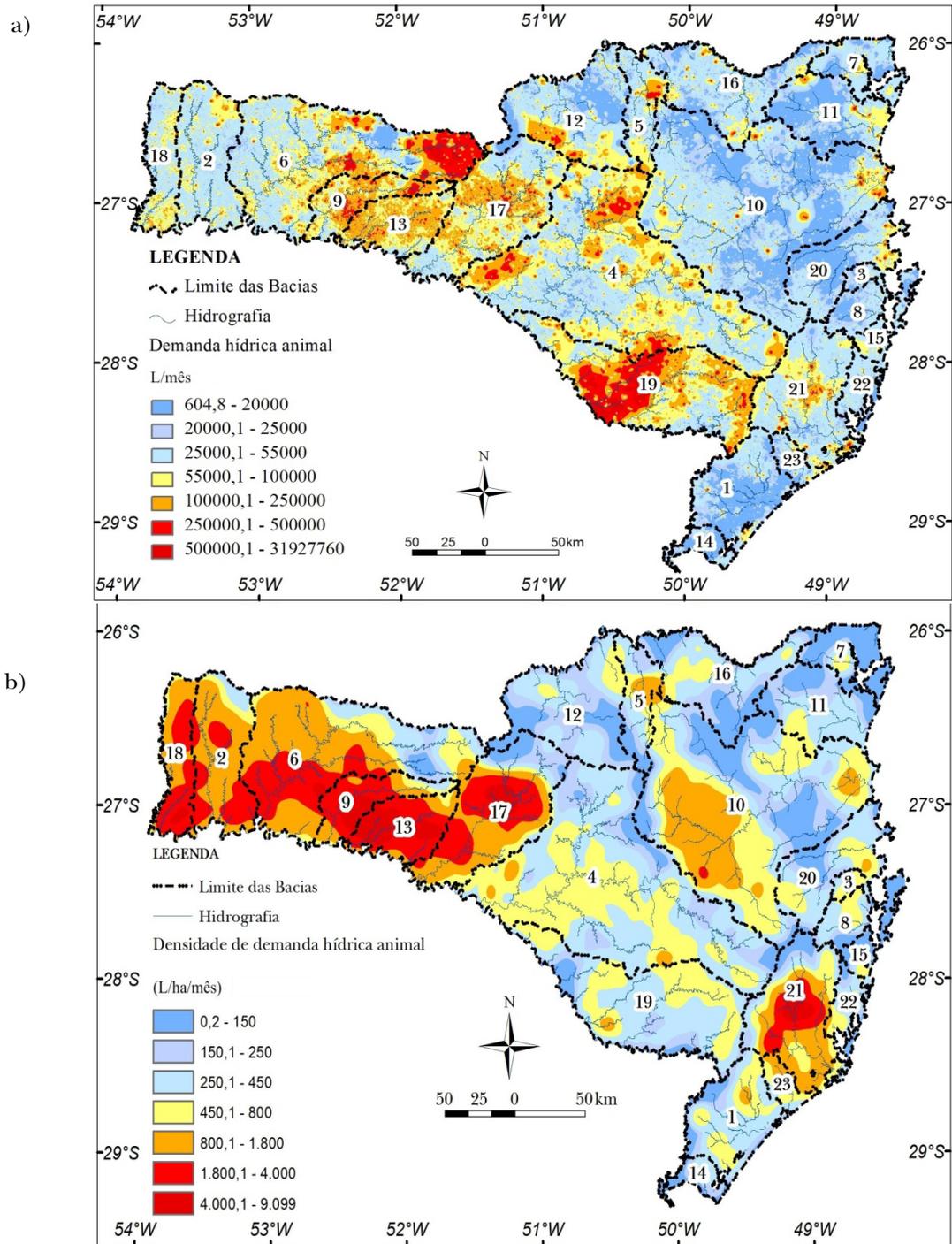


Figura 2 – a) Distribuição espacial: a) em valores absolutos da demanda hídrica animal e b) em densidade de demanda hídrica animal no meio rural catarinense. Apresenta-se para ambas as figuras a localização dos 23 rios principais e suas respectivas bacias hidrográficas, como segue: (1) rio Araranguá; (2) rio das Antas, (3) rio Biguaçu, (4) rio Canoas, (5) rio Canoinhas, (6) rio Chapecó, (7) rio Cubatão, (8) rio Cubatão do Sul, (9) rio Irani, (10) rio Itajaí-Açu, (11) rio Itapocu, (12) rio Iguaçu, (13) rio Jacutinga, (14) rio Mampituba, (15) rio da Madre, (16) rio Negro, (17) rio do Peixe, (18) rio Peperi-Guaçu, (19) rio Pelotas, (20) rio Tijucas, (21) rio Tubarão, (22) rio das Madre, (rio Urussanga)

bacias catarinenses, localizadas na vertente atlântica, são destinadas à irrigação do arroz, sendo que a região hidrográfica extremo sul (bacias do rio Araranguá, Tubarão e Mampituba) alcança a maior demanda (90 %). Pela significância da rizicultura para o Estado, as discussões da irrigação ficaram focadas neste tipo de cultura.

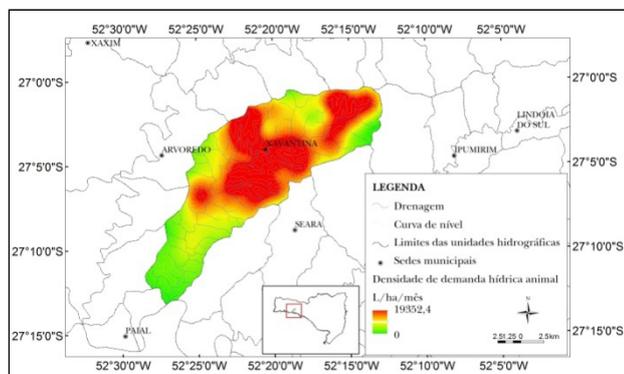


Figura 3 - Distribuição espacial da densidade de demanda hídrica animal no meio rural catarinense

Tabela 5 - Distribuição de frequência dos estabelecimentos agropecuários por faixa de demanda hídrica para irrigação

Faixa de demanda (Milhões de L/mês)	N*	Porcentagem (%)	Frequência Acumulada
0 – 200	11746	97,24	97,24
200,1 - 400	266	2,20	99,44
400,1 - 600	36	0,29	99,73
600,1 - 800	15	0,12	99,85
800,1 – 1.000	4	0,04	99,89
>1. 000	12	0,11	100,00

*N é o número de estabelecimentos

Durante o período de irrigação são necessários 40 milhões L.ha⁻¹.mês⁻¹. Os estabelecimentos que praticam irrigação possuem, em média, 15,5 ha de área cultivada, sendo assim, foi possível estimar a necessidade hídrica média em 3,7 milhões L.ha⁻¹.mês⁻¹. Motta, Alves e Becker (1990) determinaram vazões entre 2,9 e 3,68 milhões L.ha⁻¹.mês⁻¹ para suprirem as necessidades hídricas do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Já Eberhardt (1994) determinou vazão de 2,25 milhões L.ha⁻¹.mês⁻¹ no sistema pré-germinado. Existe uma

variação de região para região em função das características climáticas, pedológicas e também por sistema de plantio empregado (ROSSO, 2007). Em Santa Catarina, 90,6% dos estabelecimentos que praticam irrigação, demandam até 100 milhões L.mês⁻¹ (Tabela 5), enquanto apenas 0,1% apresenta necessidades superiores a 1 bilhão L.mês⁻¹. Entretanto, estes dados isolados não caracterizam claramente a necessidade hídrica para irrigação.

Para melhor compreender a demanda da irrigação é necessário avaliar a distribuição espacial e a influência da rizicultura. A figura 4 mostra que valores de densidade de demanda hídrica para a irrigação superior a 1,5 milhões L.ha⁻¹.mês⁻¹ estão associados às áreas de produção de arroz, e que densidades superiores a 2,6 milhões L.ha⁻¹.mês⁻¹ predominam na bacia do rio Araranguá, região onde tradicionalmente o arroz irrigado é cultivado. Os conflitos gerados por usuários da irrigação vêm sendo reportados em várias pesquisas (ALEXANDRE, 2000; COMASSETTO, 2008; ROSSO, 2007). Esses autores concordam que o agravamento da carência de água ocorre nos períodos de estiagem, que coincidem, com a época de plantio do arroz. No caso do arroz irrigado, a primeira metade inicial do seu ciclo ocorre no mesmo período em que historicamente há menor precipitação, isto é, entre agosto e outubro (EPAGRI, 2009).

Balanço hídrico especializado rural

O balanço hídrico rural foi obtido no presente trabalho como a diferença entre a vazão mínima (Q_{7,10}) e a demanda hídrica na zona rural. Essa demanda foi calculada através do somatório das demandas humana, animal e para irrigação. O cálculo do balanço hídrico foi feito para as unidades hidrográficas do Estado e indica que há déficits de até 176,9 m³.s⁻¹ (Figura 5). Os valores mais altos de déficit hídrico encontram-se na bacia do rio Araranguá. As maiores demandas de água, por ordem de consumo na bacia do rio Araranguá, são destinadas à irrigação (44,54 m³.s⁻¹), e abastecimento humano com 1,57 m³.s⁻¹ (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2006b) Assim, a irrigação causa os déficits mais significativos das unidades hidrográficas litorâneas, o que também foi identificado na bacia do rio Itajaí, nas regiões altas e médias. Já no Oeste e Meio-Oeste são poucas as unidades hidrográficas que apresentam déficit. Segundo Tucci, Hespagnol e Netto (2003), existe um conflito natural entre o uso da água para agricultura e o abastecimento humano em algumas

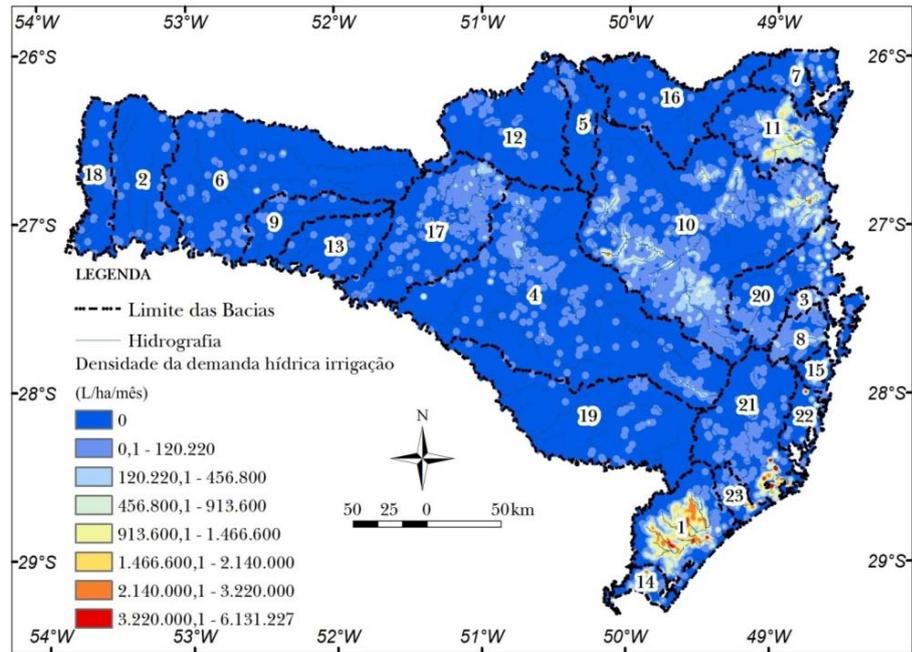


Figura 4 - Distribuição espacial da densidade de demanda hídrica para irrigação no meio rural nas 23 bacias hidrográficas conforme nominadas a seguir: (1) rio Araranguá; (2) rio das Antas, (3) rio Biguaçu, (4) rio Canoas, (5) rio Canoinhas, (6) rio Chapecó, (7) rio Cubatão, (8) rio Cubatão do Sul, (9) rio Irani, (10) rio Itajaí-Açu, (11) rio Itapocu, (12) rio Iguaçú, (13) rio Jacutinga, (14) rio Mampituba, (15) rio da Madre, (16) rio Negro, (17) rio do Peixe, (18) rio Peperi-Guaçu, (19) rio Pelotas, (20) rio Tijucas, (21) rio Tubarão, (22) rio das Madre, (rio Urussanga)

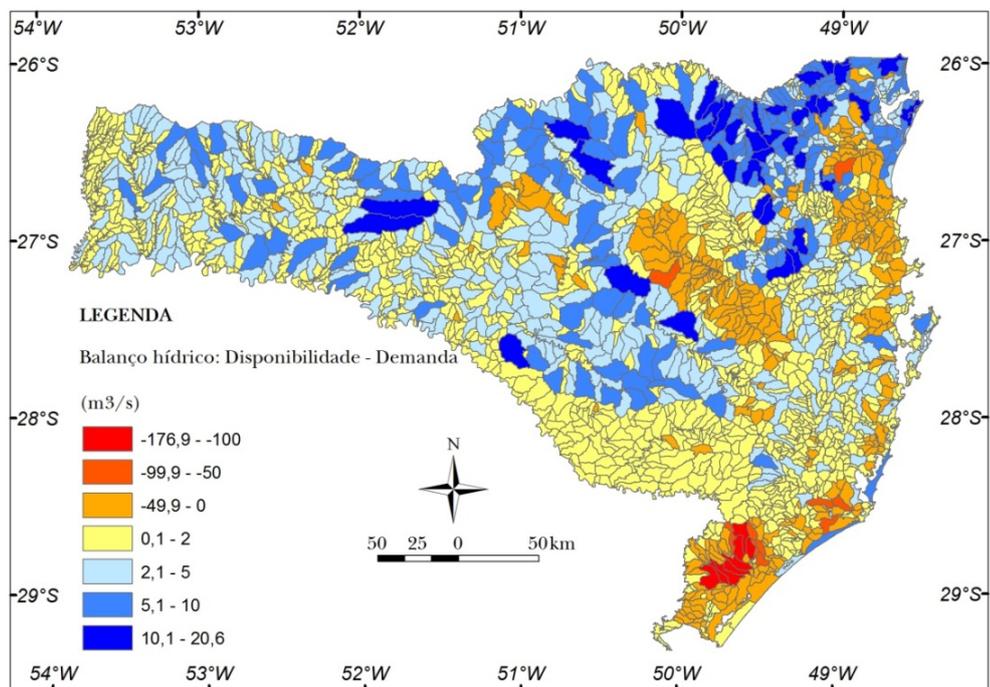


Figura 5 – Balanço hídrico rural nas unidades hidrográficas de Santa Catarina

regiões brasileiras, principalmente quando a demanda é muito alta. Francisco (2002) evidenciou conflitos da água na bacia do Araranguá inerentes às atividades de mineração, industrialização, agricultura e urbanização, e também salientou que têm origens em fenômenos naturais, como o relevo, condições estuarinas, torrencialidade dos rios, que ora têm água em excesso, provocando cheias, ora têm pouca água, acirrando as disputas pelo seu uso. A análise espacial das bacias com as áreas utilizando irrigação, relacionando-as com o balanço hídrico permitiu identificar focos de escassez hídrica (Figura 5) nas regiões sul e sudeste de Santa Catarina, sugerindo a necessidade de uma reflexão sobre as práticas e manejos atualmente utilizados, sobre a expansão desta cultura e as ações para melhorar os processos de gestão da água atualmente utilizados, para minimizar futuros conflitos setoriais.

CONCLUSÕES

A região litorânea no sul de Santa Catarina apresenta os valores mais críticos, em média, de balanço hídrico. Isso ocorre principalmente pela prática da irrigação, que demanda quantidades de água que já superam a capacidade da $Q_{7,10}$ das bacias nesta região, estando acima dos padrões mundiais de demanda. Por outro lado, no oeste do Estado a produção animal supera o dobro da demanda de água necessária ao consumo humano. Há uma tendência das granjas se organizarem de forma concentrada e localizarem-se nas porções medianas e altas das divisões hidrográficas, o que contribui negativamente no balanço hídrico e na qualidade da água, comprometendo o abastecimento dos estabelecimentos e cidades a jusante.

Os dados e análises aqui apresentados ilustram a necessidade de investir na gestão da água em Santa Catarina. Esse investimento deve abranger não somente monitoramento e análise de dados hidrometeorológicos, mas também a elaboração e adoção de políticas estaduais e ações que se revertam em mudança de comportamento da sociedade em relação ao uso da água.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. Z. *Análise integrada da qualidade das águas da bacia do Rio Araranguá (SC)*. 2000. 288 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Lei 9.433.1997*. Brasília: MMA, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 23 jul. 2010.

CAMPOS, C. C. G.; BRAGA, H. J.; ALVES, R. Mudanças climáticas atuais e Seus impactos no Estado de Santa Catarina. *Revista Agropecuária Catarinense*, v. 19 n. 3, p. 31-35 2006.

COMASSETTO, V. *Água, meio ambiente e desenvolvimento na Bacia do Araranguá (SC)*. 2008. 339 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

EBERHARDT, D. S. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. *Revista Agropecuária Catarinense*, v. 7, n. 1, p. 51-53, 1994.

EPAGRI. *Climatologia de chuvas de 1960 a 2004*. [S.l.]: EPAGRI, 2009. Disponível em: <http://circam.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=141:climatologia-de-chuvas&catid=2:sem-categoria&Itemid=363>. Acesso em: 13 maio 2009.

EPAGRI. *Levantamento Agropecuário Catarinense – LAC*. [S.l.]: EPAGRI, 2003. Disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em 14 mai. 2009.

EPAGRI. *Mapa das unidades hidrográficas do estado de Santa Catarina*. [S.l.]: EPAGRI, 2010. Disponível em: <http://circam.epagri.sc.gov.br/mapoteca/pré_download_hidrogafias.js. http://circam.epagri.sc.gov.br/mapoteca/pré_download_hidrograficas.jsp>. Acesso em: 20 maio 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO. *Water monitoring: mapping existing global systems and initiatives*. Stockholm: FAO, 2006.

FRANCISCO, M. J. *Rio Araranguá – o Nilo catarinense*. [S.l.: s.n.], 2002. Relatório apresentado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao Meio Ambiente. Balneário Arroio do Silva (SC).

- GONÇALVES, E. F.; MOLLERI G. S. F. Estiagem. In: HERRMANN, M. L. *Atlas de desastres naturais do estado de santa Catarina*. Florianópolis: IOESC, 2007. p. 101-104.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável – SDS. *Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas Estaduais do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: SDS, 2006a. v. 1.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável – SDS. *Panorama dos Recursos Hídricos de Santa Catarina*. Florianópolis: SDS, 2006b. Disponível em: <[http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/baixararquivo.jsNomeArquivo=Panorama dos Recursos Hídricos de Santa Catarina.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/sirhsc/baixararquivo.jsNomeArquivo=Panorama%20dosRecursosHidricosdeSantaCatarina.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2010.
- HERRMANN, M. L. P. As principais consequências negativas provocadas pelas adversidades atmosféricas no estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. P. *Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina*. Florianópolis: IOESC, 2007, p. 11-16.
- HOLZ, C. Dejetos suínos: mutirão contra a poluição e a saída. *Revista Agropecuária Catarinense*, v. 17, n. 3, p. 40-43, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. [S.l.]: IBGE, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnbsb.shtml>>. Acesso em: 15 jul. 2010.
- JENKS, G. F. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, n. 7, p. 186-190, 1967.
- LOCH, C.; NEUMANN, P. S.; BERNARDY, R. J. *Definição da unidade territorial na Regionalização da gestão ambiental em Santa Catarina*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4., Florianópolis, 2000. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 2000.
- MENDIONDO, E M.; TUCCI, C. E. M. Escalas Hidrológicas. II: Diversidade de Processos na Bacia Vertente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 1, p. 81-100, 1997.
- MOTTA, F. S.; ALVES, E. G. P.; BECKER, C. T. Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul. *Lavoura Arrozeira*, v. 43, n. 392, p. 3-6, 1990.
- REGGI, L.; SCICCHITANO, S. Financing public e services in Europe: a regional perspective. *Information Systems: Crossroads for Organization. Management, Accounting and Engineering*, p. 19-26, 2012.
- RIGHETTO, A. M. *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.
- ROGERS, P.; LLAMAS, M. R.; MARTÍNEZ-CORTINA, L. (Ed.). *Water crisis: myth or reality?* London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, 2006. 331 p.
- ROSSO, J. C. *Avaliação do Consumo de Água em Lavouras de Arroz Irrigado no Sistema Pré-Germinado nas Condições Climáticas do Sul Catarinense*. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2007.
- SEDUMA. *Programa estadual de saneamento rural de Santa Catarina: projeto integrado de controle de poluição da suinocultura "Projeto Água Limpa"*. Florianópolis: SEDUMA, 1989. 21 p.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto*. [S.l.]: Ministério das Cidades, 2010.
- SMITH, R. M. Comparing traditional methods for selecting class interval on choropleth maps. *Professional Geographer*, v. 38, n. 1, p. 62-67, 1986.
- SOMLYODY, L.; VARIS, O. Freshwater under pressure. *International Review for Environmental Strategies*, v. 6, n. 2, p. 181-204, 2006.
- TUCCI, C. E. M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 2002. 256 p.
- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. *Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água*. *Bahia Análise & Dados*, v. 13, n. Especial, p. 357-370, 2003

TUNDISI, J. G. *Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

UNESCO. *Água para todos, água para a vida*. Paris: UNESCO, 2003. 36 p.

UNESCO. *World water assessment programme. The united nations world water development report 3: Water in a changing world*. Paris: UNESCO, 2008. 318 p.

VIEIRA, V. F. *Mapeamento do risco da poluição suinícola em águas superficiais como subsidio ao ordenamento territorial*. 2006 Dissertação (Mestrado em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Spatial Analysis Of Surface Water Demand And Availability In Rural Areas Of Santa Catarina State

ABSTRACT

Food supply is a world priority that drives global agribusiness and requires a constant increase in agricultural production, leading to water consumption growth and consequently a water deficit in rural areas. A study of the main rural activities in the state was performed to identify watersheds with a high potential for water use. Water demands and availability were mapped using spatial analysis techniques. The demand was calculated based on potential water consumption by properties in the rural environment. The potential water users were divided into three groups: rural population, livestock and irrigated agriculture. Water availability was defined as the minimum flow for seven days and a return period of 10 years ($Q_{7,10}$). Water balance is the difference between $Q_{7,10}$ and rural water demand. The results were based on: a) analysis of the spatial distribution of water demand at state and local scales; b) analysis of factors impacting this availability; and c) an estimate of water availability in rural watersheds. The spatial analyses were performed using the Arcgis® Geographic Information System and the results presented by continuous surface and hydrographic divisions at state level, and by continuous land surface within the hydrographic divisions at the local scale. It was found that the southern region of the state has the largest water availability deficits, coinciding with periods of intensive irrigated farming, indicating that the water demand for agriculture surpasses the capacity of the regional $Q_{7,10}$ of the watersheds.

Keywords: *Spatial analysis. Geographic Information System. Water demand.*