

# ANÁLISE DA DEMANDA E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM BACIA HIDROGRÁFICA CONSIDERANDO VAZÕES NATURAIS

*Antônio Domingues Benetti<sup>1</sup>*

**RESUMO** --- Este artigo apresenta os resultados de um trabalho realizado para estimar as demandas e disponibilidades de água na bacia hidrográfica do rio Santa Maria, RS. Esta bacia caracteriza-se por apresentar sérios conflitos pelo uso da água, predominado pela irrigação de arroz. As disponibilidades foram caracterizadas considerando três situações: vazões médias de verão e médias das vazões mínimas de 7 e 30 dias de duração. A quantificação das disponibilidades hídricas considerou as vazões naturais do rio Santa Maria, isto é, as vazões observadas mais aquelas consumidas pela evapotranspiração no cultivo do arroz. Os resultados indicam que as disponibilidades excedem as demandas considerando as vazões médias de verão, exceto para o cenário em que se usa a maior taxa de uso da água para irrigação. Para a situação das médias das vazões mínimas de 7 e 30 dias de duração, as demandas excedem as disponibilidades para todas as sub-bacias do rio Santa Maria. Este quadro denota uma situação crítica para a gestão da água na bacia hidrográfica, especialmente para a manutenção das vazões necessárias para a preservação de seus ecossistemas aquáticos. Um uso mais racional da água deverá ser buscado, estabelecendo-se limites para a água que pode ser abstraída do rio.

**ABSTRACT** --- This article presents the results from a study carried out to estimate water demand and availability in the Santa Maria river basin, RS. Water demand arises conflicts among water users in the basin, which is dominated by rice irrigation. Availability was estimated considering three cases: mean summer flowrates e mean minimum flowrates with 7 and 30 days duration. Quantification took into account Santa Maria river natural flowrates, that is, the observed flowrate plus those that are consumed by evapotranspiration in rice irrigation. The results indicate that water availability exceeds demand for mean summer flowrates, except when the upper limit of water rate is used for irrigation. For the mean minimum flowrates with 7 and 30 days duration, water demands exceed availability in the whole basin. These results denote a critical situation for basin water management, especially for the environmental flows required by aquatic ecosystems, which are not being supported. Better water management will need to be practiced, establishing limits to the quantity of water that can be taken from the river.

**Palavras-chave:** demanda de água, irrigação de arroz, vazões naturais.

---

1) Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH-UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500 Caixa Postal 15029, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. e-mail: benetti@iph.ufrgs.br.

# 1 – INTRODUÇÃO

Uma adequada gestão de recursos hídricos requer o conhecimento das demandas e disponibilidades de água da bacia hidrográfica. Muitas vezes, estabelece-se um conflito porque as disponibilidades não são capazes de atender a todas as demandas. Caberá aos gestores a árdua tarefa de estabelecer limites e prioridades de uso da água.

Este artigo apresenta os resultados de um trabalho que foi realizado para estimar as demandas e disponibilidades de água da bacia hidrográfica do rio Santa Maria. Esta bacia drena uma área de 15.740 km<sup>2</sup> e está localizada na fronteira sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul (figura 1). O principal rio formador da bacia é o Santa Maria, que nasce a uma altura aproximada de 400 m e percorre cerca de 350 km até chegar à foz. O rio Santa Maria é um dos formadores do rio Ibicuí, que, por sua vez, é afluente do rio Uruguai. A economia na região é dominada pela criação de gado de corte e cultivo de arroz irrigado. Esta última atividade exerce uma grande demanda de água sobre os recursos hídricos da bacia durante os meses de verão.

Além de identificar condições críticas para o suprimento de água na bacia, este trabalho faz estimativas das vazões naturais do rio Santa Maria, isto é, aquelas vazões que seriam observados no rio se as atuais demandas não estivessem sendo exercidas. Isto é importante para o caso de definição das vazões ambientais necessárias para a manutenção dos ecossistemas aquáticos.

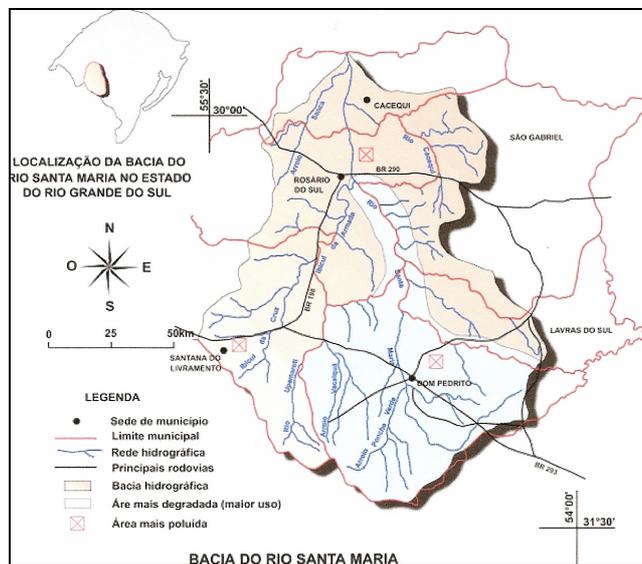


Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Santa Maria, RS. (Fonte: Schult, 2002)

## 2 – DEMANDAS DE ÁGUA

As demandas de água foram estimadas para os usos agrícola (irrigação de arroz), pecuária (animais de pequeno e grande porte) e doméstico (populações urbana e rural). O uso da água para fins industriais é muito restrito devido ao pequeno número de fábricas existentes na bacia.

## 2.1 - Demanda de água para irrigação de arroz

A área de arroz plantada nos municípios que integram a bacia hidrográfica do rio Santa Maria tem crescido ao longo dos anos. A figura 2 apresenta a área total plantada nas safras de 1969/1970 até 2001/2002. Observe-se que a área cresceu mais de duas vezes nos últimos 30 anos. A equação 1 representa a tendência de crescimento de área plantada ao longo dos anos.

$$A = 2481,1 \cdot \Delta t + 37.571 \quad (1)$$

sendo: A = área plantada com arroz [ha];  $\Delta t$  o número de anos a partir de 1970.

O valor médio plantado nos municípios no período 1997/1998 a 2001/2002 foi de 117.000 ha. Todavia, somente uma parcela das áreas dos municípios está dentro da bacia do rio Santa Maria. Baseado nas estimativas de Silveira (1992), a área cultivada com arroz no interior da bacia é de 81.038 ha, o que corresponde a 69,4% do total.

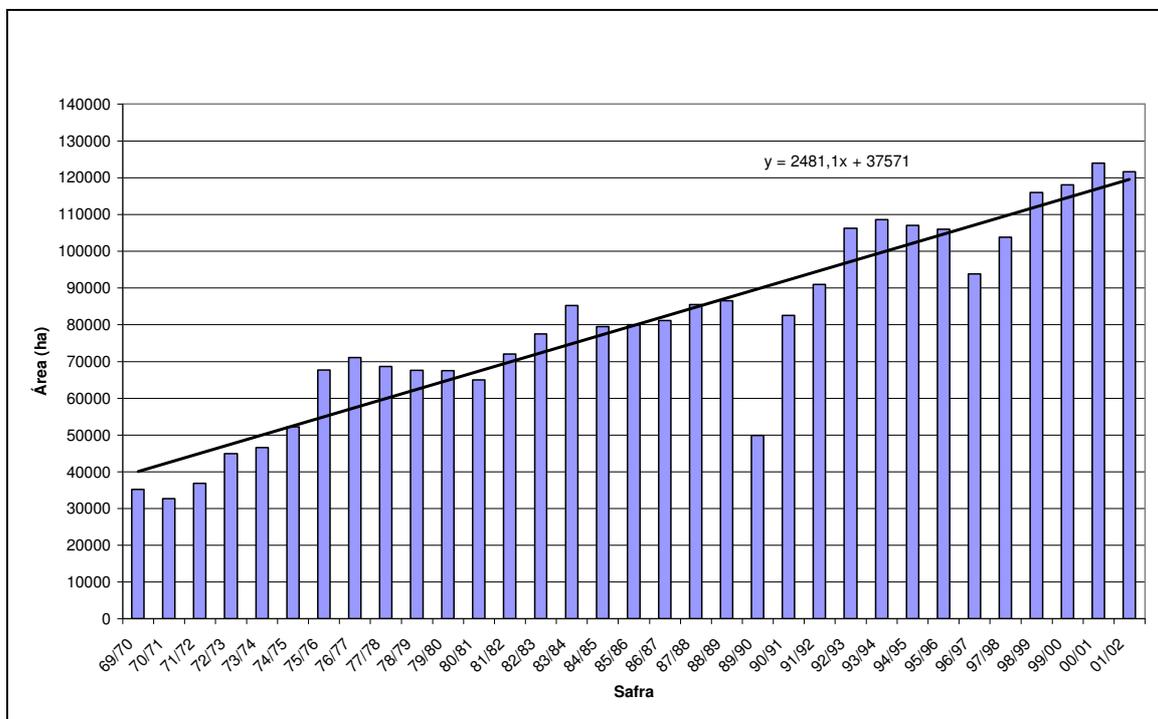


Figura 2 - Área plantada com arroz em municípios da bacia hidrográfica do rio Santa Maria (Fontes: IRGA - Anuários Estatísticos do Arroz; Tabelas de acompanhamento de colheita de arroz irrigado; Internet: [www.irga.rs.gov.br](http://www.irga.rs.gov.br))

Bourscheid (1996) dividiu a bacia hidrográfica do Rio Santa Maria em 09 sub-bacias, considerando critérios de hidrologia, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, uso do solo e ação antrópica (figura 3). Para cada uma destas sub-bacias, foram determinadas as áreas ocupadas por seis diferentes usos de solo, um dos quais foi cultivo de arroz irrigado. Tomando-se a percentagem das áreas cultivadas com arroz em cada sub-bacia e multiplicando-se estes percentuais pelo total estimado de 81.038 ha, chegam-se as áreas médias de plantio de arroz em cada sub-bacia. Uma vez determinadas às áreas irrigadas, calcularam-se as demandas de água requeridas.

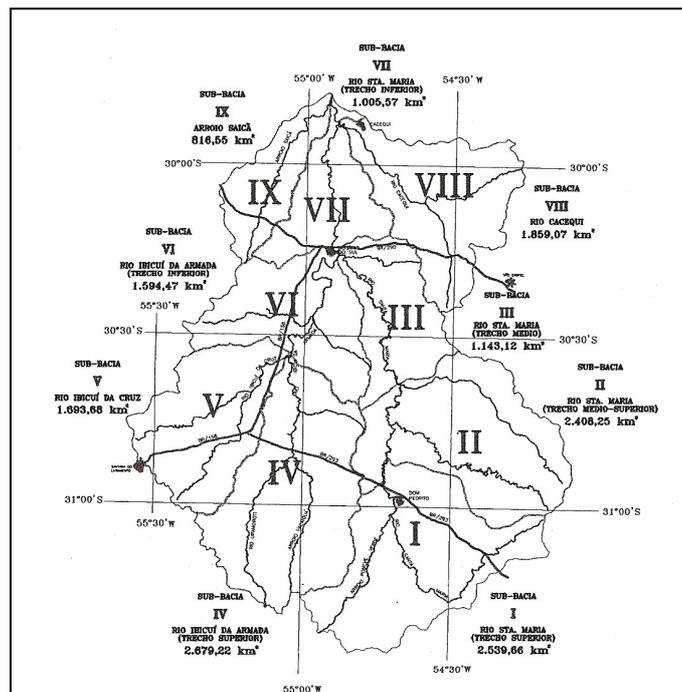


Figura 3 – Sub-bacias do rio Santa Maria (Fonte: Bourscheid, 1996)

A literatura apresenta várias taxas para calcular a demanda de água para irrigação de arroz. Os órgãos de pesquisa recomendam o uso de uma taxa entre  $1,5$  a  $2,0 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  (IRGA et al., 2001). Na pesquisa de Sachet (1977), valores próximos a  $1,0 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  foram encontrados sem que houvesse diferenças significativas entre variáveis usadas para caracterizar a produção, quando comparadas com taxas de  $2,0 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$ . Dreyer (1972) estimou a demanda em  $1,75 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$ , mesmo valor obtido nos experimentos de Fietz (1987). Tsutsui (1972), entretanto, estimou a demanda de água em torno de  $1,25 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$ . Estimativas de demanda para a bacia do rio Ibicuí ficaram em torno de  $1,75 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  a  $1,85 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  (Paiva et al., 2000).

Este trabalho adotou, para cálculo da demanda de água para irrigação, os valores de  $1,0 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$ ,  $1,75 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  e  $2,0 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$ . O primeiro valor representa um limite inferior de demanda, possível de ser atingido com sistema de irrigação com lâmina estagnada (Sachet, 1977). O segundo valor representa condições prováveis médias de demanda, em sistemas de irrigação com água corrente. A taxa de  $2,0 \text{ Ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  representa o limite superior de demanda. As áreas irrigadas por sub-bacias e as taxas de água utilizadas para irrigação de arroz permitem estimar as demandas de água para irrigação em cada sub-bacia, as quais são mostradas na tabela 1.

As alternativas dos irrigantes para suprimento da água são o abastecimento direto em rios, arroios, açudes, lagos naturais e água subterrânea. Em levantamento realizado na safra 1981/1982, IRGA (1982) constatou que a maior parte da água usada para irrigação era suprida por açudes (69%), seguindo-se rios (23%), arroios (5%), lagos e outros (3%). Por outro lado, Bourscheid (1996, 1997) estimou que 80% da água de irrigação é suprida por açudes e reservatórios, sendo os restantes 20% originados de cursos d'água.

Tabela 1 - Demandas de água para irrigação de arroz nas sub-bacias do rio Santa Maria

Sub-Bacia	Área Irrigada (ha)	Demanda de Água (Ls <sup>-1</sup> )		
		Limite inferior	Valor médio	Limite superior
I	11.180	11.180	19.565	22.360
II	9.636	9.636	16.863	19.273
III	10.139	10.139	17.743	20.278
IV	16.963	16.963	29.686	33.926
V	5.878	5.878	10.286	11.756
VI	9.484	9.484	16.597	18.967
VII	7.065	7.065	12.365	14.131
VIII	7.477	7.477	13.086	14.955
IX	3.215	3.215	5.626	6.430
Total	81.038	81.038	141.817	162.076

## 2.2 Demanda de água para abastecimento de animais

As demandas de água para abastecimento animal foram estimadas a partir do número de animais existentes na bacia do rio Santa Maria e de seus consumos “per capita”. As demandas foram sub-divididas para animais de grande e pequeno porte. Animais de grande porte são os bovinos, suínos, eqüinos, asininos, bubalinos e muares; animais de pequeno porte são os caprinos, ovinos, galinhas, galos, codornas e coelhos. A tabela 2 apresenta as somas dos rebanhos de grande e médio porte situados dentro da bacia. Estas somas foram calculadas através do produto entre a percentagem de área do município pertencente à bacia e o número de animais em cada município. As demandas de água foram estimadas através do produto entre taxas de consumo de água e o número do rebanho. As taxas de consumo consideradas foram: bovinos, bufalinos, eqüinos, asininos e muares: 45 L/cabeça-dia; suínos: 30 L/cabeça-dia; ovinos, caprinos: 5,0 L/cabeça-dia; coelhos, aves: 0,35 L/cabeça-dia (Corsan apud Paiva et al., 2000).

Tabela 2 - Demanda de água para animais dentro da bacia do rio Santa Maria

Município	Área na Bacia (%)	Rebanho (número x 10 <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )		Demanda total	
		Grande	Pequeno	Grande	Pequeno	(m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )	L/s
Cacequi	49.6	83,0	26,1	3712,8	66,6	3779,4	44
Dom Pedrito	97.9	430,5	237,2	19266,7	973,4	20240,1	234
Lavras do Sul	40.0	76,9	53,2	3439,0	218,5	3657,5	42
Rosário do Sul	75.1	267,3	158,5	11947,5	609,0	12556,4	145
Sant.	41.5	229,2	231,5	10257,7	1049,2	11306,9	131
São Gabriel	37.2	168,7	111,3	7549,0	414,9	7964,0	92
Total		1255,6	817,7	56172,7	3331,6	59504,4	689

Os resultados da tabela 2 permitem calcular uma taxa de demanda de consumo para animais de grande e pequeno porte. Esta taxa é dada pela razão entre a demanda total e a área da bacia hidrográfica, 15.740 km<sup>2</sup>. As taxas para animais de grande e pequeno porte são:

- Taxa de consumo animais de grande porte =  $56.172.750 \text{ Ldia}^{-1} / 1.574.000 \text{ ha} = 35,7 \text{ Lha}^{-1}\text{dia}^{-1}$

- Taxa de consumo animais de pequeno porte =  $3.331.618 \text{ Ldia}^{-1} / 1.574.000 \text{ ha} = 2,1 \text{ Lha}^{-1}\text{dia}^{-1}$

A tabela 3 apresenta as demandas de água para animais para cada sub-bacia do rio Santa Maria. Estas demandas são o resultado do produto entre a taxa de consumo e a área de cada sub-bacia. Os resultados indicam que 94% da demanda de água é de animais de grande porte.

Tabela 3 - Demandas de água para abastecimento animal nas sub-bacias do rio Santa Maria

Sub-bacia	Área (ha)	Demanda ( $\text{Ls}^{-1}$ )		
		Grande	Pequeno	Total
I	253.966	105	6	111
II	240.825	99	6	105
III	114.312	47	3	50
IV	267.922	111	7	117
V	169.368	70	4	74
VI	159.447	66	4	70
VII	100.557	42	2	44
VIII	185.907	77	5	81
IX	81.655	34	2	36
Total	1.573.959	650	39	689

### 2.3 Demanda de água para abastecimento das populações urbanas e rurais

Os dados populacionais dos municípios da bacia do rio Santa Maria são apresentados na tabela 4. As demandas de água para as populações urbanas e rurais foram estimadas através do produto entre o número de habitantes e taxas de consumo. As taxas de consumo adotadas para populações urbana e rural foram  $250 \text{ Lhab}^{-1}\text{d}^{-1}$  (Heller e Casseb, 1995) e  $100 \text{ Lhab}^{-1}\text{d}^{-1}$  (Paiva et al., 2000).

Tabela 5 - População dos municípios da bacia do rio Santa Maria - ano 2000 (Fonte: FEE, 2001)

Município	População			% na Bacia	
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Cacequi	13015	2296	15311	100	49.6
Dom Pedrito	35751	4606	40357	100	97.9
Lavras do Sul	4832	3273	8105	0	40.0
Rosário do Sul	36221	4804	41025	100	75.1
S. Livramento	84370	6377	90747	50	41.5
São Gabriel	53186	9014	62200	0	37.2
Total	227375	30370	257.745		

As demandas urbanas de Santana do Livramento, Dom Pedrito, Rosário do Sul e Cacequi são exercidas respectivamente, nas sub-bacias V, I, VII e VIII. As demandas das populações em áreas rurais foram estimadas por uma taxa de consumo de população rural e a área da sub-bacia. A taxa de consumo rural foi calculada dividindo-se a demanda rural pela área da bacia.

- Taxa de consumo de população rural =  $19,2 \text{ Ld}^{-1} / 1.574.000 \text{ ha} = 1,05 \text{ Lha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$

A tabela 5 apresenta as demandas de água para população para as sub-bacias do rio Santa Maria.

Tabela 5 - Estimativa das demandas de água para população nas sub-bacias do rio Santa Maria

Sub-bacia	Área (ha)	Demanda (Ls <sup>-1</sup> )		
		Urbana	Rural	Total
I	253.966	103	3	107
II	240.825	0	3	3
III	114.312	0	1	1
IV	267.922	0	3	3
V	169.368	122	2	124
VI	159.447	0	2	2
VII	100.557	105	1	106
VIII	185.907	38	2	40
IX	81.655	0	1	1
Total	1.573.959	368	19	387

## 2.4 Demanda global de água na bacia do rio Santa Maria

A demanda de água por setor na bacia do rio Santa Maria é apresentada na tabela 6. As tabelas 7 e 8 mostram, respectivamente, a demanda global e os percentuais de demandas, por setores. A figura 4 mostra as demandas em forma gráfica para o caso de limite inferior de demanda de irrigação de arroz. Os resultados apresentados mostram que a demanda de água na bacia é dominada por irrigação, correspondendo a mais de 96% das necessidades de água em todas as sub-bacias, para o limite inferior de demanda de irrigação. Para demandas média e superior de irrigação, as percentagens são superiores a 98%. Para a bacia como um todo, a demanda de irrigação situa-se em torno de 99% da demanda global de água.

Tabela 6 - Demandas de água por setor na bacia hidrográfica do rio Santa Maria

Sub-Bacia	Demanda (Ls <sup>-1</sup> )					
	Urbano	Rural	Animais	Irrigação		
				Lim. inf.	Médio	Lim. sup.
I	103	3.1	111	11180	19565	22360
II	0	2.9	105	9636	16863	19273
III	0	1.4	50	10139	17743	20278
IV	0	3.3	117	16963	29686	33926
V	122	2.1	74	5878	10286	11756
VI	0	1.9	70	9484	16597	18967
VII	105	1.2	44	7065	12365	14131
VIII	38	2.3	81	7477	13086	14955
IX	0	1.0	36	3215	5626	6430
Total	368	19.2	689	81037	141817	162076

A demanda de água para irrigação na bacia do rio Santa Maria corresponde a uma população equivalente de 28 milhões de habitantes, considerando uma demanda média de 250 L/hab-dia. Para a situação de limite superior de demanda de irrigação, a população equivalente é 56 milhões de habitantes. Estes valores dão uma idéia da magnitude da demanda de irrigação. Como comparação, a estimativa de população total da bacia do rio Santa Maria é 143.737 habitantes.

Tabela 7 - Demanda global de água na bacia do rio Santa Maria

Sub-Bacia	Demanda global (Ls <sup>-1</sup> )		
	Lim. Inf.	Médio	Lim. Sup.
I	11398	19783	22578
II	9744	16971	19381
III	10190	17794	20329
IV	17084	29807	34047
V	6076	10484	11954
VI	9556	16669	19039
VII	7215	12515	14281
VIII	7598	13207	15076
IX	3252	5663	6467
Total	82113	142893	163152

Tabela 8 - Demandas dos setores, limites inferiores de irrigação (%)

Sub-Bacia	Setor			
	Urbano	Rural	Animais	Irrigação
I	0.9	0.0	1.0	98.1
II	0.0	0.0	1.1	98.9
III	0.0	0.0	0.5	99.5
IV	0.0	0.0	0.7	99.3
V	2.0	0.0	1.2	96.7
VI	0.0	0.0	0.7	99.2
VII	1.5	0.0	0.6	97.9
VIII	0.5	0.0	1.1	98.4
IX	0.0	0.0	1.1	98.9
Total	0.4	0.0	0.8	98.7

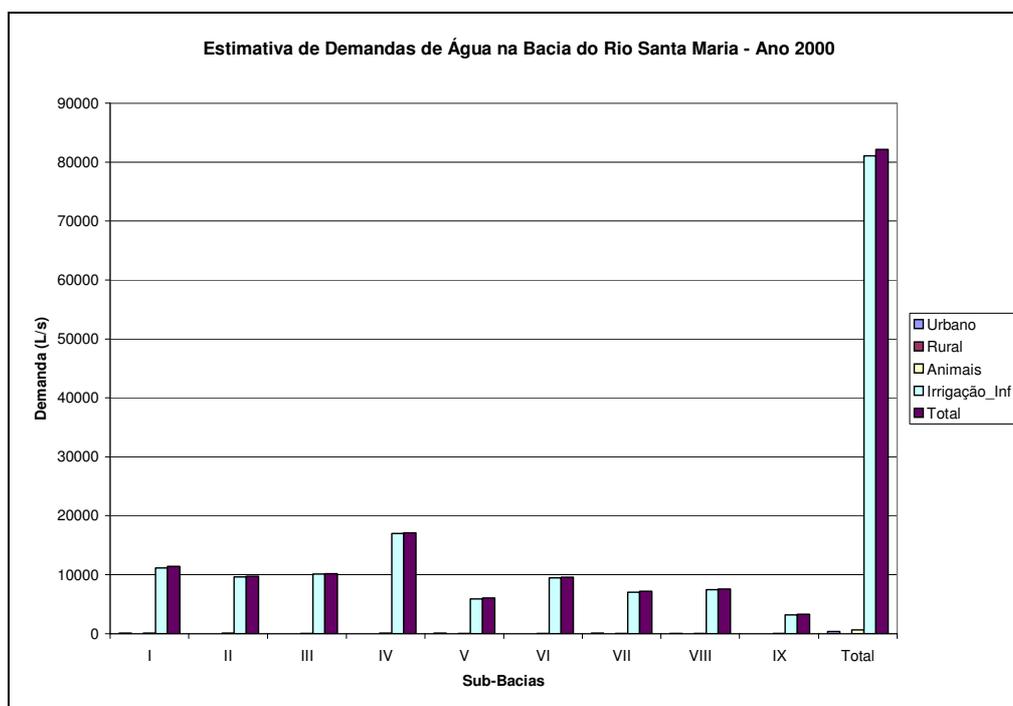


Figura 4 - Demandas de água por setor e global na bacia do rio Santa Maria – caso de demanda mínima de irrigação de arroz

### 3.2 Avaliação das disponibilidades de água

A avaliação das disponibilidades de água foi realizada considerando três situações: (a) vazões médias de verão, (b) média das vazões mínimas anuais de 30 dias de duração e (c) média das vazões mínimas anuais de 07 dias de duração. Avaliações considerando outras situações encontram-se descritas em Benetti (2002). A análise das disponibilidades hídricas baseou-se nas publicações de Silveira (1992), Bourscheid (1996) e CEEE e IPH (1991).

#### 3.2.1 Análise das disponibilidades de água usando regionalização de vazões (CEEE e IPH, 1991)

A regionalização de vazões é uma técnica que utiliza informações hidrológicas existentes em uma região para estimar variáveis hidrológicas em outra região onde há carência de dados. Para o Rio Grande do Sul, CEEE e IPH (1991) utilizaram dados de 126 postos fluviométricos no estudo de regionalização, sendo 15 postos localizados na bacia do rio Ibicuí e 01 no rio Santa Maria. A equação 2 mostra a regressão para cálculo da vazão mínima com duração  $t$  (dias), para a região do rio Santa Maria.

$$Q_{7,\min} = 9,376 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,47} \cdot A^{1,12} \cdot L^{-0,67} \quad (2)$$

sendo:  $Q_{t,\min}$  = vazão mínima associada a duração  $t$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ];  $A$  = área de drenagem [ $\text{km}^2$ ];  $L$  = comprimento do rio [km]

#### 3.2.2 Análise das disponibilidades de água por Silveira (1992)

Silveira (1992) utilizou os dados do Posto Fluviométrico de Rosário do Sul para avaliar as disponibilidades hídricas na bacia do rio Santa Maria. As médias das vazões mínimas anuais de 7 e 30 dias de duração e de verão foram obtidas diretamente dos dados do referido posto fluviométrico. As vazões para outras seções do rio foram calculadas pela equação 3.

$$Q(i) = Q(\text{Ros}) \times A(i)/A(\text{Ros}) \quad (3)$$

sendo:  $Q(i)$  = vazão do rio na seção  $i$  ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ );  $Q(\text{Ros})$  = vazão do rio em Rosário do Sul ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ );  $A(i)$  = área de drenagem do rio na seção  $i$  ( $\text{m}^2$ );  $A(\text{Ros})$  = área de drenagem do rio em Rosário do Sul ( $\text{m}^2$ ). A tabela 9 mostra as áreas e extensões dos trechos de gerenciamento adotados.

Tabela 9 – Áreas e extensões nos trechos de gerenciamento adotados (Silveira, 1992)

Trecho	Área ( $\text{km}^2$ )	Extensão (km)
1	14.950	12,0
2	12.022	50,2
3	5.013	71,3
4	3.789	14,8
5	2.113	71,0
6	4.444	65,8
7	1.791	37,5

### 3.2.3 Análise das disponibilidades de água por Bourscheid (1996)

Bourscheid (1996) dividiu a bacia do rio Santa Maria em nove sub-bacias com características similares. Para cada sub-bacia foram determinadas equações para vazões através do método de regionalização. Os dados utilizados no estudo de regionalização foram as vazões de 28 postos fluviométricos localizados no entorno da bacia do rio Santa Maria. Na bacia, somente as vazões do posto de Rosário do Sul puderam ser utilizadas. A equação 4 representa a equação de regionalização para a média das vazões mínimas de 07 dias de duração.

$$Q_{\text{mín } 7 \text{ dias}} = 0,0054 \cdot A^{0,455} \cdot P^{4,046} \cdot L^{0,383} \quad (4)$$

As vazões mínimas anuais de 30 dias não foram estimadas, enquanto que as vazões de verão foram estabelecidas através de correlação com a vazão média de verão do Posto Fluviométrico de Rosário do Sul.

### 3.2.4 A comparação das disponibilidades de água estimadas pelos três estudos

Para comparar as estimativas de vazões na bacia do rio Santa Maria de acordo com as metodologias utilizadas em CEEE e IPH (1991), Silveira (1992) e Bourscheid (1996), foi preciso definir seções comuns de comparação uma vez que os trechos de gerenciamento estabelecidos por Silveira são diferentes das sub-bacias utilizadas por Bourscheid. O presente trabalho utilizou, para comparação de vazões, as 9 sub-bacias definidas no estudo da Bourscheid.

A tabela 10 apresenta as médias das vazões mínimas com 07 dias de duração –  $Q_{7,\text{min}}$ . As vazões nas sub-bacias foram estimadas através das equações 2 (CEEE/IPH), 3 (Silveira) e 4 (Bourscheid). Observa-se que as menores vazões foram àquelas estimadas com o critério de Silveira.

Tabela 10 - Médias das vazões mínimas anuais de 07 dias de duração -  $Q_{7,\text{min}}$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]

Sub-Bacia	CEEE/IPH (1991)	Silveira (1992)	Bourscheid (1996)
I	5,1	1,5	4,2
II	8,8	3,1	6,8
III	8,7	3,8	9,5
IV	8,7	1,8	3,8
V	6,1	1,1	2,9
VI	19,0	7,7	14,6
VII	23,2	10,1	21,9
VIII	6,3	1,2	3,4
IX	2,9	0,5	2,2

A tabela 11 mostra as médias das vazões mínimas de 30 dias de duração ( $Q_{30,\text{min}}$ ). As vazões foram estimadas com as equações 2, para  $t = 30$  dias (CEEE/IPH), e 3 (Silveira). A tabela 12 mostra as vazões de verão para os três estudos. Os valores de CEEE/IPH foram calculados através da equação 2, com  $t = 90$  dias, enquanto que os de Silveira (1992) foram calculados com a equação 3.

Os valores de Bourscheid foram retirados diretamente do quadro 41 do capítulo 16 – Estudos Hidrológicos (Bourscheid, 1996).

Tabela 11 - Médias das vazões mínimas anuais de 30 dias de duração -  $Q_{30,\min}$  [ $m^3s^{-1}$ ]

Sub-Bacia	CEEE/IPH (1991)	Silveira (1992)	Bourscheid (1996)
I	10,1	2,9	-
II	17,3	5,9	-
III	17,2	7,3	-
IV	17,3	3,4	-
V	12,1	2,1	-
VI	37,7	14,8	-
VII	46,0	19,4	-
VIII	12,4	2,3	-
IX	5,7	1,0	-

Tabela 12 - Vazões dos meses de verão [ $m^3s^{-1}$ ]

Sub-Bacia	CEEE/IPH (1991)	Silveira (1992)	Bourscheid (1996)
I	17	21	25
II	29	42	46
III	29	53	55
IV	29	24	28
V	20	16	20
VI	63	107	106
VII	77	140	145
VIII	21	17	19
IX	9	7	10

#### 4. O CONFRONTO DISPONIBILIDADE VERSUS DEMANDA

O confronto entre as demandas e disponibilidades de água na bacia requer o conhecimento das vazões naturais do rio Santa Maria e afluentes. As vazões atualmente medidas no Posto Fluviométrico de Rosário do Sul não podem ser consideradas naturais, pois refletem as influências da extensa rede de açudes construídas na bacia e as abstrações de água para irrigação feitas de maneira direta do rio.

##### 4.1 Vazões Naturais

Quais seriam as vazões naturais do rio Santa Maria caso não houvesse irrigação? Para realizar esta estimativa é necessário fazer uma separação dos conceitos de demanda de água e consumo de água. A demanda de água para irrigação inclui os volumes necessários para (1) saturação do solo, (2) formação da lâmina líquida sobre o solo saturado, (3) evapotranspiração, (4) percolação profunda, e (5) percolação lateral (Corrêa et al., 1997). Há ainda o volume de água que é incorporado a biomassa das plantas, estimado em 1% a 3% da evapotranspiração potencial

(Beltrame e Gondim, 1982). Enquanto que a demanda de água engloba todas estas variáveis, o consumo de água dá-se apenas através da evapotranspiração e da incorporação de água na biomassa. Como este último é muito pequeno, para efeitos práticos considera-se como consumo apenas o valor da evapotranspiração. Segundo o conceito descrito em Tucci e Beltrame (2000), evapotranspiração é a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas.

A figura 5 ilustra as duas principais fontes de água para irrigação - os açudes e rio Santa Maria com seus afluentes. O campo A é irrigado nos meses de verão com água de açude que foi armazenada nos meses de inverno. O campo B é irrigado com água captada diretamente do rio Santa Maria durante os meses de verão. As vazões de verão do rio Santa Maria são afetadas tanto pelos açudes como pela retirada direta de água do rio. Quando se inicia a irrigação, o nível de água no açude decresce e o fluxo de água que vertia sobre o vertedouro é interrompido. Desta maneira, o rio Santa Maria deixa de receber a contribuição do arroio onde o açude foi construído.

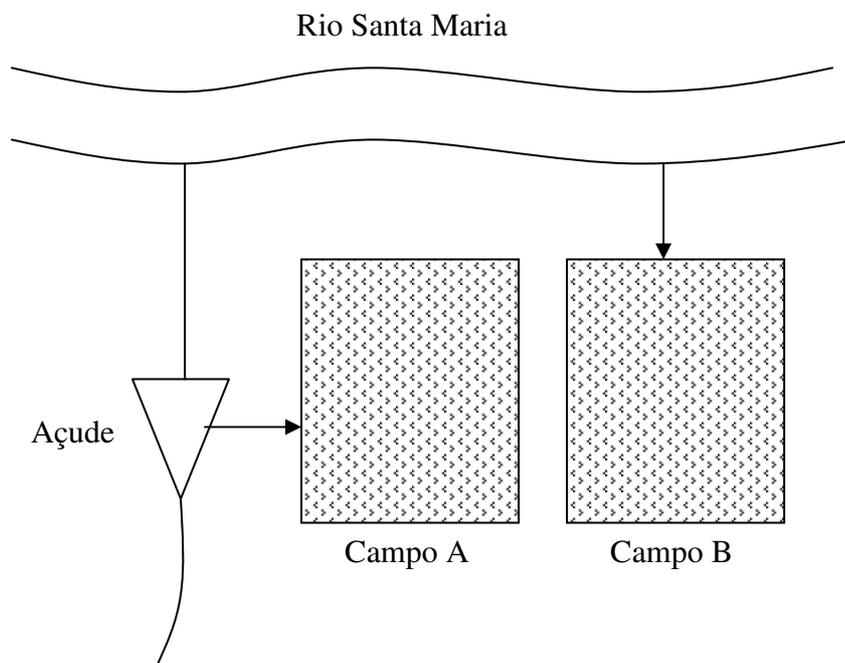


Figura 5 - Ilustração de fontes de suprimento de água para irrigação

Para estimativa das vazões naturais de verão do rio Santa Maria seriam necessários conhecer a quantidade de água que é retida pelos açudes no verão e a evapotranspiração da água que é retirada diretamente do rio. Contudo, não se conhece as vazões retidas nos açudes. Desta forma, as estimativas de vazões naturais serão realizadas considerando apenas a evapotranspiração das águas de irrigação utilizadas diretamente do rio. Os valores assim calculados serão um limite inferior das vazões naturais do rio.

## 4.2 Consumo de água na irrigação

As pesquisas realizadas sobre as demandas de água para arroz irrigado concordam que a parcela de evapotranspiração é bastante significativa. Sachet (1977) mediu 7,5 mm/dia de evapotranspiração, constituindo 70% da água usada em seus experimentos com cultivo de arroz. Por outro lado, Fietz (1987) mediu o valor médio de 8,9 mm/dia durante 102 dias de irrigação. Motta et al. (1990) calcularam valores médios de evapotranspiração entre 6,7 mm/dia a 7,7 mm/dia em 07 cidades do Rio Grande do Sul. Em experimentos na cidade de Pelotas, RS, Beirsdorf e Motta (1976) mediram 6,4 mm/dia como evapotranspiração média em 20 períodos de 05 dias. Em seu estudo da bacia do Rio Santa Maria, Silveira (1992) utilizou o valor de evapotranspiração medido por Sachet (1977), 7,5 mm/dia.

## 4.3 Estimativas das vazões naturais na bacia do rio Santa Maria

Para estimativa das vazões naturais na bacia do Rio Santa Maria foi considerada a taxa de evapotranspiração de 7,5 mm/dia. Este valor situa-se na faixa de evapotranspiração medida nos trabalhos mencionados na seção 4.2. Considerando-se o período de irrigação como 100 dias, a vazão unitária de evapotranspiração seria 0,87 L/s·ha. Conhecendo-se as áreas de arroz irrigado em cada sub-bacia, calculou-se o consumo de água por evapotranspiração através do produto entre 0,87 L/s·ha e áreas cultivadas. Segundo o cadastro de irrigantes realizado por Bourscheid (1997), na safra de arroz de 1996/1997, 20% da água de irrigação na bacia do rio Santa Maria foi derivada diretamente de cursos d'água. Os restantes 80% da água de irrigação foram supridos por açudes.

A tabela 13 apresenta as estimativas de consumo de água de evapotranspiração nas sub-bacias do rio Santa Maria. A segunda coluna da tabela 13 mostra a razão entre as áreas irrigadas por irrigação direta em cada sub-bacia em relação a área total de irrigação direta na bacia. Estes valores foram baseados nos dados de Bourscheid (1997). A terceira coluna resulta do produto entre os valores da segunda coluna e 16.206 ha, correspondentes a 20% da área total irrigada estimada neste estudo (81.038 ha). Os valores da quarta coluna representam a área acumulada de irrigação derivada diretamente de cursos d'água, enquanto que os valores da quinta coluna foram calculados pelo produto entre o consumo unitário de evaporação, 0,87 L/s·ha e as áreas da quarta coluna.

Com as vazões de evapotranspiração da tabela 13, foram estimadas as vazões naturais de verão. As tabelas 14 a 16 apresentam as estimativas de vazões naturais correspondentes a (a) médias das vazões mínimas anuais de 07 dias de duração, (b) médias das vazões mínimas anuais de 30 dias de duração, (c) vazões dos meses de verão. Os valores correspondem àqueles das tabelas 10 a 12 somados as vazões de evapotranspiração da tabela 13.

Tabela 13 - Estimativas de vazões de evapotranspiração em áreas de irrigação direta do rio Santa Maria e afluentes

Sub-Bacia	Irrig direta/ Irrig. total	Área irrigada de rios (ha)	Área acumulada (ha)	Evapotranspiração ( $m^3 s^{-1}$ )
I	0,0346	561	561	0,49
II	0,1173	1901	2462	2,14
III	0,1177	1908	4370	3,80
IV	0,1115	1807	1807	1,57
V	0,0660	1070	1070	0,93
VI	0,1022	1656	8903	7,75
VII	0,2143	3473	16206	14,10
VIII	0,1419	2300	2300	2,00
IX	0,0944	1530	1530	1,33
Total	1,0	16206	16206	

Tabela 14 - Estimativas das vazões naturais – médias das vazões mínimas anuais de 07 dias de duração, ( $m^3 s^{-1}$ )

Sub-Bacia	CEEE/IPH (1991)	Silveira (1992)	Bourscheid (1996)
I	5,6	2,0	4,7
II	10,9	5,2	8,9
III	12,5	7,6	13,3
IV	10,3	3,3	5,4
V	7,0	2,1	3,9
VI	26,8	15,5	22,4
VII	37,3	24,2	36,0
VIII	8,3	3,2	5,4
IX	4,2	1,8	3,6

Tabela 15 - Estimativas das vazões naturais - médias das vazões mínimas anuais de 30 dias de duração, [ $m^3/s$ ]

Sub-Bacia	CEEE/IPH (1991)	Silveira (1992)	Bourscheid (1996)
I	10,6	3,4	-
II	19,5	8,0	-
III	21,0	11,1	-
IV	18,9	4,9	-
V	13,0	3,1	-
VI	45,5	22,5	-
VII	60,1	33,5	-
VIII	14,4	4,3	-
IX	7,0	2,3	-

#### 4.4 Disponibilidades versus demanda de água

Esta seção examina se as demandas de água existentes na bacia do rio Santa Maria são compatíveis com as disponibilidades de água existentes ao longo dos meses de verão e para as condições típicas de estiagem. A tabela 17 apresenta as estimativas dos volumes de água

disponíveis nas sub-bacias do rio Santa Maria considerando as vazões médias de verão (meses de dezembro, janeiro e fevereiro). Estas estimativas foram obtidas utilizando as vazões da tabela 16 e multiplicando-as por 86.400 segundos e 100 dias. O valor de 100 dias foi considerado como número médio de dias de irrigação. Na tabela 17, foram utilizadas as estimativas de Bourscheid (1996), que são bastante próximas das de Silveira (1992). Por exemplo, a estimativa do volume de água disponível na sub-bacia I foi calculado pelo produto  $25 \text{ m}^3/\text{s} \times 86.400 \text{ s/dia} \times 100 \text{ dias} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ . As demandas de água foram calculadas utilizando os valores da tabela 7, considerando os limites inferior, médio e superior de demandas. Por exemplo, o limite inferior de demanda para a sub-bacia I foi calculado pelo produto  $11.398 \text{ L/s} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L} \times 86.400 \text{ s/dia} \times 100 \text{ dias} = 9,85 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ .

Tabela 16- Estimativas das vazões naturais – vazões dos meses de verão, ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

Sub-Bacia	CEEE/IPH (1991)	Silveira (1992)	Bourscheid (1996)
I	17	21	25
II	31	45	48
III	33	57	59
IV	31	26	30
V	21	16	21
VI	71	115	114
VII	91	154	159
VIII	23	19	21
IX	11	8	12

Tabela 17 - Comparação entre as estimativas de disponibilidades e demandas de água na bacia do rio Santa Maria para as condições médias de vazão nos meses de verão, [ $\text{m}^3$ ]

Sub-Bacia	Disponibilidade	Demanda global acumulada		
		Lim. inferior	Médio	Lim. superior
I	2,18E+08	9,85E+07	1,71E+08	1,95E+08
II	4,18E+08	1,83E+08	3,18E+08	3,63E+08
III	5,12E+08	2,71E+08	4,71E+08	5,38E+08
IV	2,56E+08	1,48E+08	2,58E+08	2,94E+08
V	1,77E+08	5,25E+07	9,06E+07	1,03E+08
VI	9,83E+08	5,53E+08	9,63E+08	1,10E+09
VII	1,09E+09	6,16E+08	1,07E+09	1,22E+09
VIII	1,81E+08	6,56E+07	1,14E+08	1,30E+08
IX	9,96E+07	2,81E+07	4,89E+07	5,59E+07

As estimativas apresentadas na tabela 17 mostram que as disponibilidades de água são maiores do que as demandas quando estas foram estimadas considerando taxas de uso da água na irrigação de  $1,0 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  e  $1,75 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . As sub-bacias III, IV, VI e VII apresentam demandas maiores do que as disponibilidades se as taxas de uso da água em irrigação forem  $2,0 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

A tabela 18 e figura 6 mostram uma situação mais crítica, onde as disponibilidades são estimadas através das médias das vazões mínimas anuais de 30 dias de duração. As disponibilidades

foram estimadas com os dados de Silveira da tabela 11. Nota-se que, quando as vazões correspondem a média das mínimas de 30 dias de duração, há falta de água para atender a demanda sob todas os cenários de taxas de uso da água na irrigação.

Tabela 18 - Comparação entre as estimativas de disponibilidades e demandas de água na bacia do rio Santa Maria para as médias de vazões mínimas anuais de 30 dias de duração [m<sup>3</sup>]

Sub-Bacia	Disponibilidade	Demanda global de acumulada		
		Lim. inferior	Médio	Lim. superior
I	8,69E+06	2,95E+07	5,13E+07	5,85E+07
II	2,08E+07	5,48E+07	9,53E+07	1,09E+08
III	2,89E+07	8,12E+07	1,41E+08	1,61E+08
IV	1,28E+07	4,43E+07	7,73E+07	8,82E+07
V	7,98E+06	1,57E+07	2,72E+07	3,10E+07
VI	5,84E+07	1,66E+08	2,89E+08	3,30E+08
VII	8,68E+07	1,85E+08	3,21E+08	3,67E+08
VIII	1,11E+07	1,97E+07	3,42E+07	3,91E+07
IX	6,01E+06	8,43E+06	1,47E+07	1,68E+07

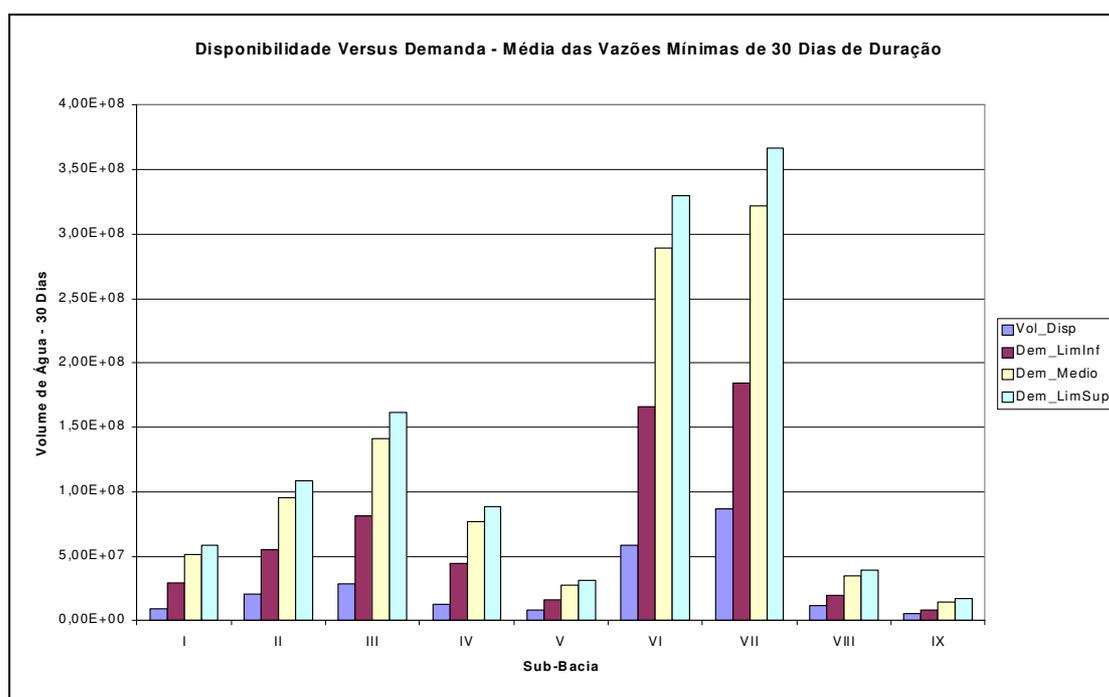


Figura 6 - Disponibilidades e demandas de água na bacia do rio Santa Maria – médias das vazões mínimas de 30 dias de duração [m<sup>3</sup>]

A tabela 19 apresenta uma situação ainda mais crítica, quando as vazões correspondem a média das vazões mínimas de 07 dias de duração. Neste caso, não haverá água disponível para atender as demandas, sob quaisquer cenários.

Tabela 19 - Comparação entre as estimativas de disponibilidade e demandas de água na bacia do rio Santa Maria para as médias de vazões mínimas anuais de 07 dias de duração [m<sup>3</sup>]

Sub-Bacia	Disponibilidade	Demanda global de água		
		Lim_inf	Médio	Lim_sup
I	2,83E+06	6,89E+06	1,20E+07	1,37E+07
II	5,38E+06	1,28E+07	2,22E+07	2,54E+07
III	8,03E+06	1,89E+07	3,30E+07	3,77E+07
IV	3,24E+06	1,03E+07	1,80E+07	2,06E+07
V	2,34E+06	3,67E+06	6,34E+06	7,23E+06
VI	1,35E+07	3,87E+07	6,74E+07	7,70E+07
VII	2,18E+07	4,31E+07	7,50E+07	8,56E+07
VIII	3,26E+06	4,60E+06	7,99E+06	9,12E+06
IX	2,15E+06	1,97E+06	3,42E+06	3,91E+06

## 5. CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria vem enfrentando situações localizadas de escassez de água durante os meses de dezembro a março, coincidentes com os períodos de estiagem e de irrigação de arroz. Esta escassez acaba resultando em uma situação de conflito entre os usos da água para abastecimento público e irrigação. Em um outro nível, menos visível à opinião pública, estão os efeitos negativos da falta de manutenção das vazões necessárias para a preservação dos ecossistemas aquáticos do rio Santa Maria e afluentes.

Nos últimos 30 anos, as áreas de cultivo de arroz cresceram mais de duas vezes nos municípios que integram a bacia hidrográfica do rio Santa Maria. Sendo o arroz uma cultura irrigada, este aumento na área de cultivo resultou em maior uso da água na bacia, culminando, em algumas situações, com o leito do rio ficando seco.

Este trabalho realizou estimativas das demandas e disponibilidades de água na bacia do rio Santa Maria. As estimativas de demandas englobaram o abastecimento das populações urbanas e rurais, animais e irrigação. As estimativas de irrigação foram realizadas para três cenários de demanda de água – 1,0 Ls<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>, 1,75 Ls<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> e 2,0 Ls<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>. Os resultados confirmaram que a irrigação é a grande usuária de água na bacia; mesmo para o cenário de menor consumo, a irrigação compõe cerca de 99% da demanda da água na bacia. Em termos de equivalência de demanda de água para satisfazer as necessidades humanas, a demanda de irrigação equivale a uma população de 28 milhões de habitantes na bacia, considerando-se a menor taxa de uso da água na irrigação. Para a maior taxa, 2,0 Ls<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>, a demanda equivaleria a 56 milhões de habitantes.

As estimativas das disponibilidades de água foram realizadas baseando-se em estudos já realizados na bacia do rio Santa Maria. As disponibilidades de água foram avaliadas em termos de vazões médias de verão, média das vazões mínimas anuais de 30 dias de duração e média das vazões mínimas anuais de 07 dias de duração.

As vazões existentes no rio Santa Maria e afluentes encontram-se alteradas pelo armazenamento da água na extensa rede de açudes construídos na bacia e pelas abstrações de água diretamente do rio para irrigação. Com a finalidade de realizar comparações entre demandas e disponibilidades de água, estimou-se quais seriam as vazões naturais do rio Santa Maria. Estas seriam as vazões que existiriam no rio caso não houvesse açudes e irrigação. As vazões naturais do rio Santa Maria foram estimadas através das somas entre as vazões medidas ou estimadas no rio e as vazões de evapotranspiração.

A comparação entre disponibilidades e demandas de água para as condições médias de vazão no verão mostrou que as disponibilidades são maiores do que as demandas quando estas são estimadas para o cenário em que a taxa de uso da água na irrigação é  $1,0 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . Para o cenário com taxa de  $2,0 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , as demandas serão maiores do que as disponibilidades em quatro das nove sub-bacias do rio Santa Maria. A medida que consideram-se situações mais críticas de vazão, como as médias das vazões mínimas de 07 e 30 dias de duração, as demandas ficam inferiores as disponibilidades, mesmo para o cenário onde a menor taxa de uso da água para irrigação é utilizado.

Este trabalho indica que um uso mais racional da água na bacia do rio Santa Maria terá que ser buscado. Se a tendência de crescimento das áreas de cultivo de arroz permanecerem como estiveram nos últimos 30 anos, a demanda de água para irrigação continuará a crescer. Se a sociedade entender que as águas do Rio Santa Maria devem atender outros usos além da irrigação, terá que ser fixado um limite de água que poderá ser abstraído do rio para atender a irrigação. A partir deste limite, os agricultores decidirão as áreas de arroz que poderão ser cultivadas.

Os resultados deste estudo são limitados em uma série de fatores. Os três trabalhos nos quais baseou-se o estudo consideraram, com unanimidade, que o Posto Fluviométrico de Rosário do Sul era o único com medições confiáveis. Assim, os dois estudos de regionalização consideraram as vazões deste único posto para toda a bacia do Santa Maria. No outro trabalho realizado, as vazões para as diversas seções do rio foram estimadas simplesmente por correlação de áreas de drenagem com o posto de Rosário do Sul. As vazões assim calculadas devem ser analisadas mais em termos de ordem de grandeza do que em termos de valores absolutos.

## BIBLIOGRAFIA

BEIRSDORF, M. I. C.; MOTTA, F. S. (1976). “*Evapotranspiração do arroz irrigado, em Pelotas, Rio Grande do Sul*”. *Ciência e Cultura* 28(11), pp. 1329-1334.

BELTRAME, L. T. S.; GONDIM, L. A. P. (1982). “*Estudo hidrológico do consumo de água em lavoura de arroz*”. *Lavoura Arrozeira* 35, pp. 22-28.

BENETTI, A. D. (2002). *Subsídios ao Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Santa Maria: Recursos Hídricos*. Porto Alegre: FEPAM, 2002. 4 v.

BOURSCHEID ENGENHARIA LTDA. (1996). *2ª Etapa do Plano de Utilização dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. Relatório Nº 1. Cenário Atual*. Porto Alegre: Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento/Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação, 2 v.

\_\_\_\_\_. (1997). *Programa de Recuperação e Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria*. Porto Alegre: Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento/Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA; INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS. (1991). *Regionalização de Vazões no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CEEE.

CORRÊA, N. I.; CAICEDO, N. L.; FEDDES, R. <sup>a</sup>; LOUZADA, J. A. S.; BELTRAME, L. F. S. (1997). “Consumo de água na irrigação por inundação”. *Lavoura Arrozeira* 50(432), pp. 3-8.

DREYER, G. C. (1972). “Aspectos da irrigação no Rio Grande do Sul”. *Lavoura Arrozeira* 25(267), pp. 28-34.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (2001). *Anuário Estatístico do Rio Grande do Sul 2001*. Porto Alegre: FEE. 1 CD-ROM.

FIETZ, C. R. (1987). *Demanda Hídrica em Lavoura de Arroz Irrigado (Oryza sativa L) em Planossolo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HELLER, L; CASSEB, M. M. S. (1995). Abastecimento de Água. In: BARROS, R. T. V.; CHERNICHARO, C. A. L.; HELLER, L.; VON SPERLING, M. (Eds.) *Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios*. Volume 2 – Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, cap. 4, pp. 63 – 112.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA (1982). *Anuário Estatístico do Arroz 1981/1982*. Porto Alegre:IRGA.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA; EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA – EPAGRI; CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE CLIMA TEMPERADO, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (2001). *Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil*. II Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. XXIV Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. Cachoeirinha, RS:IRGA.

MOTTA, F. S.; ALVES, E. G.; BECKER, C. T. (1990). “Informação climática para planejamento da necessidade de água para irrigação do arroz no Rio Grande do Sul”. *Lavoura Arrozeira* 43(392), pp. 3-6.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D.; GASTALDINI, M. C. C.; IRION, C. A. O.; DIAS, J. R.; COSTA, L. C. M.; RICHTER, L. A. (2000). “Quantificação da demanda de água na bacia do rio Ibicuí”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 5(3), pp. 93-111.

SACHET, Z. P. (1977). *Consumo de Água de Duas Cultivares de Arroz (Oriza sativa, L) em Três Tratamentos de Irrigação*. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada, área de concentração

Irrigação e Drenagem), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHULT, S. I. M. (2002). *A Bacia do Rio Santa Maria, Rio Grande do Sul – 2001*. Projeto Marca D'Água. Núcleo de Pesquisa em Políticas Públicas, Brasília, DF, 17 p.

SILVEIRA, G. L. (Coord.) (1992). *Projeto Rio Santa Maria. Sistema de Avaliação de Disponibilidades Hídricas Fluviais para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. Relatório Final*. Edição Preliminar. [Santa Maria]: Conselho Estadual de Recursos Hídricos/Universidade Federal de Santa Maria-FATEC, 92 p.

TSUTSUI, H. (1972). “*Manejo da água para produção de arroz*”. 1ª parte. *Lavoura Arrozeira* 25(268), pp. 24-27.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. (2000). Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia. Ciência e Aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Ed. Universidade/UFRGS, cap. 7, p. 253-287.