

CRITÉRIOS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Francisco Rossarolla Forgiarini, Professor da Universidade Federal de Santa Maria
José Luiz Silvério da Silva, Professor da Universidade Federal de Santa Maria
Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho, Doutorando da Universidade Federal de Santa Catarina
Ferdnando da Silva Cavalcanti, Engenheiro Civil da Agência Nacional de Transportes Terrestres

ABSTRACT

The water resources are strategic in the world and especially in Brazil. This article examines criteria for water resource management in the country, considering the interface between surface water (or fluvial) and groundwater. Was used as a case study the basin of Rio Santa Maria, Rio Grande do Sul State, southern Brazil which has outcrops of the Guarani Aquifer System, one of the largest groundwater reservoirs of the planet. We studied the criteria for legal instruments of grant of water use and classification of water bodies at different levels: local (well of groundwater abstraction), regional (sub-basins), global (basin). The criteria were: (i) local: the potential and the drawdown of aquifers; qualitative parameters of water; radius of influence of well, (ii) regional: vulnerability of aquifers, reduction of river discharge in the sub-basins, (iii) global: reduction of river discharge in the basin. The results indicate that the criteria analyzed according to different levels, facilitate actions for conservation of surface and groundwater sources.

Palavras-chave: interface entre águas superficiais e subterrâneas; sustentabilidade, gestão dos recursos hídricos.

1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, a outorga de direito de uso da água representa um instrumento por meio do qual o Poder Público autoriza, concede ou ainda permite ao usuário fazer o uso das águas superficiais e subterrâneas. Com ela o Estado exerce, efetivamente, o domínio das águas preconizado pela Constituição Federal de 1988, regulando o compartilhamento da água entre os diversos usuários.

Por sua vez, o enquadramento representa a forma legal de estabelecer parâmetros qualitativos mínimos para o consumo e a gestão das águas no Brasil. Em função da alta variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas, o estabelecimento destes parâmetros que devem ser monitorados assume grande complexidade.

Sabe-se que as águas superficiais e subterrâneas constituem um único recurso, devendo, por isso, serem gerenciadas como partes integradas que se inter-relacionam no ciclo hidrológico. Conforme previsto no segundo artigo da Resolução nº22/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2002): “*Os Planos de Recursos Hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada aquífero como os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas.*” Entretanto, normalmente os processos atuais de outorga e de enquadramento desconsideram esta integração. Além disso, a gestão das águas deve ser realizada segundo a unidade geográfica da bacia hidrográfica. Contudo, também se sabe que as dimensões de um manancial de água subterrâneas podem ultrapassar os limites de uma Bacia Hidrográfica ou Sub-bacia, ou de um Estado ou, ainda, de um país.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG), localizado entre os paralelos 16º e 32º S e os meridianos 47º e 60º W de *Greenwich*, é um exemplo disto, uma vez que abrange parte do território de quatro países, Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (PSAG, 2009). Este estudo objetiva propor critérios aplicáveis aos instrumentos de outorga para o uso dos recursos hídricos e do enquadramento dos corpos d’água, que considerem a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas. Será utilizada como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brasil, integrante da Bacia Sedimentar do Paraná, que possui em parte da sua área afloramentos do SAG.

Este artigo faz parte de pesquisas realizadas no âmbito do Projeto ASUB/UFCG/UFAL/UFMS (2010) Integração dos instrumentos dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das águas subterrâneas e segue pesquisas de Silvério da Silva *et al.* (2010).

2- METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) localiza-se entre os paralelos 30° a 31° 30’ Sul e os meridianos 54° 15’ a 55° 45’ Oeste de *Greenwich*. Ocupa uma área de 15.797 km², representando 5,6% do estado. A Figura 1 ilustra a localização da área de estudo. Dentre os aspectos sócio-econômicos as principais

atividades econômicas da bacia BHRSM são a pecuária extensiva, a agricultura do arroz irrigado e o setor industrial.

A BHRSM ocupa a porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul, pertencente a Província Geomorfológica da Depressão Central, que é constituída por rochas sedimentares, parte da Província Escudo Cristalino Sul-Rio-Grandense e uma pequena parcela do Planalto da Serra Geral. Na BHRSM ocorrem afloramentos de cerca de 40% do Sistema Aquífero Guarani (SAG), constituído, principalmente, pelas formações Pirambóia, Rosário do Sul e Botucatu. Estas são transfronteiriças e se estendem no Uruguai segundo as formações Buena Vista e Tacuarembó (Araújo *et al.*, 1999).

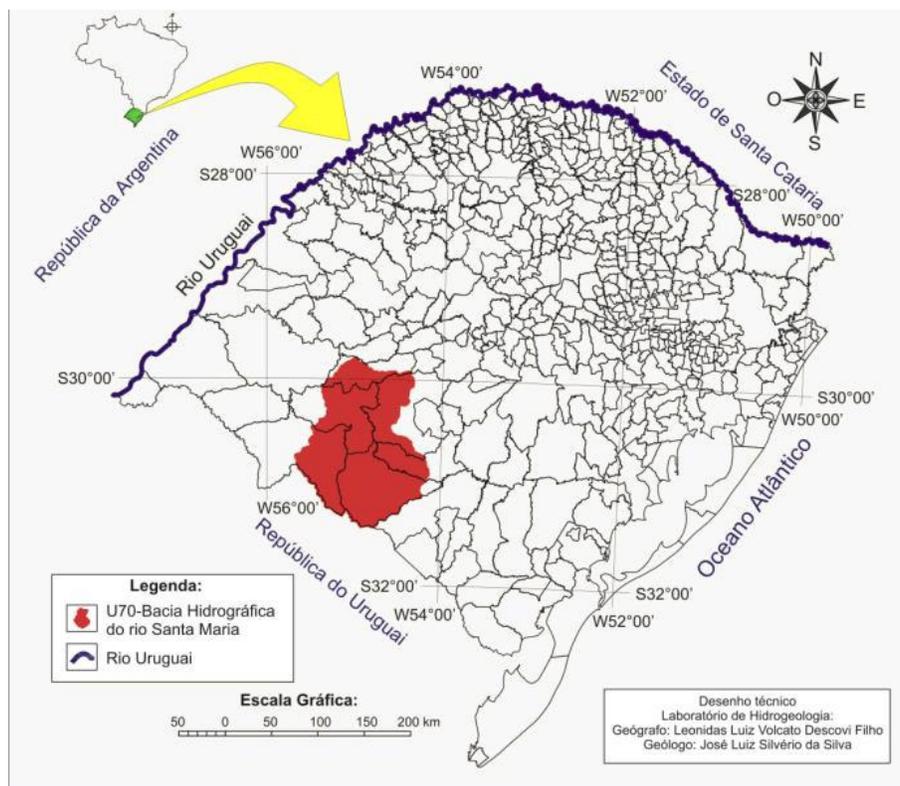


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, RS.

Três perguntas nortearam explicitamente a proposta de critérios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos neste trabalho:

- 1 - Existe água disponível no manancial “escolhido” pelo usuário para atender o uso?
- 2 - A água disponível possui uma qualidade compatível com o uso pretendido?
- 3 - Quais serão os efeitos deste uso nos mananciais próximos (o “escolhido” e os demais)?

As respostas destas perguntas foram obtidas por meio: da agregação de informações conjuntas para a caracterização dos mananciais da bacia hidrográfica; da realização de prognósticos futuros de usos da água; e da análise de impactos sobre a disponibilidade hídrica na bacia. Ou seja, a definição de critérios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos de forma integrada, com aplicação às águas subterrâneas na bacia do Rio Santa Maria, foi sustentada pela caracterização e modelagem dos fenômenos hidrológicos do local.

Assim, foram buscadas as respostas para as perguntas apresentadas, que definiriam os critérios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio Santa Maria:

Resposta da pergunta 1 – Para saber se existe água no manancial subterrâneo para atender os usos pretendidos foram analisadas as potencialidades dos aquíferos;

Resposta da pergunta 2 – Foram estabelecidos parâmetros de qualidade para atender os usos pretendidos;

Resposta da pergunta 3 – Foram analisadas as alterações na quantidade e qualidade da água do manancial de origem e em outros mananciais:

Mananciais subterrâneos: o manancial de retirada e possíveis mananciais subterrâneos conectados a este.

- alteração quantitativa: análise do rebaixamento devido a retirada da água do manancial subterrâneo;

- alteração qualitativa: poluição, também devido à retirada – foi avaliada pelos cuidados que o usuário deve tomar para proteger sua captação e pela vulnerabilidade natural do aquífero.

Mananciais superficiais:

- alteração quantitativa: redução dos níveis fluviais – pelo cone de rebaixamento e diminuição das vazões escoadas superficialmente;

- alteração qualitativa: poluição dos mananciais fluviais, por exemplo, deposição do efluente gerado do uso doméstico nos cursos d'água superficiais.

Estes critérios foram considerados em três escalas, local (poço), regional (sub-bacia) e global (bacia hidrográfica), de forma semelhante ao trabalho de Costa (2009). O Quadro 1 apresenta os critérios separados de acordo com as escalas de análise e os instrumentos de gestão relacionados. Abaixo do Quadro 1 são descritas as metodologias desenvolvidas para critério.

Quadro 1 – Critérios para a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil.

Pergunta	Critérios	Escala	Instrumento
Existe água?	Potencialidades dos aquíferos	Local	Outorga
Qualidade compatível?	Parâmetros de qualidade para atender os usos pretendidos	Geral (local, regional e global)	Enquadramento
Efeitos quantitativos?	Raio de influência do poço e Rebaixamento do aquífero	Local	Outorga
	Redução das vazões fluviais	Regional e Global	
Efeitos qualitativos?	Vulnerabilidade dos aquíferos	Local e Regional	Enquadramento

Potencialidades dos aquíferos:

Foram determinadas a partir da interpolação das vazões após a estabilização nos ensaios de bombeamento dos poços existentes. Os dados foram espacializados na bacia e foi realizada a interpolação pelo método do Vizinho Natural, usando o Programa ArcGIS®. Foram utilizados 408 poços, dentro e fora da bacia com objetivo de agregar informação e, com isso, gerar um mapa mais representativo. A interpolação pelo método Vizinho Natural difere das demais técnicas de interpolação (*krigagem*, interpolação ponderada pela distância, etc), pois não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Esta técnica utiliza polígonos de Thiessen para avaliação de pesos para os pontos. O método faz a interpolação através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas de influência.

Interpolação das vazões de estabilização pelo método vizinho natural (assegura que o valor interpolado seja um dos valores originais, ou seja, não gera novos valores). Outros métodos de interpolação produziram valores irrealistas, sem qualquer significado físico. Por exemplo, testes com o método da *krigagem* gerou valores de vazão negativos ou muito superiores aos valores observados (até 5 vezes superior).

Parâmetros de qualidade para atender os usos pretendidos:

Foram elaboradas duas análises, a classificação hidroquímica segundo o Diagrama de Piper e classificação de acordo com a razão de absorção de sódio (SAR). A água é uma substância quimicamente muito ativa, que tem grande facilidade de dissolver e reagir com outras substâncias orgânicas e inorgânicas. As substâncias dissolvidas podem estar sob a forma molecular ou iônica, porém, nas águas subterrâneas, esta última é predominante. A água subterrânea ao lixiviar os solos e as rochas enriquece-se em sais minerais em solução. A concentração das espécies naturais dissolvidas nas águas subterrâneas é função, principalmente, do intemperismo e da dissolução de minerais como os carbonatos e silicatos durante a interação da água com as rochas.

A classificação segundo Piper utiliza um diagrama triangular, em que os íons plotados são expressos em concentrações relativas (meq.L⁻¹) de cátions (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺) e de ânions (HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻ e SO₄⁻²). O diagrama é composto por três sub-diagramas (Fenzl, 1986; Drever, 1997; e Feitosa *et al.*, 2008). Um compõe o sub-diagrama de cátions, definindo sua classificação, outro apresenta a classificação para os ânions. Um terceiro sub-diagrama apresenta o resultado conjunto da classificação para os cátions e ânions. Na bacia do Rio Santa Maria existem 56 poços com informações completas quanto aos íons, que foram utilizados para a classificação segundo Piper.

A classificação da água subterrânea de acordo com o SAR é realizada para determinar a qualidade da água subterrânea para fins de irrigação. Existem alguns critérios que permitem verificar a adequabilidade da água para a agricultura, sendo atualmente o mais aceito e utilizado a classificação do *United States Salinity Laboratory* – USSL. Esta classificação baseia-se na Razão de Absorção de Sódio (RAS), como indicador do perigo de alcalinização ou sodificação do solo, e na condutividade elétrica da água (CE), como indicador do

perigo de salinização do solo. O RAS indica a porcentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo e é calculado por meio da Equação 1:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}} \quad \text{Equação 1.}$$

Quanto maior o SAR, menos apropriada é a água para fins de irrigação, em geral é utilizada a seguinte escala para o SAR: <10 = risco baixo; 10 a 18 = risco médio; 18 a 26 = risco forte e >26 = risco muito forte. Sendo que Na, Ca e Mg representam as concentrações de Sódio, Cálcio e Magnésio em miliequivalente por litro (meq/L). Para a classificação de acordo com o SAR foram utilizados 73 poços.

Raio de influência do poço:

Ao bombear-se água de um poço tubular, o nível da água subterrânea ajusta-se a este bombeamento formando um cone de rebaixamento. O raio de influência de um poço é entendido como a distância compreendida entre o poço de bombeamento e o local onde já não são mais observados os efeitos do bombeamento, ou seja, a distância a partir da qual os efeitos de um bombeamento num determinado poço são nulos, onde o rebaixamento é nulo. Nesta pesquisa o raio de influência do poço foi determinado com o uso da Equação 2 (Costa *et al.*, 2009):

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{T \times t}{S}} \quad \text{Equação 2.}$$

Sendo:

R = raio de influência, em metros;

T = transmissividade, em m²/s;

t = tempo de bombeamento, em segundos;

S = coeficiente de armazenamento, adimensional.

Rebaixamento do aquífero:

Segundo Albuquerque (2004), à escala de poço, as regras de explorabilidade são determinadas pela magnitude dos rebaixamentos. O autor argumenta que no sub-sistema livre ou em suas unidades integrantes, o rebaixamento máximo é de, aproximadamente 2/3 da espessura saturada. Para além desse limite, o poço tende à exaustão, podendo ter reflexos negativos nos recursos hídricos superficiais, ao menos na área do raio de influência do poço. Nesse aspecto reside a importância de relacionar a vazão máxima com o raio de influência entre os poços.

Para o sub-sistema confinado (ou semiconfinado), Albuquerque (2004) argumenta que o rebaixamento máximo admitido é dado pela profundidade da base da formação geológica confinante (ou semiconfinante). Ou seja, a profundidade do topo do aquífero, já que nunca se deve penetrar no domínio das reservas intersticiais, sob pena de poder provocar a compactação do aquífero na área de influência do poço, pela redução da pressão neutra e conseqüente aumento da pressão efetiva. Vale salientar que o raio de influência de poços abertos em aquíferos confinados ou semiconfinados é bastante grande, da ordem de centenas e, até, milhares de quilômetros.

Redução das vazões fluviais:

Para este critério foi utilizado o modelo MGB-IPH como ferramenta na simulação do regime hidrológico e na avaliação do efeito de diferentes percentuais de usos de água superficial e subterrânea sobre o escoamento no rio. Ele é um modelo hidrológico distribuído com forte embasamento físico desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na tese de doutorado de Walter Collischonn. O detalhamento da formulação do modelo pode ser encontrado em Collischonn (2001).

No MGB-IPH a bacia é subdividida em células quadradas, ligadas entre si por canais de drenagem. Em cada uma das células, devem-se informar as características de uso do solo, cobertura vegetal e tipo de solo. Na Figura 2(a) é apresentada a estrutura de cálculo de uma célula do modelo, desde a entrada da precipitação até a formação do escoamento. Nesta figura também são indicados os locais em sua estrutura nos quais são feitas as retiradas de água superficial e subterrânea. A BHRSM foi discretizada em células quadradas de 2,5 km de lado totalizando 80 células, conforme Figura 2(b).

Os volumes drenados de cada célula são somados, segundo o seu tipo – subterrâneo (DBAS), sub-superficial (DINT) e superficial (DSUP) – em três reservatórios, segundo Figura 2(a). Após passar por estes reservatórios, os escoamentos subterrâneo (QBAS), sub-superficial (QINT) e superficial (QSUP) são somados, resultando no escoamento gerado no interior da célula, que chega à rede de drenagem. Na rede de drenagem o escoamento é propagado e somado, conforme as características dos rios e das confluências, chegando ao exutório da bacia. Os hidrogramas de vazão podem ser avaliados no exutório, bem como em qualquer outro ponto ao longo da rede de drenagem representada, por exemplo, em sub-bacias.

As retiradas superficiais foram baseadas em percentuais (0%, 30%, 50%, 70%, 80%, 90% e 100%) da vazão de referência $Q_{90\%}$, utilizada atualmente para definição de critérios de outorga de água superficial na BHRSM. Esta vazão representa a vazão com 90% de permanência nos cursos d'água, ou seja, em que em 90% do tempo existe uma vazão maior ou igual a ela. Por outro lado, as retiradas de água subterrânea estão baseadas em percentuais da vazão de recarga por célula e variam de 0% de retirada até o limite máximo da capacidade de exploração de água dos reservatórios subterrâneos em cada célula, isto é, até o percentual máximo possível de exploração sem que os reservatórios subterrâneos no modelo sequem. Os impactos das extrações de água foram avaliados quanto à redução provocada na vazão de referência $Q_{90\%}$ com relação a essa vazão calculada sem as retiradas.

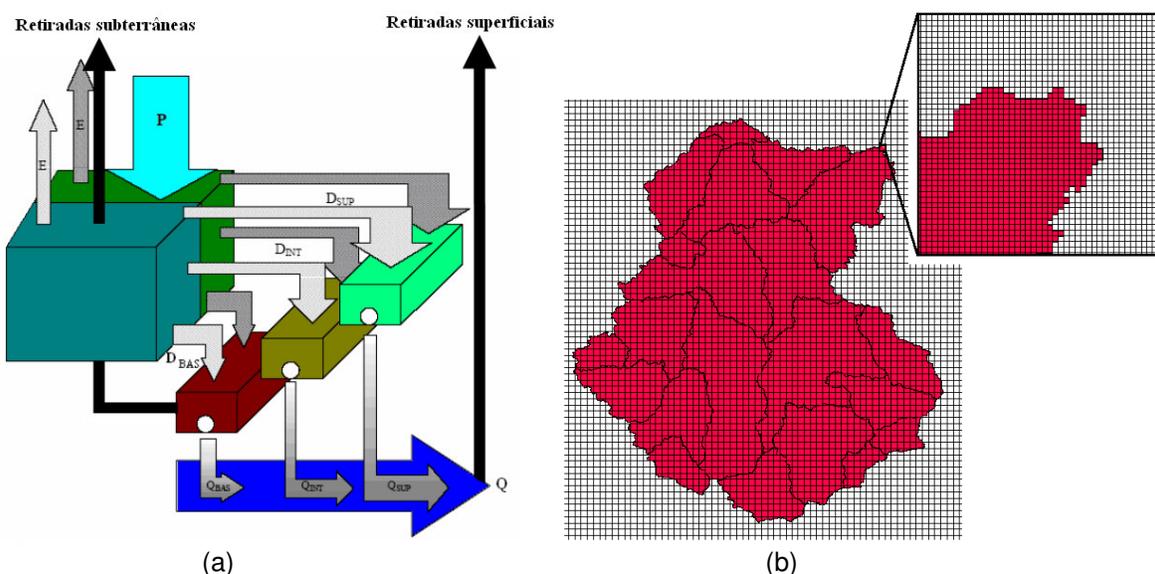


Figura 2 – Estrutura de cálculo de uma célula (a) e grade de células do modelo MGB-IPH para a BHRSM (b).

As simulações dos processos hidrológicos são executadas em toda a área da BHRSM visando à definição dos critérios de outorga integrada de direito de uso das águas superficiais e subterrâneas na escala global. Para definição desses critérios na escala regional, a BHRSM foi sub-divida em 21 sub-bacias conforme as Seções Hidrológicas de Referência, apresentadas nos estudos de Cruz e Silveira (2007a e 2007b). A Figura 3 apresenta a delimitação das sub-bacias utilizadas no MGB-IPH.

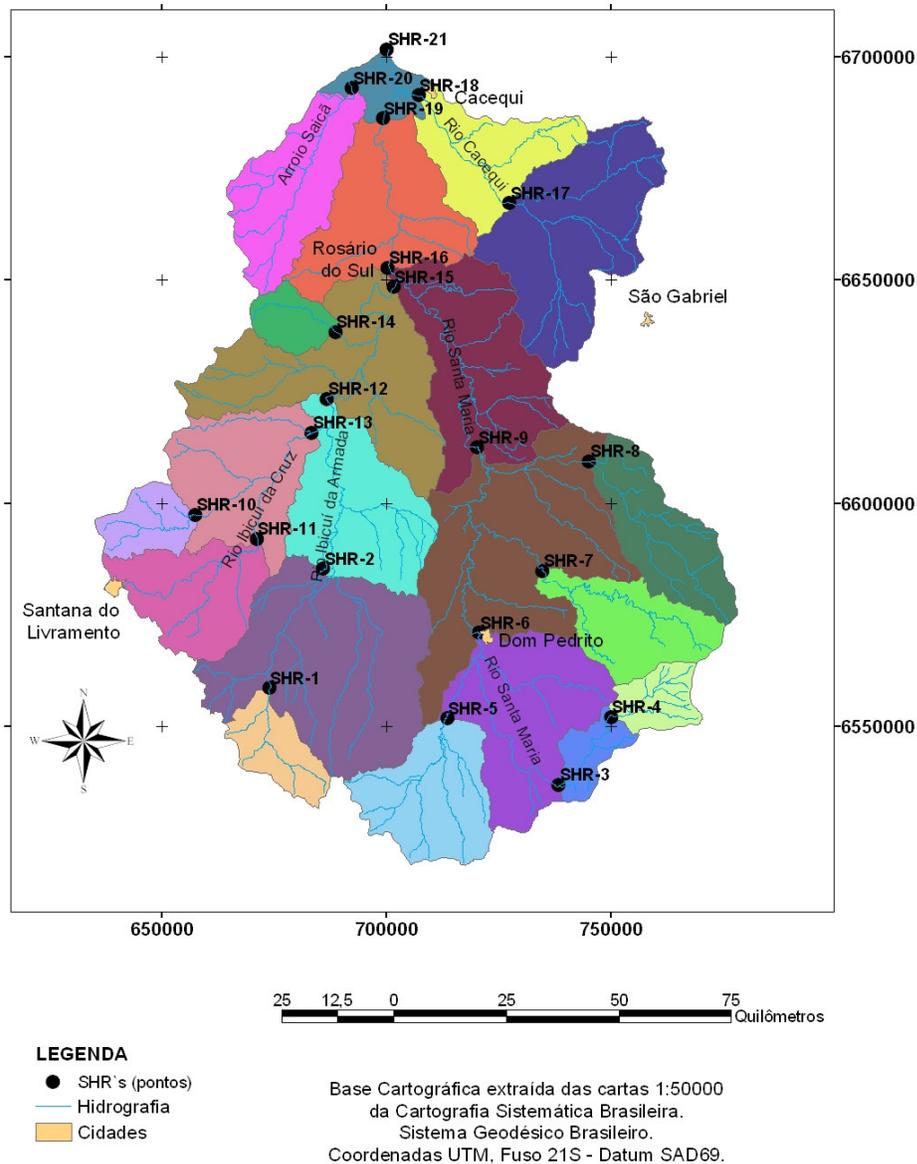


Figura 3 – Delimitação das sub-bacias de acordo com as SHR no modelo MGB-IPH para a BHRSM.

Vulnerabilidade dos aquíferos:

A vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos foi determinada pelo método GOD, de Foster *et al* (2006). O método GOD é baseado na análise do Grau de confinamento hidráulico (condição do aquífero), a Ocorrência do substrato litológico (caracterização geral) e a Distância da água, ou seja, profundidade do lençol freático ou teto do aquífero confinado. Para aplicação do método na BHRSM foram obtidos dados dos Projetos da CPRM, de Presotto *et al.* (1973), do inventário de poços (Eckert e Caye, 1995), do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas SIAGAS, e do projeto PSAG (2009). Além disso, foram utilizados 31 Processos de outorga de uso de águas subterrâneas disponíveis no Departamento de Recursos Hídricos pertencente à Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) do Estado do Rio Grande do Sul. Com o objetivo de complementar vazios de informação, foram desenvolvidos trabalhos de campo obtendo-se informações relativas a geologia, hidrogeologia, nível da água em poços com uso do freatímetro sonoro e/ou trena metálica em poços escavados rasos. Também foram realizadas as medições de parâmetros de qualidade da água com uso de sondas multiparâmetros: o pH, o Oxigênio Dissolvido (O.D.) com aparelho DH- 55000, a condutividade elétrica com aparelho Hanna HI 93300 e ainda com o medidor Solinst TLC, dotado de cabo de 100m para medição do nível da água, C.E. e temperatura da água.

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Potencialidades dos aquíferos:

A potencialidade dos aquíferos na bacia é em sua maioria baixa (< 10 m³/h), conforme se observa na Tabela 1 e Figura 4.

Tabela 1 – Potencialidade dos aquíferos na BHRSM de acordo com as classes.

Classes (m ³ /h)	Área (Km ²)	Área (%)
<10	8570	54,25
10-20	5394	34,15
20-40	499	3,16
40-80	22	0,14
80-120	6	0,04
Vazios de informação	1306	8,27
Total	15797	100,00

Este resultado é verificado todo ano nas épocas de estiagem durante o verão, os rios secam, pois não são “abastecidos” pelos aquíferos. O resultado é discutido em Cruz e Silveira (2007b), que apontam a causa como sendo a redução das áreas de banhados e das Planícies Aluviais. A partir da década de 80, um importante insumo da produção tornou-se um fator restritivo ao desenvolvimento da lavoura arrozeira na BHRSM: a disponibilidade de recursos hídricos. A água, cuja disponibilidade é condicionada por características não controláveis (clima) e pelo disciplinamento do uso e gerenciamento da oferta (que era um processo ainda então não iniciado), atuou como limitante da expansão das áreas cultivadas. Esta limitação foi ocasionada, em parte, pela redução da capacidade natural de reservação da bacia, provocada pelas drenagens dos banhados e redução das planícies aluviais, efetuadas para permitir a rotação e para ampliar as áreas de cultivo do arroz nas margens dos cursos d’água (Cruz e Silveira, 2007b).

A construção de estruturas de reservação de água (barragens e açudes), levadas a efeito por iniciativas individuais dos lavoureiros, supriu parcialmente o decréscimo da capacidade de reservação natural, sem, no entanto, propiciar um efetivo acréscimo na disponibilidade de água. Por outro lado, o aumento das áreas cultivadas com arroz, impulsionado pelas condições favoráveis do mercado, provocou um acréscimo direto da demanda de água para irrigação. Ou seja, ao mesmo tempo em que se reduzia a oferta natural de água, aumentava-se a demanda pressionada pela necessidade de suprir um crescente mercado consumidor de arroz. Esta alteração do equilíbrio natural entre oferta e demanda, apresentou reflexos negativos não somente na irrigação, mas também nos demais usuários da água, notadamente os ecossistemas aquáticos e o abastecimento público dos municípios situados ao longo do Rio Santa Maria (Dom Pedrito e Rosário do Sul).

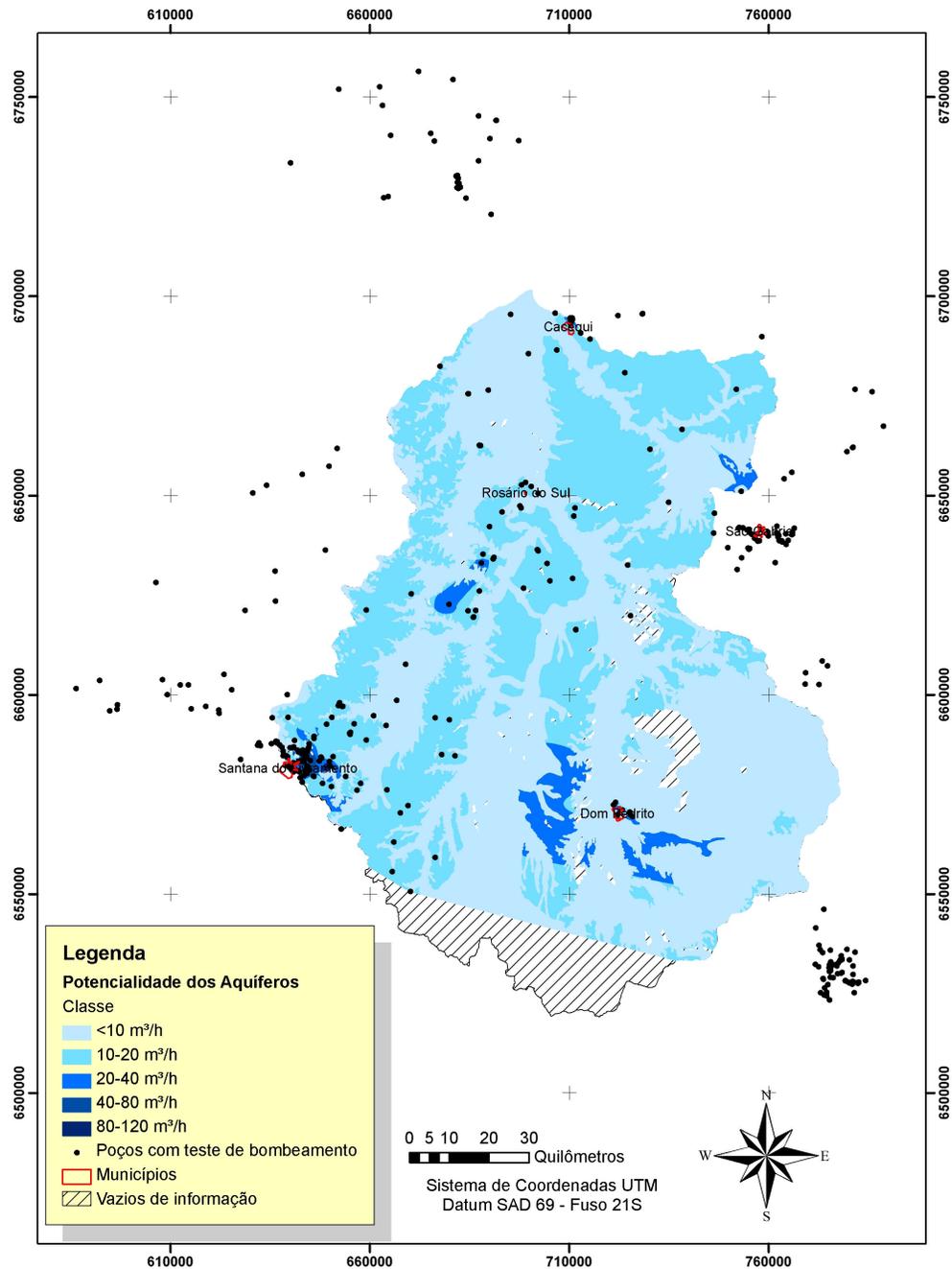


Figura 4 – Mapa da Potencialidade dos aquíferos na BHRSM.

Parâmetros de qualidade para atender os usos pretendidos:

A partir das características hidroquímicas das águas subterrâneas da bacia do Rio Santa Maria foi elaborada a Figura 5, que apresenta o diagrama de Piper dos dados observados. A Tabela 2 apresenta os resultados em termos percentuais, de acordo com os íons principais. Por sua vez, a Figura 6 mostra a classificação hidroquímica de acordo com os municípios que compõe a bacia hidrográfica e o total geral da bacia. Este último resultado permite identificar a variabilidade espacial das características qualitativas da água na bacia.

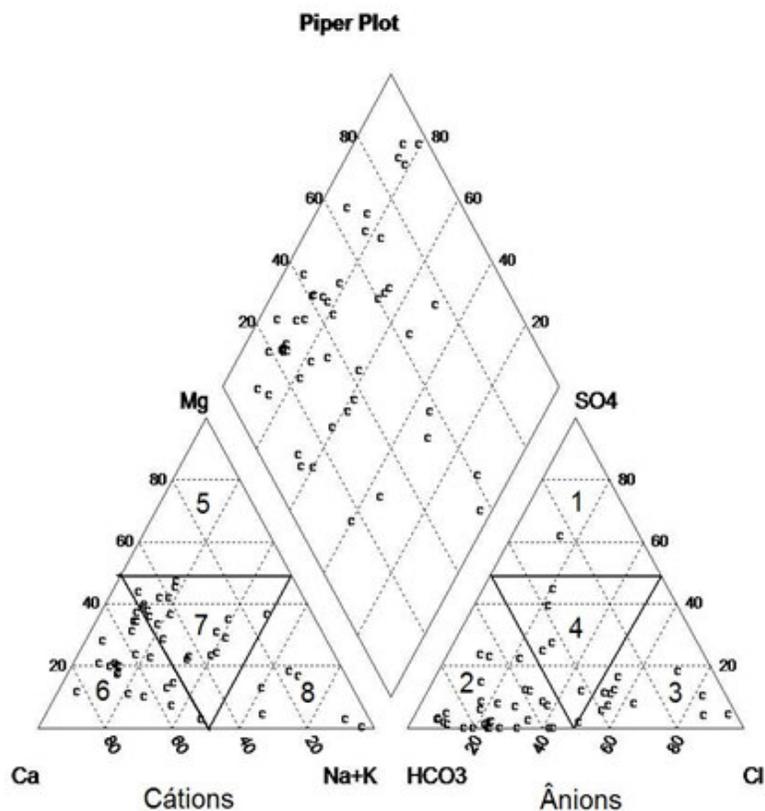


Figura 5 – Diagrama de Piper para os dados de poços da bacia do Rio Santa Maria.

Tabela 2 – Classificação hidroquímica de acordo com o diagrama de Piper.

Íon	N (Gráfico Piper)	Tipo	Percentual de poços
Ânions	1	Sulfatada	1,79%
	2	Bicarbonatada	60,71%
	3	Cloretada	23,21%
	4	Mista	14,29%
Cátions	5	Magnesianas	0,00%
	6	Cálcicas	46,43%
	7	Sódicas	12,50%
	8	Mista	41,07%
Ânions+Cátions	-	Bicarbonatada-Cálcica	32,14%
	-	Bicarbonatada-Mista	25,00%
	-	Bicarbonatada-Sódica	3,57%
	-	Cloretada-Cálcica	12,50%
	-	Cloretada-mista	10,71%
	-	Mista-Cálcica	1,79%
	-	Mista-mista	5,36%
	-	Mista-Sódica	7,14%
-	Sulfatada-Sódica	1,79%	

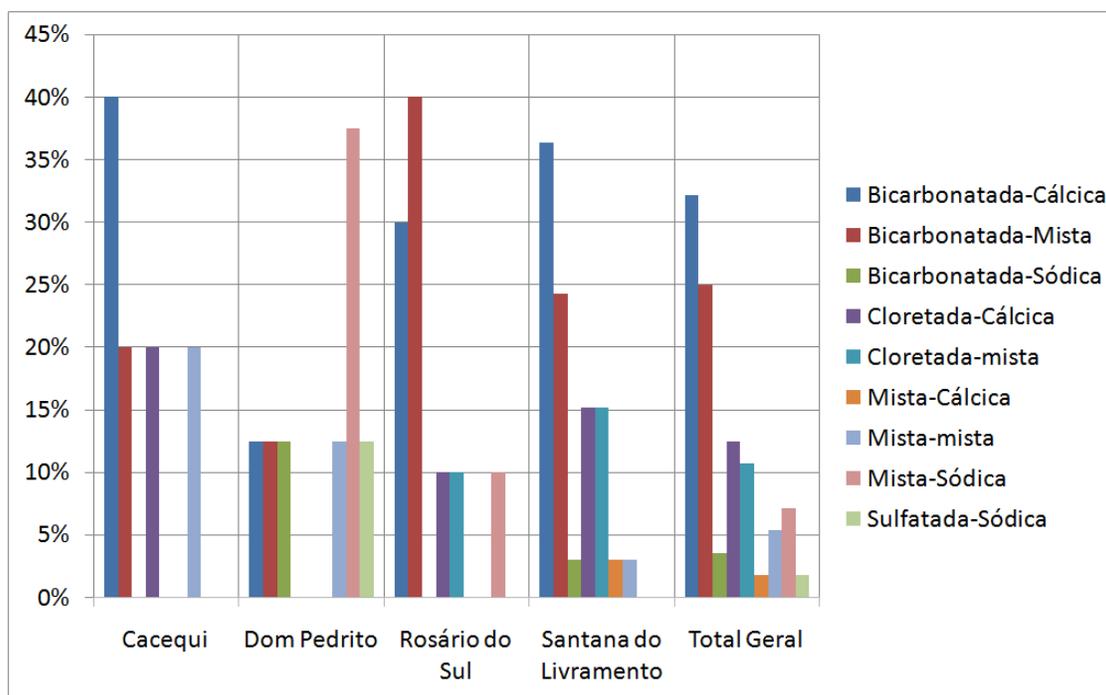


Figura 6 – Classificação hidroquímica de acordo com o diagrama de Piper separada pelos municípios da BHRSM.

A água subterrânea na região sudoeste da bacia do Rio Santa Maria, especialmente próxima ao município de Dom Pedrito, é uma água Sódica, apresentando, inclusive, concentração de Sódio acima dos padrões de potabilidade da Portaria 518/2004 (> 200 mg/L). Esta característica da água deve-se às formações geológicas existentes nesta região da bacia, que compõem os Aquitardos Permianos. Notadamente, as formações Palermo, Estrada Nova, Rio do Rasto e Irati. Além disso, contribuem para esta característica destas águas o fluxo, superficial e subterrâneo, proveniente dos Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino.

Por outro lado, as águas subterrâneas do restante da bacia, em especial, da região do município de Santana do Livramento, são essencialmente bicarbonatadas ou cloretadas. Ou seja, são águas com qualidade superior às encontradas na região de Dom Pedrito. Em Santana do Livramento existem afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG), ocorrendo principalmente a Formação Botucatu e a Formação Guará.

Em relação ao uso da água subterrânea para a irrigação, a Tabela 3 apresenta os resultados percentuais da aplicação da metodologia SAR aos 73 poços com informações na bacia do Rio Santa Maria. A avaliação da qualidade da água é muitas vezes negligenciada no momento da elaboração de projetos de irrigação. Como consequência, a irrigação poderá produzir efeitos indesejáveis na condução de uma cultura comercial ou servir como veículo para contaminação da população, no momento que ocorre a ingestão dos alimentos que receberam a água contaminada.

Os efeitos dos tipos de água sobre os vegetais levam em consideração não só sua composição físico-química, mas, também as características da espécie vegetal (tolerância a salinidade e seu ciclo de vida) e do solo (permeabilidade, porosidade, textura e composição mineral). A maioria das águas utilizadas mundialmente para uso na agricultura possui condutividade elétrica inferior a $2.000 \mu\text{Mho/cm}$. Os resultados das colheitas que utilizaram água com condutividade elétrica maior que $2.000 \mu\text{Mho/cm}$, em geral, não foram satisfatórias.

Tabela 3 – Classificação hidroquímica de acordo com o diagrama de Piper.

Município	C1-S1	C2-S1	C3-S1	C3-S2	C3-S4	C4-S1	Total geral
Cacequi	89%	11%	0%	0%	0%	0%	100%
Dom Pedrito	0%	30%	20%	10%	20%	20%	100%
Rosário do Sul	82%	18%	0%	0%	0%	0%	100%
Santana do Livramento	84%	16%	0%	0%	0%	0%	100%
Total geral	73%	18%	3%	1%	3%	3%	100%

Cerca de 90% das análises resultou em águas de boa qualidade para a irrigação, segundo as classes C1-S1 e C2-S1. De acordo com Feitosa *et al.* (2008), as classes C1 e C2 relacionadas à concentração de Condutividade elétrica são:

C1 – Água com salinidade baixa, com condutividade elétrica compreendida entre 100 e 250 $\mu\text{Mho/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 64 a 160 mg/L). Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas e na maioria dos solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Alguma lixiviação é necessária, mas isso ocorre nas práticas normais de irrigação, à exceção dos solos com permeabilidade extremidade baixa.

C2 – Água com salinidade média, com condutividade elétrica compreendida entre 250 e 750 $\mu\text{Mho/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 160 a 480 mg/L). Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação, em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle da salinidade.

Por sua vez, a classe S1, relacionada à concentração de Sódio é descrita Feitosa *et al.* (2008):

S1 - Água com baixa concentração de sódio, pode ser usada para irrigação, em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Foram observados valores elevados para a condutividade elétrica e para o sódio somente próximo à cidade de Dom Pedrito. Estes resultados indicam que o uso desta água para a irrigação pode causar salinização e a sodificação do solo. A salinização é causada pela presença de uma alta concentração total de sais, que ocasiona a elevação do potencial osmótico e redução do potencial hídrico, dificultando a absorção de água pela planta (Feitosa *et al.* 2008). Altas concentrações de sais na água de irrigação (e na solução do solo) podem causar toxidez às plantas. A sodificação é causada pela elevada proporção da concentração de sódio em relação à de outros sais (principalmente cálcio e magnésio), acarretando problemas na estruturação do solo dificultando o processo de infiltração da água no solo, devido a obstrução ou extinção dos macroporos. A infiltração do solo aumenta com o aumento da salinidade e reduz com o aumento da proporção relativa de sódio.

Raio de influência do poço:

Conforme debatem Costa *et al.* (2009), a interferência entre poços irá reduzir o rendimento potencial dos poços envolvidos. Em severas circunstâncias, a interferência pode causar rebaixamentos que tornam poços superficiais em poços secos. Por essa razão o critério “raio de influência” pode ser adotado para concessão da outorga, garantindo a não interferência entre o poço a ser construído e os poços já existentes. Ou seja, espera-se que a tendência futura seja que onde há interferência, poços que solicitaram outorga há mais tempo têm preferência.

Abaixo (Quadro 2) é reproduzido um exemplo de cálculo de raio de influência em poços no município de Santana do Livramento, onde trabalhou-se com três tempos de bombeamento (4, 8 e 12 horas). Na Figura 7 é reproduzido o mapa do exemplo citado, onde é representado o raio de influência de bombeamentos de 4 horas de duração. Admitindo que o poço azul do mapa seja o mais antigo, utilizando o critério raio de influência, os demais poços teriam que diminuir seu bombeamento, para evitar a interferência no poço que possui a outorga mais antiga e (consequentemente) o direito assegurado.

No entanto, de acordo com Costa *et al.* (2009), como a outorga de direitos dos usos de recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo da água, o órgão gestor pode então propor, por exemplo, que os usuários utilizem horários de bombeamentos diferentes para que não ocorra o rebaixamento dos cones e a vazão de exploração seja diminuída. Outra decisão que pode ser tomada pelo órgão gestor é avaliar quais as técnicas que estão sendo utilizadas para o manuseio dessa água, a fim de aprimorar a eficiência e, consequentemente, diminuir o desperdício de água.

Quadro 2 – Exemplo de cálculo de raios de interferência entre poços.

Formação	Litologia	S (adm)	T (m^2/h)		t (h)	Raio (m)
			Semi-conf./Confinado			
Botucatu	Arenito Médio	0,0001	8		4	848,53
					8	1.200,00
					12	1.469,69

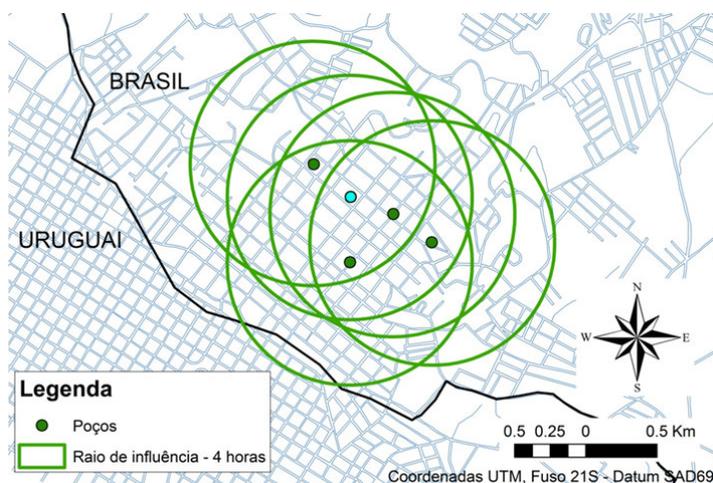


Figura 7 – Mapa do exemplo de cálculo de raios de interferência entre poços.

Rebaixamento do aquífero:

Admitindo o efeito de um único poço em um sub-sistema livre, é mostrado um exemplo da aplicação do critério “Rebaixamento do aquífero”. As características do poço, localizado em Santana do Livramento em um aquífero poroso da Formação Botucatu, são mostradas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Características hidrodinâmicas de um poço localizado em Santana do Livramento

Características hidrodinâmicas	Valor
Profundidade do poço tubular	102 m
Nível estático (NE)	19,78 m
Nível dinâmico (ND)	78,80 m
Capacidade específica	0,203 m ³ /h/m
Transmissividade	0,135 m ² /h
Coeficiente de armazenamento	0,16
Topo da camada saturada	19,78 m (NE)
Base da camada saturada	94 m
Altura da camada saturada (H)	74,22 m

O rebaixamento máximo admissível seria de 49,48 metros ($2/3 \cdot H$), calculado segundo Albuquerque (2004). Com este valor e usando a capacidade específica do aquífero, a vazão máxima admissível é de 10,06 m³/h. A vazão outorgada foi de 10 m³/h, o que representa 99,4 % da vazão máxima admissível para este poço. Ou seja, a extração é quase a máxima admissível para não provocar um rebaixamento excessivo no aquífero e a sua consequente exaustão, considerando apenas um poço de exploração. Assim, o uso deste critério garante o uso racional e sustentável do aquífero.

Redução das vazões fluviais:

Com o objetivo de apresentar um resultado da metodologia do critério “Redução de vazões fluviais” é apresentada somente a análise para a escala global, toda a bacia. Os cenários simulados de retiradas de água na BHRSM na Seção Hidrológica de Referência 21 (exutório – SHR21) reproduzem diferentes combinações de percentuais de usos de água superficial e subterrânea, com o objetivo de elaborar as curvas de outorga de uso integrado dos recursos hídricos na escala global, considerando retiradas durante todo o ano. A metodologia empregada deu-se conforme a apresentada em Silva (2007) e a bacia foi subdividida em Seções Hidrológicas de Referência (SHRs), conforme Figura 3.

As retiradas superficiais, concentradas na célula exutório da bacia, estão baseadas em percentuais (0%, 30%, 50%, 70%, 80%, 90% e 100%) da vazão de referência Q_{90} , utilizada atualmente para definição de critérios de outorga de água superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. Por outro lado, as retiradas de água subterrânea, homoganeamente distribuídas por todas as células do modelo, estão baseadas em percentuais da vazão de recarga por célula e variam de 0% de retirada até o limite máximo da capacidade de exploração de água dos reservatórios subterrâneos em cada célula, isto é, até o percentual máximo possível de exploração sem que os reservatórios subterrâneos no modelo sequem.

Os impactos das extrações de água foram avaliados quanto à redução provocada na vazão de referência Q_{90} com relação a essa vazão calculada sem as retiradas. Na Tabela 5 são mostrados os valores de vazões de referência na bacia considerando a situação simulada para a SHR21 sem retiradas, isto é, 0% de uso superficial e 0% de uso subterrâneo.

Tabela 5 – Vazões de referência calculadas para a SHR21.

Vazão	Valor (m^3/s)
$Q_{m\acute{e}dia}$	273,17
Q_{90}	71,60
Q_{50}	192,00
$Q_{recarga}$	101,87

Na Tabela 6 são apresentados os cenários simulados na SHR21, em que foram combinadas retiradas superficiais e subterrâneas de água entre os percentuais indicados para todo o ano. Os resultados dos impactos das retiradas conjuntas de água superficial e subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria sobre a vazão de referência Q_{90} para cada um dos percentuais simulados são apresentados na Tabela 7, em valores absolutos, e na Tabela 8, em valores percentuais.

Tabela 6 – Cenários de retiradas simulados para a SHR21.

		$Q_{90} = 71,60 m^3/s$						
		0%	30%	50%	70%	80%	90%	100%
$Q_{recarga} = 101,87 m^3/s$	0%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
	10%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19
		10,19	31,67	45,99	60,31	67,47	74,63	81,79
	20%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		20,37	20,37	20,37	20,37	20,37	20,37	20,37
		20,37	41,85	56,17	70,49	77,65	84,81	91,97
	30%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		30,56	30,56	30,56	30,56	30,56	30,56	30,56
		30,56	52,04	66,36	80,68	87,84	95,00	102,16
	40%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		40,75	40,75	40,75	40,75	40,75	40,75	40,75
		40,75	62,23	76,55	90,87	98,03	105,19	112,35
	50%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94
		50,94	72,42	86,74	101,06	108,22	115,38	122,54
	60%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		61,12	61,12	61,12	61,12	61,12	61,12	61,12
		61,12	82,60	96,92	111,24	118,40	125,56	132,72
	70%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		71,31	71,31	71,31	71,31	71,31	71,31	71,31
		71,31	92,79	107,11	121,43	128,59	135,75	142,91
	80%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
		81,50	81,50	81,50	81,50	81,50	81,50	81,50
		81,50	102,98	117,30	131,62	138,78	145,94	153,10
	90%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60
91,68		91,68	91,68	91,68	91,68	91,68	91,68	
91,68		113,16	127,48	141,80	148,96	156,12	163,28	
100%	0,00	21,48	35,80	50,12	57,28	64,44	71,60	
	101,87	101,87	101,87	101,87	101,87	101,87	101,87	
	101,87	123,35	137,67	151,99	159,15	166,31	173,47	

Tabela 7 – Resultado das retiradas simuladas para a SHR21 sobre a Q_{90} – valores absolutos

		Percentual efetivo da Recarga retirada	Q_{90}						
			0%	30%	50%	70%	80%	90%	100%
Recarga	0%	0,00%	71,60	50,43	36,19	21,91	15,06	8,79	3,87
	10%	10,00%	64,86	43,44	29,20	15,26	9,14	3,54	1,05
	20%	20,00%	57,38	35,96	21,72	9,03	3,45	0,83	0,58
	30%	29,78%	49,38	27,96	14,19	2,96	0,79	0,54	0,00
	40%	39,09%	40,91	19,49	7,08	0,79	0,46	0,00	0,00
	50%	48,79%	32,13	11,21	0,69	0,29	0,00	0,00	0,00
	60%	52,07%	23,91	3,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	70%	63,45%	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	80%	69,28%	8,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 8 – Resultado das retiradas simuladas para a SHR21 sobre a Q_{90} – valores percentuais

		Percentual efetivo da Recarga retirada	Q_{90}						
			0%	30%	50%	70%	80%	90%	100%
Recarga	0%	0,00%	0,0%	-29,6%	-49,5%	-69,4%	-79,0%	-87,7%	-94,6%
	10%	10,00%	-9,4%	-39,3%	-59,2%	-78,7%	-87,2%	-95,1%	-98,5%
	20%	20,00%	-19,9%	-49,8%	-69,7%	-87,4%	-95,2%	-98,8%	-99,2%
	30%	29,78%	-31,0%	-60,9%	-80,2%	-95,9%	-98,9%	-99,2%	-100,0%
	40%	39,09%	-42,9%	-72,8%	-90,1%	-98,9%	-99,4%	-100,0%	-100,0%
	50%	48,79%	-55,1%	-84,3%	-99,0%	-99,6%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
	60%	52,07%	-66,6%	-94,5%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
	70%	63,45%	-77,7%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%
	80%	69,28%	-88,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%

Os diferentes percentuais de retirada subterrânea foram sendo implementados em todas as células do modelo até que se atingisse o limite a partir do qual as células secassem. Ocorre que em razão da representação no modelo de diferentes capacidades de armazenamento no solo, função do tipo e uso do solo em cada bloco das células, os reservatórios subterrâneos no modelo podem secar em períodos de tempo diferentes. Assim, ainda que na bacia em algumas células do modelo esteja sendo retirado, por exemplo, um percentual de 60% da vazão de recarga, na bacia como um todo, na escala global, apenas 52,07% da vazão de recarga pode ser retirada, tendo em vista que algumas células do modelo já teriam o reservatório subterrâneo esvaziado com retiradas iguais a 60%.

Na Tabela 8 pode-se verificar que os reservatórios subterrâneos no modelo secam antes que 100% da vazão de recarga sejam retiradas. Pela simulação no modelo hidrológico, a máxima capacidade de retirada de água subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria seria de até 69,28% da vazão de carga estimada do aquífero (69,28% de 101,87 m³/s, equivalente a 70,58 m³/s) para retiradas durante todo o ano. Esse resultado mostra que o critério de se utilizar 100% da recarga não representa uma condição sustentável de exploração dos recursos hídricos subterrâneos, embora persista em ser aplicado.

As curvas de outorga de uso integrado dos recursos hídricos foram elaboradas pela interpolação dos percentuais de retiradas simulados no programa computacional Surfer 8.0, para possibilitar a estimativa dos efeitos das retiradas entre os intervalos percentuais de extração superficial e subterrânea considerados.

A Figura 8 mostra as curvas de outorga integrada com os valores em percentual dos efeitos sobre a Q_{90} das combinações de retiradas de água superficial e subterrânea, durante todo o ano, na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (escala global).

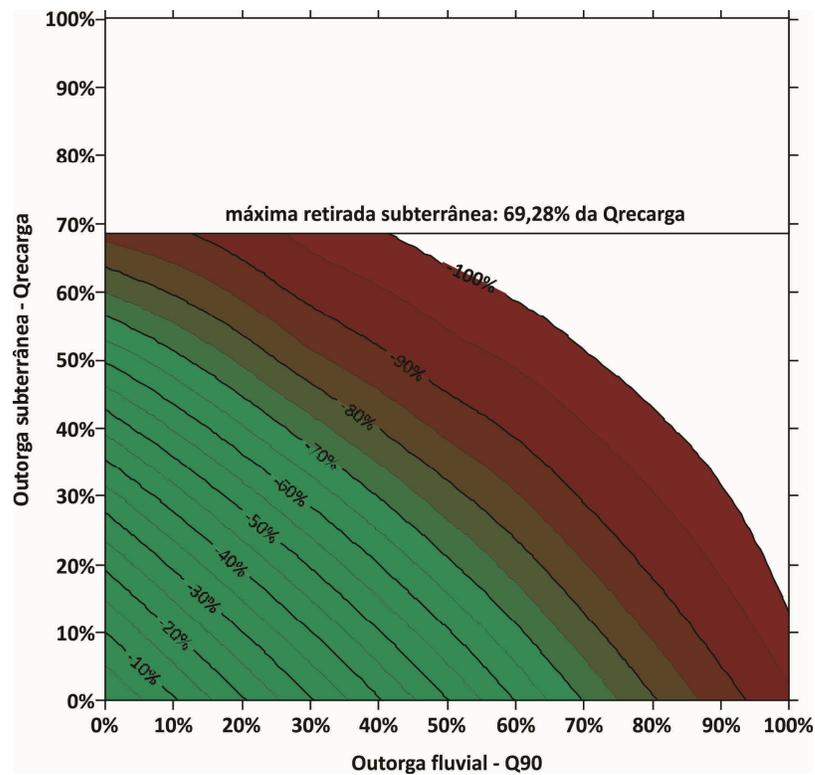


Figura 8 – Curvas de outorga integrada para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria para retiradas de água durante todo o ano.

Vulnerabilidade dos aquíferos:

A Figura 9 ilustra as classes de vulnerabilidade com uso da Metodologia GOD Foster et al. (2006). Sobrepondo-se os Planos de Informações PI's da geologia com a vulnerabilidade do aquífero à contaminação notou-se que existe um forte controle litológico. A classe extrema ocorreu em apenas uma pequena parcela da BRHSM em cerca de 0,4% em afloramentos do SAG na fronteira com o Uruguai, e pontualmente em áreas rurais associadas á nível freático raso em aquífero livre. A Classe alta associando-se aos sedimentos inconsolidados pertencentes aos aluviões Cenozóicos e aos afloramentos do SAG. A média com 30% ocorreu associada as formações Permo-Carboníferas, constituindo segundo Freitas *et al.* (2004) os Aquitardos Permianos com baixa permeabilidade (Formação Palermo, Formação Irati, Formação Estrada Nova e Formação Rio do Rasto) e os Aquíferos Porosos Permianos associados (Formação Rio Bonito e Grupo Itararé). A classe baixa em parte aos Aquitardos Permianos e aos Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino. A Classe insignificante coincidiu em sua maior parte com os Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino.

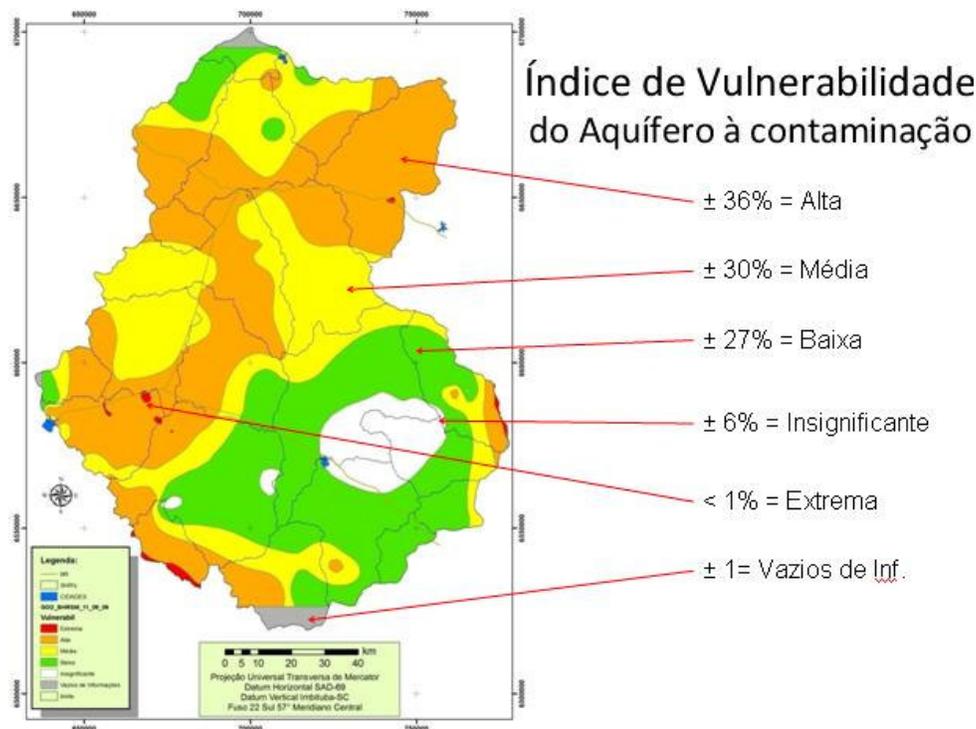


Figura 9 – Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos a contaminação na BHRSM (Descovi Filho, 2009).

Faz-se um alerta sobre o cuidado ao instalar empreendimentos potencialmente poluidores nas regiões que se apresentam mais vulneráveis (cores laranja e vermelha da Figura 9). Prevenir um aquífero da ocorrência de uma contaminação ou saná-la é sem dúvida bem menos oneroso que contaminá-lo. Para sanar este tipo de problemática, devem ser tomadas, em nível local (poço) medidas como, por exemplo, seguir as normas construtivas de poços tubulares:

- ABNT 12212/2006, que estabelece procedimento para o projeto de poço para captação de água subterrânea (Brasil, 2006a);
- ABNT 12244/2006, que fixa normas construtivas para poço de captação de água subterrânea, destinada ao abastecimento público que se aplicam a todos os tipos de poços perfurados em rochas de características físicas diversas (Brasil, 2006b).

Essas normas fornecem diretrizes para execução de selos sanitários e perímetros de proteção em poços, e colaboram em nível ou escala de abrangência local (boca e perímetro imediato do poço) para a atenuação de contaminantes de origem animal e/ou antropogênica.

Já o Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no “Sistema Aquífero Guarani” (PSAG, 2007) também é um documento que reúne informações importantes e fundamentais para a proteção e adequada exploração das águas deste sistema. Este manual representa um ponto de apoio e referência técnica para execução, bem como para cuidados a se tomar com poços tubulares.

Foi constatado em trabalho de campo que várias captações realizadas por poços escavados de grande diâmetro, quando ligados a rede do Departamento de Águas e Esgotos do município de Santana do Livramento, transformavam suas captações em locais para descarte de seus resíduos tanto líquidos, oriundos de fossas negras, e também sólidos de diversos tipos, tamanhos e composições. Os cuidados básicos a se tomar com os poços são:

- Manter criações de animais em geral longe do poço;
- Animais e atividades localizadas no entorno do poço podem contaminar o mesmo através dos dejetos, por exemplo Urina, esterco, fossas e agrotóxicos etc;
- Manter uma zona de proteção cercada.

Para tanto, seria necessária uma fiscalização efetiva realizada pelas vigilâncias sanitárias municipais, dotadas de recursos humanos e técnicos.

4 – CONCLUSÕES

Ainda não existe uma metodologia padronizada para avaliação das quantidades de águas subterrâneas a serem outorgadas no Brasil quando se relaciona as retiradas rio-aquífero, segundo

recomendação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A avaliação por escalas facilitaria esta análise, por meio da diferenciação dos impactos causados. Os critérios propostos podem ser adotados com relativa facilidade, devendo apenas ter-se o cuidado dos profissionais passarem por um processo de capacitação para o uso das metodologias apresentadas.

A proposta metodológica aqui apresentada representa os efeitos quantitativos e qualitativos das retiradas de água nos mananciais subterrâneos e superficiais da bacia. Ou seja, analisa o efeito conjunto destas retiradas no balanço hídrico da bacia (em todos os processos hidrológicos: precipitação, interceptação, infiltração, percolação, formação do escoamento e evapotranspiração).

O efeito combinado das duas retiradas (subterrânea e superficial) será sempre maior que o efeito individual da retirada superficial na vazão do rio. Pois considera que o aquífero fornece água para o rio em condição de *rio efluente*. Assim, procurou-se somar os dois efeitos do impacto na vazão do rio = retiradas subterrâneas + retiradas realizadas diretamente no rio. Os resultados preliminares indicam que a bacia apresenta problemas de disponibilidade hídrica, com efeitos importantes das retiradas superficiais e subterrâneas sobre a vazão de referência para a outorga. Acredita-se que os critérios estudados possam contribuir para o uso sustentável dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTO Ao FINEP por meio da Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO IGRH 01/2007 "Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas" (2008-2011), processo institucional CNPq/CT-HIDRO 52.0129/2008-3.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. do P. T. (2004). Sustentabilidade de aquíferos. Mesa redonda. Tema: Sustentabilidade de aquíferos. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA, 2004. Anais em CD-ROM.
- ARAÚJO L. M.; FRANCA A. B.; POTTER P. E. (1999). Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Parana and Chaco-Parana Basins, South America, and comparison with the Navajo- Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal* 7:317–336.
- ASUB/UFCG/UFAL/UFSM. (2009). Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas. Relatório parcial, projeto FINEP, 2009. Relatório interno.
- BRASIL (2002). Conselho Nacional de Recursos Hídricos/CNRH. Resolução nº22, de 24 de maio de 2002. Disponível em. http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14. Visitada em 1 abril de 2011.
- BRASIL (2006) ABNT/NBR 12.212/2006 Poço tubular – Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea.Segunda edição 31.03.2006., p.10.
- COLLISCHONN, W. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH, UFRGS. Porto Alegre, 270 p.
- COSTA, M. L. M (2009). Estabelecimento de critérios de outorga de direitos de uso para águas subterrâneas. Dissertação (Mestrado em Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- COSTA, M. L. M; BATISTA, M. L. DE C.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. DO P. T.; RÊGO, J. C.

- (2009). Simulação da interferência entre poços como critério de outorga dos direitos de uso das águas subterrâneas. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, Mato Grosso do Sul.
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007a). Disponibilidade Hídrica para outorga (i): Avaliação por seção hidrológica de referência. In: Revista Rega – Revista de Gestão de Água da América Latina. Vol. 4, nº. 2, jul/dez 2007.
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007b). Disponibilidade Hídrica para outorga (ii): Avaliação integrada por bacia. In: Revista Rega – Revista de Gestão de Água da América Latina. Vol. 4, nº. 2, jul/dez 2007.
- DESCOVI FILHO, L. L. V. (2009). Subsídios ambientais para a gestão das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria-RS. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- DREVER, I. J. (1997). The Geochemistry of Natural Waters. Surface and Groundwater Environments. Third Edition. Prentice Hall, Inc, University of Wyoming. 1997, 432p.
- ECKERT, R. M.; CAYE, B. R. (1995). Cadastramento de Poços da Cidade de Livramento, RS. Porto Alegre: CPRM, 1995.
- FEITOSA, F. A. C. [Organizador] (2008). HIDROGEOLOGIA: Conceitos e Aplicações. 3ª edição Editora: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). p. 812.
- FENZL, N. (1988). Introdução à Geoquímica. Universidade Federal do Pará. Editora participante do PIDL, Belém, p.189.
- FOSTER, S. S. D., HIRATA, R. C. A., GOMES, D., D'ELIA, M., PARIS, M. (2006). Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Groundwater Management Advisory GW.MATE WB.
- FREITAS, M. A. de [Organizador] (2004). Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Cuiabá, MT. p. 1-14.
- PRESOTTO, C. A., DIAS, A., KIRCHNER, A., GARCIA, P. F. (1973). Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul. Relatório Final. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Porto Alegre: CPRM, 263p.
- PSAG (2007). Manual de Perfuração de Poços Tubulares para Investigação e Captação de Águas Subterrâneas no Sistema Aquífero Guarani. Série Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental e

Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Primeira Edição. Montevideu, Português e Espanhol. p. 175.

PSAG (2009). Síntese hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani. Série Manuais e Documentos Técnicos do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Primeira Edição. Montevideu, Português e Espanhol. 102pp. Esta obra esta disponível em versão eletrônica em: <http://www.sg-guarani.org/manualp>

SIAGAS [SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS]. (2009). Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, CPRM. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=1024&h=764&info=1>> Acesso em: 27 Abril 2009.

SILVA, F.C. (2007). Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em Macro-escala numa bacia hidrográfica: o caso do Alto Rio Paranaíba. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.132 + Anexos.

SILVÉRIO DA SILVA, J.L., FORGIARINI, F.R., DESCOVI FILHO, L.L.V., SILVA, F.C. da (2010), Proposta metodológica para a integração da outorga de águas superficiais e subterrâneas: Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, RS, Brasil. In: X Congresso LATINOAMERICANO Hidrologia Subterrânea da ALHSUD, Caracas, Venezuela, CD-ROM 8p.