

# AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI NO MUNICÍPIO DE IVOTI – RS

Carlos Alvin Heine<sup>1,2</sup>; Osmar G. W. Coelho<sup>2</sup> & Ubiratan Faccini<sup>3</sup>

**Resumo** - A cidade de Ivoti é abastecida exclusivamente por água subterrânea. Este trabalho tem como objetivo mostrar o comportamento do Sistema Aquífero Guarani, em termos de quantidade, após 30 anos de extração de água subterrânea. A metodologia constou da elaboração de um banco de dados em SIG baseado em cadastramento e análise das informações de 26 poços tubulares, 14 dos quais responsáveis pelo abastecimento público do município. O tratamento digital destes dados utilizou dois diferentes métodos: (1) análise de operação e de produção via saídas gráficas e (2) avaliação das variações dos níveis de água através de histogramas e modelos numéricos para quantificação das perdas de armazenamento. Os resultados apontaram um desequilíbrio entre disponibilidade e demanda, resultando em uma depleção de até 53 metros, devido à retirada de cerca de 14.000.000 m<sup>3</sup> de água subterrânea no período avaliado, projetando riscos para sua sustentabilidade do sistema na região.

**Abstract**<sup>1</sup> - The drinking water of Ivoti County is exclusively supplied by groundwater resource. This paper shows the consequences of more than 30 years of continuous groundwater extraction from the Guarany Aquifer System. The methodology is based on a GIS data bank, which includes the record of operation of 26 borehole, 14 of them are responsible for the public supply of drinking water to the county. A digital treatment of data was made by two distinct methods: (1) graphical analysis of the operation and production and (2) analysis of the groundwater levels by histograms and numerical models to quantify the lost of groundwater storage. The results point out a non-equilibrium situation in the total storage balance, with a depletion of until 53 meters as a result of 14,000,000-m<sup>3</sup> due to continuous groundwater pumping. The identification of a continuous tendency of depletion of groundwater levels projects risk to the sustainability of the aquifer system in that region.

---

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geologia –UNISINOS.

<sup>2</sup> Geólogo da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN Professor do Programa de Pós Graduação  
[carlos.heine@corsan.com.br](mailto:carlos.heine@corsan.com.br) [carlos.heine@terra.com.br](mailto:carlos.heine@terra.com.br)

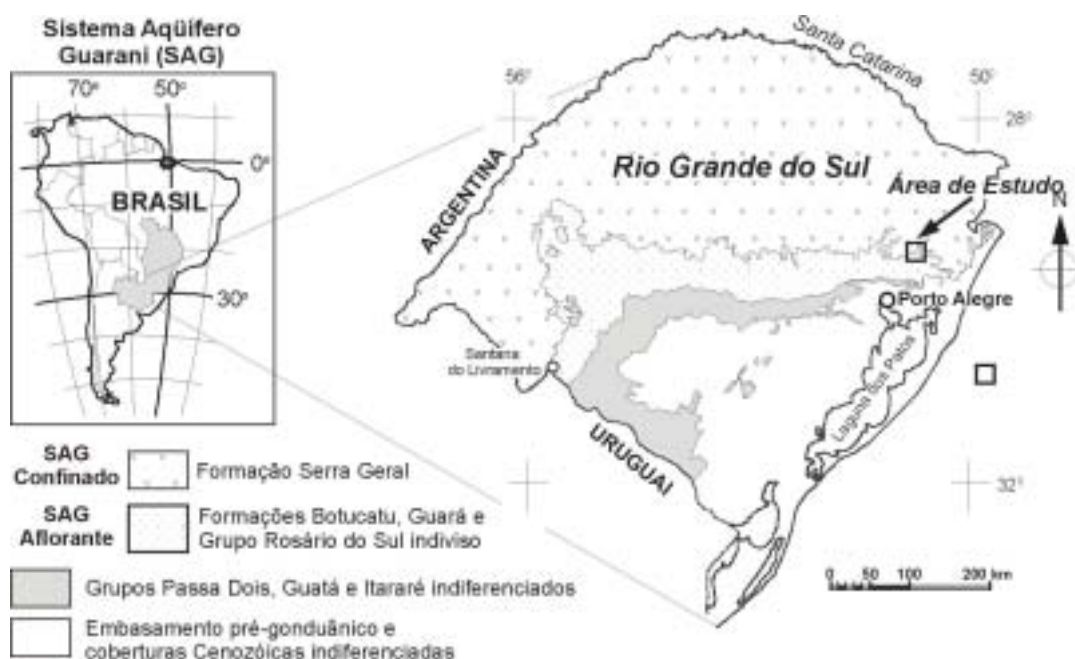
<sup>3</sup> Professor do Programa de Pós Graduação em Geologia – Universidade do vale dos Sinos – UNISINOS -  
[osmar@euler.unisinos.br](mailto:osmar@euler.unisinos.br) [ufaccini@euler.unisinos.br](mailto:ufaccini@euler.unisinos.br)

**Palavras-Chave** - Sistema Aquífero Guarani; depleção; sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

O município de Ivoti, situado entre os paralelos 29°35'00" e 29°42'06" e meridianos 51°12'50" e 51°08'06" (Figura 1), compreende uma área de aproximadamente 38,5 km<sup>2</sup>. Com uma população de 16.189 habitantes, dedicados a atividades rural e industrial, com ênfase no segmento coureiro-calçadista (IBGE2000<sup>[1]</sup>), o município localiza-se na porção Norte da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), no Rio Grande do Sul, Brasil, sendo abastecido exclusivamente por água subterrânea do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Este trabalho tem como objetivo investigar a depleção dos níveis de água devido a três décadas de bombeamento continuado, demonstrando através da forma gráfica e de modelos numéricos as variações dos níveis de água e as correspondentes conseqüências no armazenamento e apoiado em trabalhos recentes (e.g. Fetter,2001<sup>[2]</sup>; Custódio, 2002<sup>[3]</sup>; Heath *et al.*, 2003<sup>[4]</sup>; Jacobs *et al.*, 2004<sup>[5]</sup>; Sakiyan *et al.*, 2004<sup>[6]</sup>; Muñoz *et al.* 2004<sup>[7]</sup>), avaliar a sustentabilidade do SAG na região.



**Figura 1-** Localização da área de estudo (Município de Ivoti) no contexto do Sistema Aquífero Guarani.

## METODOLOGIA

A metodologia para a elaboração deste diagnóstico foi dividida em quatro etapas: (1) coleta de dados, cadastramento dos poços tubulares da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), através de coordenadas UTM, utilizando um aparelho receptor do Sistema de Posicionamento Global – GPS, dos boletins de perfuração, dos ensaios de bombeamento, das análises físico-químicas e dos controles operacionais de um período de dez anos. Para uma melhor compreensão da geologia regional foram descritas as amostra de calha e desenvolvidas campanhas de campo para a caracterização das relações de contato, espessuras e distribuição espacial do Aquífero Botucatu na área de estudo e sua relação com o comportamento do fluxo e dos níveis da água subterrânea, conforme metodologia descrita em Giardin *et al.* (2002<sup>[8]</sup>); (2) geração de bancos de dados geológicos e geográficos em planilhas Excel (Tabela1) e dados relativos aos controles operacionais dos poços, armazenados em planilhas do *software* SURFER; (3) saídas gráficas: visualização baseada nos registros históricos de 14 poços que abastecem a cidade de Ivoti, pertencentes a CORSAN, em um período de dez anos (1993 -2003). Foi utilizado como ferramenta o Microsoft & Excel para analisar o comportamento de cada um dos poços, sob a forma de gráficos de indicadores operacionais e de produção, com o objetivo de analisar o comportamento do aquífero na área; (4) geração de modelos numéricos, para visualizar a distribuição espacial e temporal dos níveis de água subterrânea, a partir do método da *krigagem* e geração de *layers*, utilizando o *software* SURFER e elaboração de cenários através do *software* ILWIS 2.0, utilizando-se neste estudo uma dimensão de *pixel* de 5m. Finalizando esta etapa, foi utilizado o processamento próprio do ILWIS 3.0 para o cálculo do volume de água drenada do armazenamento, assumindo-se que o SAG na área de estudo tem um comportamento de aquífero livre, conforme definição de Fetter<sup>[2]</sup>:

$$V_w = S.A.\Delta h$$

Onde

$V_w$  - é o volume médio anual de água drenado do aquífero ( $m^3$ /ano)

S - é o armazenamento (adimensional)

A - é a área de superfície drenada do aquífero ( $m^2$ )

$\Delta h$  - é a medida da perda da coluna de água para cada área correspondente a 01 *pixel*.

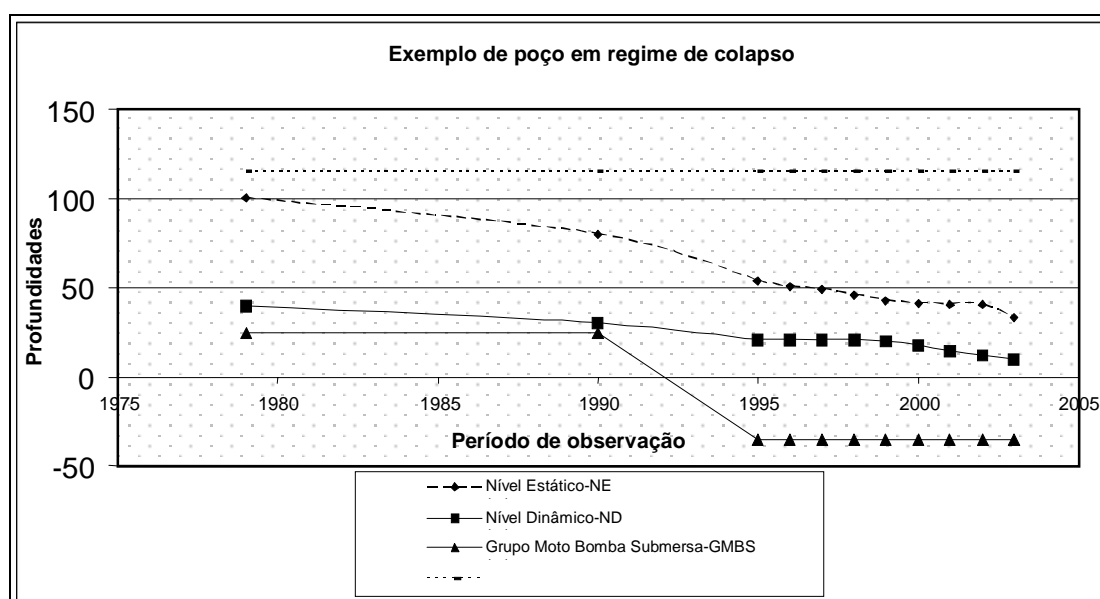
O produto desta operação resulta em um histograma com o cálculo estatístico que permite avaliar o resultado da atividade de operação continuada de retirada de água, no período estudado.

**Tabela 1-** Banco dados de poços da CORSAN analisados no município de Ivoti.

POÇO	IV 2	IV 3	IV 4	IV 5	IV 6	IV 8	IV 10	IV 13	IV 14	IV 15	IV 18	IV 19	IV 24	IV 26
UTM - E	483965	483988	484443	484713	482742	483565	484875	483202	483751	485191	483489	482251	485240	483469
UTM - N	6725172	6725794	6725586	6724897	6724723	6724150	6724419	6724566	6723651	6726047	6725043	6724482	6722978	6723823
Cota do terreno	138	145	115	147	180	145	160	145	180	130	135	180	208	180
Cota NE	70.42	63.13	100.49	70.85	90.63	81.62	76.38	79.56	82.13	65.11	64.95	82.6	70.82	86.79
Vazão(m³/h)	20	10	20	9	20	12	8	12	6	17	15	12	18	20
S	0.004	0.9	0.09	0.002	0.006	0.15	0.02	0.11	0.014	0.07	0.56	0.006	0.004	0.2
pH	6.8	6.9	6.9	7.2	6.7	6.4	7.4	6.4	6.2	6.	6.9	6.8	7.6	6.7
F mg/l		0.5	0.30	0.3	0.3	0	0.3	0	0	0	0.2	0.2	0	0
Cl (mg/l)	9	19	9	2	21	15	5	8	7	7	2	6	5	3
Ca (mg/l)	8.2	11.8	31.7	42.9	40.7	11.6	38.9	19.8	28.4	28.4	23	13	52	8
Na (mg/l)	14			11	15	9	8	5	7	7	8	14	10	8
STD (mg/l)		213.4	278.6	214.5	272.9	126	216.7	169.1	167	167	152	150	259	116
Condutividade (µMho/cm)	218.9	190.3	216.7	262.9	398.2		272.8	218.2	244.2	244.2	209	200	356	104.3
Cota dos contatos														
F.Serra Geral	135	144.3	115	145	179	142	159	143/119	176	129	130	174	206	178
F.Botucatu	124	63	112	33	82	140	34	127/81	150	72	101	56	130	172
F.Pirambaia			-2			9								
Profundidade total do poço	-49	-38	-69	-34	0	-35	-40	-11	0	-68	-45	6	26	-6

## RESULTADOS

Rebaixamentos pontuais de níveis de água registradas nos gráficos de operação dos poços de abastecimento público da CORSAN são identificados desde o final da década de oitenta (Figura 2).

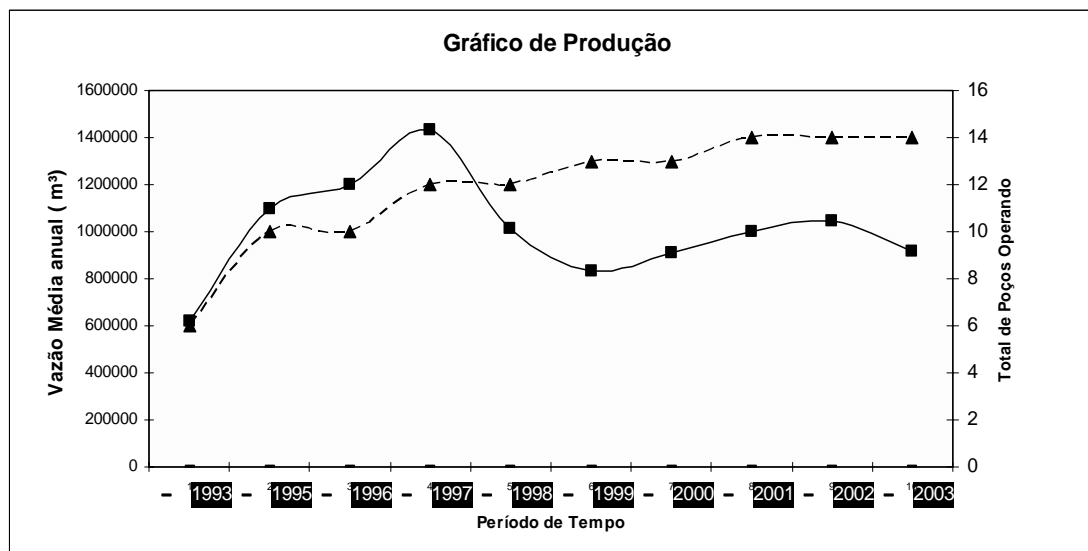


**Figura 2** - Gráfico representando a operação de um poço em regime de colapso (Muñoz (2003<sup>[7]</sup>), a partir de 1990. Neste exemplo (período pós-1990), o GMBS teve de ser reposicionado para uma nova profundidade, considerado o rebaixamento.

Analisando-se a evolução do nível dinâmico (ND) e adotando o critério definido por de poço em colapso (aquele que atinge a máxima profundidade do ND em que o grupo moto bomba submerso (GMBS) pode funcionar), observa-se que o poço exemplificado na Figura 2 atingiu esta

condição no ano de 1990, sendo necessário um aprofundamento do GMBS para normalizar o funcionamento, (no período pós 1990).

Na Figura 3, demonstra a ocorrência de um desequilíbrio entre as vazões médias anuais e o aumento do número total de poços em operação, a partir do ano de 1997, quando o aquífero passa a não dar mais uma mesma resposta ao incremento de poços, indicando a tendência de depleção do sistema.



**Figura 3** - Relação entre as vazões totais anuais (linha contínua) e o número de poços operantes (linha tracejada) para abastecimento público na cidade de Ivoti, entre os anos de 1993 e 2003.

Nos modelos numéricos as variações temporais dos níveis de água subterrânea em duas condições distintas, uma de não uso, (Figura 4), outra de uso continuado (Figura 5), a perda de coluna de água calculada, variou de um mínimo de 8 metros, até um máximo de 53 metros conforme pode ser visto na Figura 6.

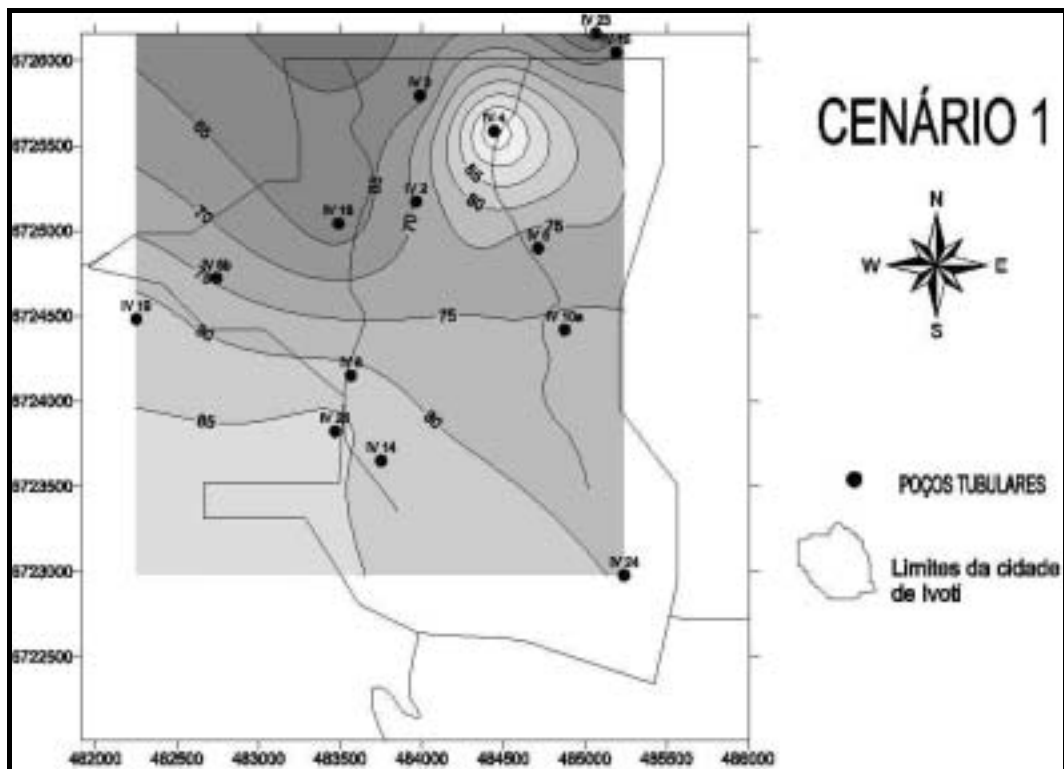


Figura 4 – Modelo numérico mostrando os níveis de água do aquífero na condição de não uso.

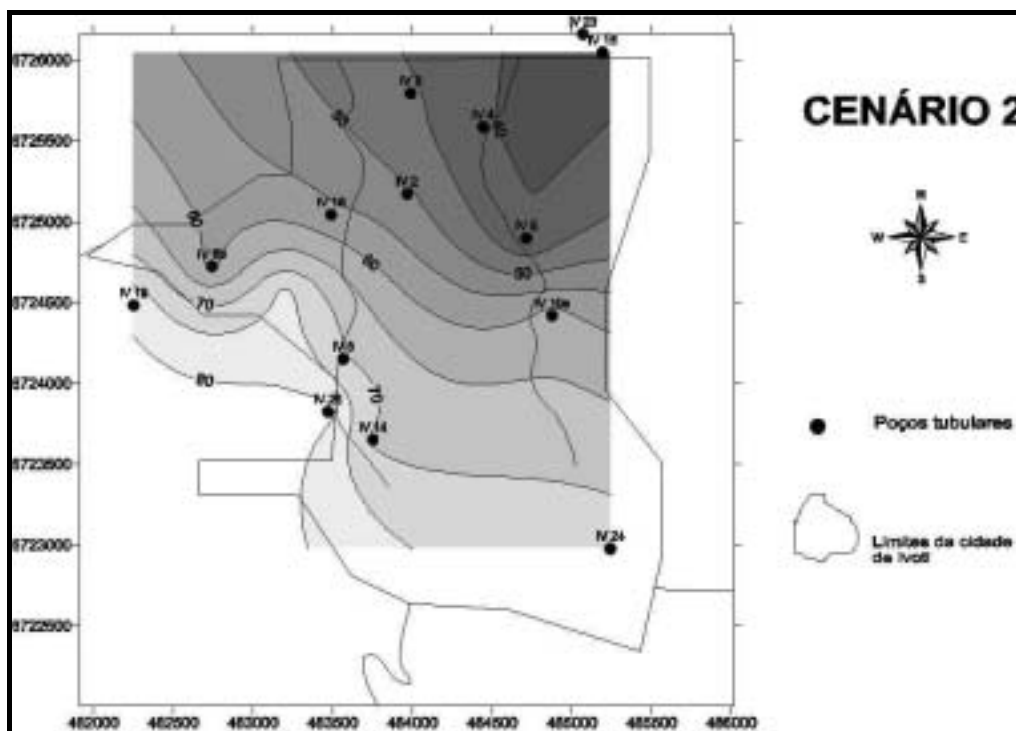
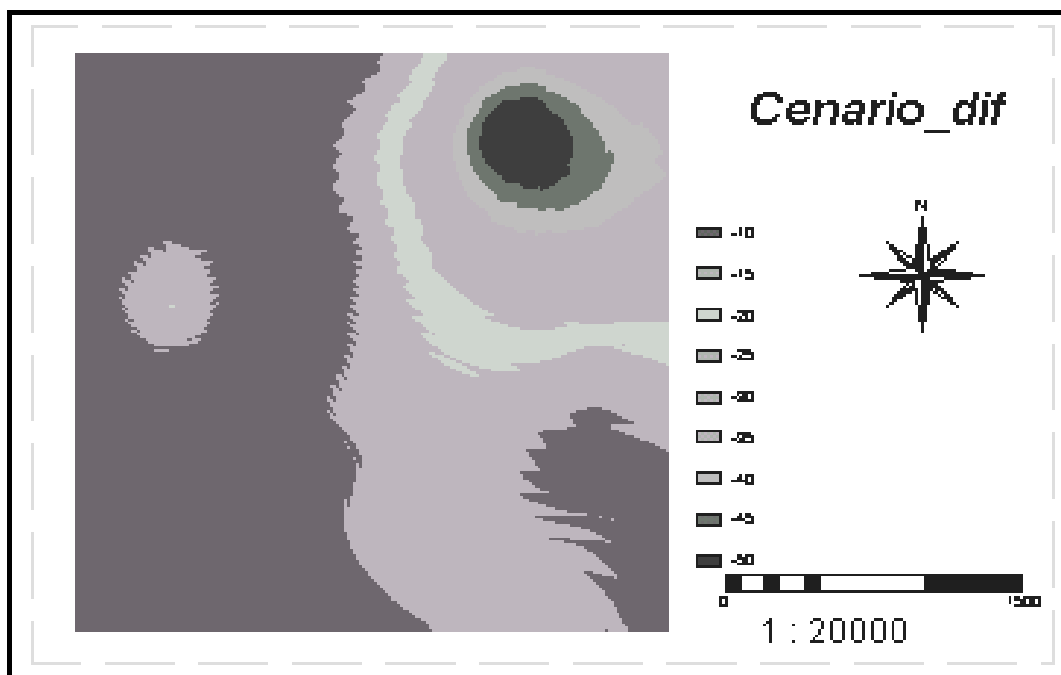


Figura 5 – Modelo numérico dos níveis de água do aquífero na condição do uso contínuo, durante um período de três décadas. última avaliação realizada em 2003.



**Figura 6** – Modelo numérico gerado, mostrando a depleção da coluna de água da neste aquífero, da área de estudo, apresentando uma variação de um mínimo de 8 metros até um máximo de 53 metros.

## DISCUSSÃO

Os poços tubulares podem apresentar três tipos de comportamento, a saber: poços que secam ou se esgotam, poços que entram em colapso e poços estáveis.

Analisando a operação dos poços em Ivoti foi observado em todos uma curva de depleção dos níveis de água, como é mostrado na Figura 2. Em alguns casos ocorre que o nível de água despenca atingindo a base do aquífero, ou a profundidade máxima do poço, sendo assim considerado como poço esgotado. Os poços em colapso, como no exemplo da Figura 2, podem através de uma reavaliação do projeto operacional continuar operando, porém com um redimensionamento da vazão, do ND, e da profundidade do GMBS de forma tal a justificar o funcionamento do poço em condições econômicas. Por fim os poços estáveis são aqueles em que o ND permanece acima da linha de colapso, mesmo que ocorram flutuações sazonais.

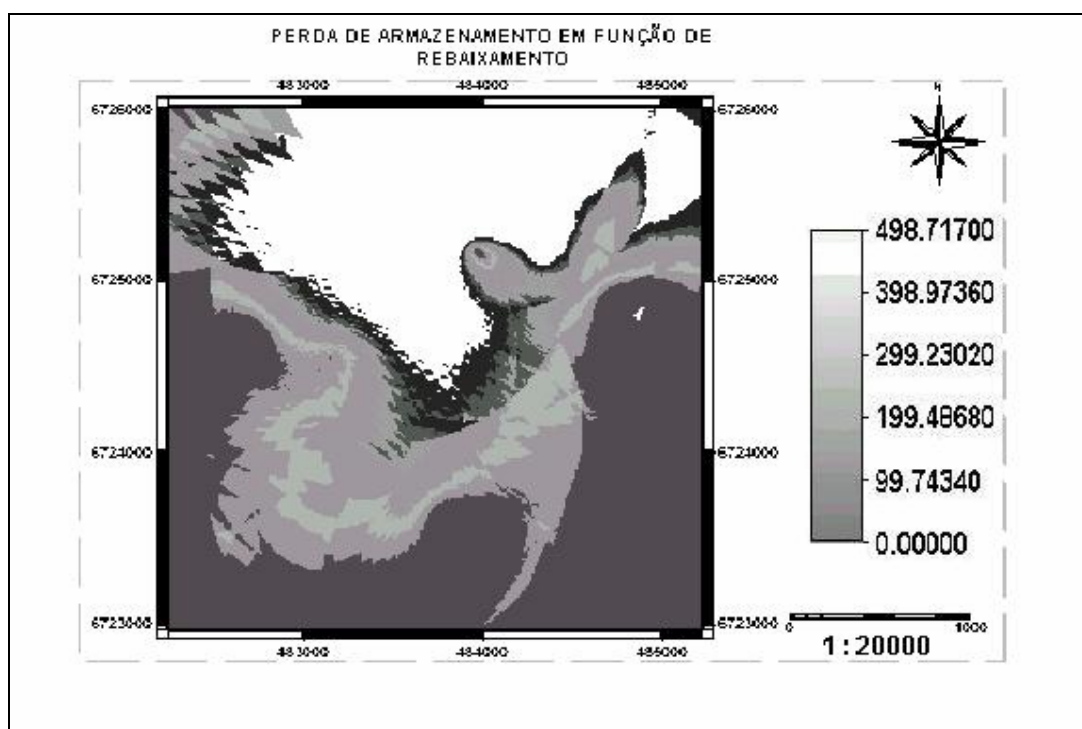
O gráfico da Figura 3, foi confeccionado para um entendimento do comportamento hidrogeológico do SAG na área de Ivoti, em vista da lenta e contínua depleção dos níveis operacionais de água e conseqüente diminuição das vazões dos poços. Quando do trabalho de cadastramento, pode ser observado, a existência de vários poços denominados de fontes alternativas, utilizados por indústrias e particulares nas proximidades de poços já existentes, de abastecimento público, dos quais nada se sabe de seu regime operacional, mas seguramente

contribuindo para a curva de depleção deste aquífero demonstrada no gráfico da Figura 3, como um alerta quanto a sua sustentabilidade.

No modelo numérico da Figura 4 se nota uma região onde o nível de água está elevado, região do poço IV 4. Isto pode ser explicado pela existência de recargas localizadas, devidas à compartimentação tectônica da área. Após a operação continuada ao longo destes 30 anos de operação, os níveis de água se equilibraram, como mostrado na Figura 5. Nesta região havia comportamento de aquífero confinado, quando da perfuração do poço IV 4.

Na cidade de Ivoti, o SAG encontra-se parcialmente coberto por rochas efusivas basálticas da Formação Serra Geral. Os níveis de água detectados durante a perfuração dos poços, sugerem que não há o efeito de confinamento pelas rochas basálticas, porque em todos os poços, exceção feita ao poço IV 4, as entradas de água ocorrem abaixo da linha de contato basalto - arenito, caracterizando condições de aquífero de não pressão ou livre (Fetter<sup>[2]</sup>). Em campo foi constatada a ausência de fontes nestes contatos, fato comum em outras áreas no Estado do Rio Grande do Sul.

O modelo numérico gerado para avaliar o volume de água retirada do sistema, resultando na depleção da coluna, coincide com a maior concentração de poços utilizados como fontes de abastecimento. Na Figura 8 a área mais clara identifica uma super exploração do sistema, com interferências entre poços, e poços em colapso. Esta situação se verifica quando, por algum período de tempo continuado, a média de retirada é maior que a média da recarga (Custodio<sup>[3]</sup>).



**Figura 8** - Mapa da perda de armazenamento no SAG na cidade de Ivoti, produto da operação com o *software* ILWIS 3.0. Os números ao lado da escala de cores a direita, indicam a perda em  $m^3$  por células de  $25 m^2$  (*pixel* de  $5m$ ).



## CONCLUSÕES

1. As análises efetuadas nos gráficos de uma série histórica de dez anos de controles operacionais de poços evidenciam uma contínua e crescente depleção nos níveis de água subterrânea na região estudada;
2. Os resultados obtidos através de modelos numéricos indicam uma retirada de água subterrânea do armazenamento de cerca de 14.000.000 m<sup>3</sup>, de uma área 9.100.000 m<sup>2</sup>;
3. Os rebaixamentos dos ND provocam uma perda na eficiência dos poços e, conseqüentemente acarretam um custo maior na operação do sistema de abastecimento;
4. A continuar o cenário de desequilíbrio identificado, os riscos à sustentabilidade do sistema são evidentes, podendo vir a inviabilizar a utilização futura das captações subterrâneas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [3] Custodio, E (2002) Aquifer overexploitation what does it's mean? *Hydrogeology Journal* 10 (2) 254-277.
- [2] Fetter, C.W. 2001. *Applied hydrogeology*. 4a. ed., Prentice Hall. 598p.
- [8] Giardin, A. & Faccini, U.F. 2002 Heterogeneidades faciológicas e hidroestratigrafia do Aquífero Guarani na região central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica e resultados preliminares. *In: 12º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS, Florianópolis SC. CD ROM.*
- [4] Heath, R.C. & Spruill, R.K. 2003. Cretaceous aquifer in North Carolina: analysis of safe yield based on historical data. *Hydrogeology Journal*, 11 (2):249-258.
- [1] IBGE (2000) Censo Demográfico
- [5] Jacobs, K.L. & Holaway, J. M. Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona. *Hydrogeology Journal*, 12 (1) 52-65.
- [7] Muñoz, J.F., Fernandez, B., Escauriaza, C. 2003. Evaluation of groundwater availability and sustainable extraction rate for Upper Santiago Valley Aquifer, Chile. *Hydrogeology Journal* 11 (6) 688 - 700.
- [6] Sakiyan, J, Yazicigil, H. 2004. Sustainable development and management of aquifer system in western Turkey.2004. *Hydrogeology Journal*, 12 (1) 66 - 80.