

## Artigos

# Análise temporal do nível estático dos poços de abastecimento público da área urbana de Campo Grande

## Temporal analysis of static level of tubular wells for public supply in Campo Grande

Liliane Maia Tcacenco-Manzano<sup>1</sup>; Camila de Vasconcelos Müller Athayde<sup>1</sup>; Anselmo Ruy Zuqui<sup>1</sup>; Ernani Francisco da Rosa Filho<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná (UFPR) /Departamento de Geologia

✉ [lilianemaia@gmail.com](mailto:lilianemaia@gmail.com), [camilavmuller@ufpr.br](mailto:camilavmuller@ufpr.br), [anselmorz@gmail.com](mailto:anselmorz@gmail.com), [rosafilhoernani@gmail.com](mailto:rosafilhoernani@gmail.com)

### Resumo

A utilização da água subterrânea no abastecimento público de grandes cidades é uma demanda crescente. Na área urbana de Campo Grande (MS), 46 % do abastecimento público é oriundo de poços tubulares profundos dos sistemas aquíferos Bauru, Guarani e Serra Geral. Por meio de gráficos da profundidade de níveis estáticos e mapas de rebaixamentos, gerados a partir de dados obtidos na perfuração e em 2016, foi possível fazer uma análise temporal dos resultados. O Sistema Aquífero Bauru (SAB) apresenta um rebaixamento do nível estático de 2,4 metros na área urbana, após 5 anos de operação. O Sistema Aquífero Guarani (SAG) apresenta 34 metros de rebaixamento em 22 anos de operação de poços, sendo um indicativo de aprofundamento regional desses níveis. O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é o sistema aquífero que apresenta valores menores de rebaixamentos, contemplando até 30 anos de monitoramento. A classificação de produtividade dos aquíferos brasileiros do Serviço Geológico do Brasil baseada na capacidade específica, atribui um alto potencial hidrogeológico aos sistemas aquíferos no Mato Grosso do Sul. Para o SAB classifica-se como um sistema aquífero de produtividade alta; o SAG como um sistema aquífero de produtividade muito alta e o SASG como um sistema aquífero de produtividade moderada. Assim, a avaliação temporal periódica dos sistemas aquíferos se faz necessária, visando tanto o abastecimento contínuo de grandes cidades quanto o entendimento do comportamento dos sistemas aquíferos ao longo dos anos.

### Abstract

The groundwater demand for public water supply is rising in big cities. In Campo Grande (MS), 46% of the water supply is extracted by tubular wells from the Bauru, Guarani and Serra Geral aquifer systems. Static level depth graphs and potentiometric map were created based in deep wells measures at two different moments, at drilling and in 2016, allowing a data temporal analysis. The Bauru Aquifer System (SAB) has a 2.4 m drawdown in the city, after 5 years supplying water. The Guarani Aquifer System (SAG) has a 34 m drawdown, after 22 years of water discharge for public supply. Thus, it indicates a falling static level at regional scale. The Serra Geral Aquifer System (SASG) has the lowest drawdown, after 30 years extracting water. The classification of Brazilian aquifers of the Brazilian Geological Survey based on the specific capacity, attributes a high hydrogeological potential to the aquifer systems in Mato Grosso do Sul. For SAB it is classified as a high productivity aquifer system; the SAG as a very high productivity aquifer system and the SASG as an aquifer system of moderate productivity. Therefore, the periodical temporal evaluation of aquifer systems is necessary as a tool for public water supply in big cities and to understand the aquifers behaviour along the time.

### Palavras-chave:

Potenciometria.  
Produtividade.  
Captação subterrânea.  
Rebaixamento de nível estático.

### Keywords:

Potentiometry.  
Productivity.  
Groundwater.  
Static level drawdown.

Revisado por pares.

Recebido em: 26/04/2018.

Aprovado em: 17/12/2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i1.29138>

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda de água subterrânea nos centros urbanos em complemento ao abastecimento superficial é uma realidade cada vez mais crescente, devido à disponibilidade e boa qualidade da água subterrânea. A abordagem da gestão racional e sustentável é estudada em grandes centros urbanos (Islam *et al.*, 2017; Lancia, *et al.*, 2018). Além disso, associa-se o custo de exploração (Manoel Filho, 2004), que muitas vezes pode ser inferior ao custo do tratamento das águas superficiais.

A análise de séries temporais no monitoramento de aquíferos é recorrente nos estudos hidrogeológicos (Campos *et al.* 2017; Manzione, 2018; Gavrishin, 2018), nas interações entre águas

superficiais e subterrâneas (Brookfield *et al.* 2017) ou para o monitoramento do comportamento de determinados elementos químicos (Zhang *et al.* 2018). Com um acervo de dados consistente e um estudo de análise temporal é possível que se criem ferramentas para uma gestão eficaz de aquíferos, de modo a suprir o abastecimento público de maneira eficiente.

A principal fonte de abastecimento superficial de Campo Grande (captação Guararioba) dista 30 quilômetros da estação de tratamento de água, onerando o custo de adução e colocando em risco o abastecimento da área urbana, no caso de rompimento da adutora. Com isso, é importante que se faça um avaliação temporal detalhada dos sistemas aquíferos, como forma de gestão e otimização da exploração de água para abas-

tecimento público.

Hirata *et al.* (2012), em estudo do rebaixamento da potenciométrica no SAG, no município de Araraquara (SP), borda leste desse sistema aquífero, relatam um rebaixamento de 15 metros em um período de 20 anos e enfatiza que isso acontece oriundo do regime de bombeamento e interferência entre poços. Lourencetti *et al.* (2012) enfatizam um rebaixamento de até 7 metros no SAB, em São José do Rio Preto (SP), condicionada à perfuração de novos poços no município.

O objetivo principal desse trabalho foi a avaliação do rebaixamento da superfície potenciométrica dos sistemas aquíferos utilizados no abastecimento público da área urbana de Campo Grande. Além disso, foram classificadas as capacidades específicas dos três sistemas aquíferos explorados nessa área urbana de forma a validar o potencial hidrogeológico dessa região. A elucidação desses objetivos são necessários tanto para a gestão de recursos hídricos como a correta exploração desses recursos pela concessionária de abastecimento.

### 1.1 Área de estudo

O município de Campo Grande está localizado na região centro oeste do Brasil, porção central do Mato Grosso do Sul (Figura 1). Sua área urbana está delimitada pelas coordenadas geográficas: latitude 20°26'34"S e longitude 54°38'47" e a cota altimétrica do município varia entre 500 a 699 metros. A população do município é estimada em 863.982 habitantes, para o ano de 2016 (IBGE, 2017). A área do município abrange 8.092,951 km<sup>2</sup>, sendo sua área urbana de 359 km<sup>2</sup> (PLANURB, 2016). No ano de 2017, conforme dados da empresa Águas Guariroba S.A, a média do volume mensal foi de 7.000.000 m<sup>3</sup>, para o abastecimento de Campo Grande. O abastecimento por meio de água subterrânea perfaz 46% desse volume (3.220.00 m<sup>3</sup>) sendo realizado por meio de aproximadamente 130 poços tubulares profundos, apresentados na Figura 1.

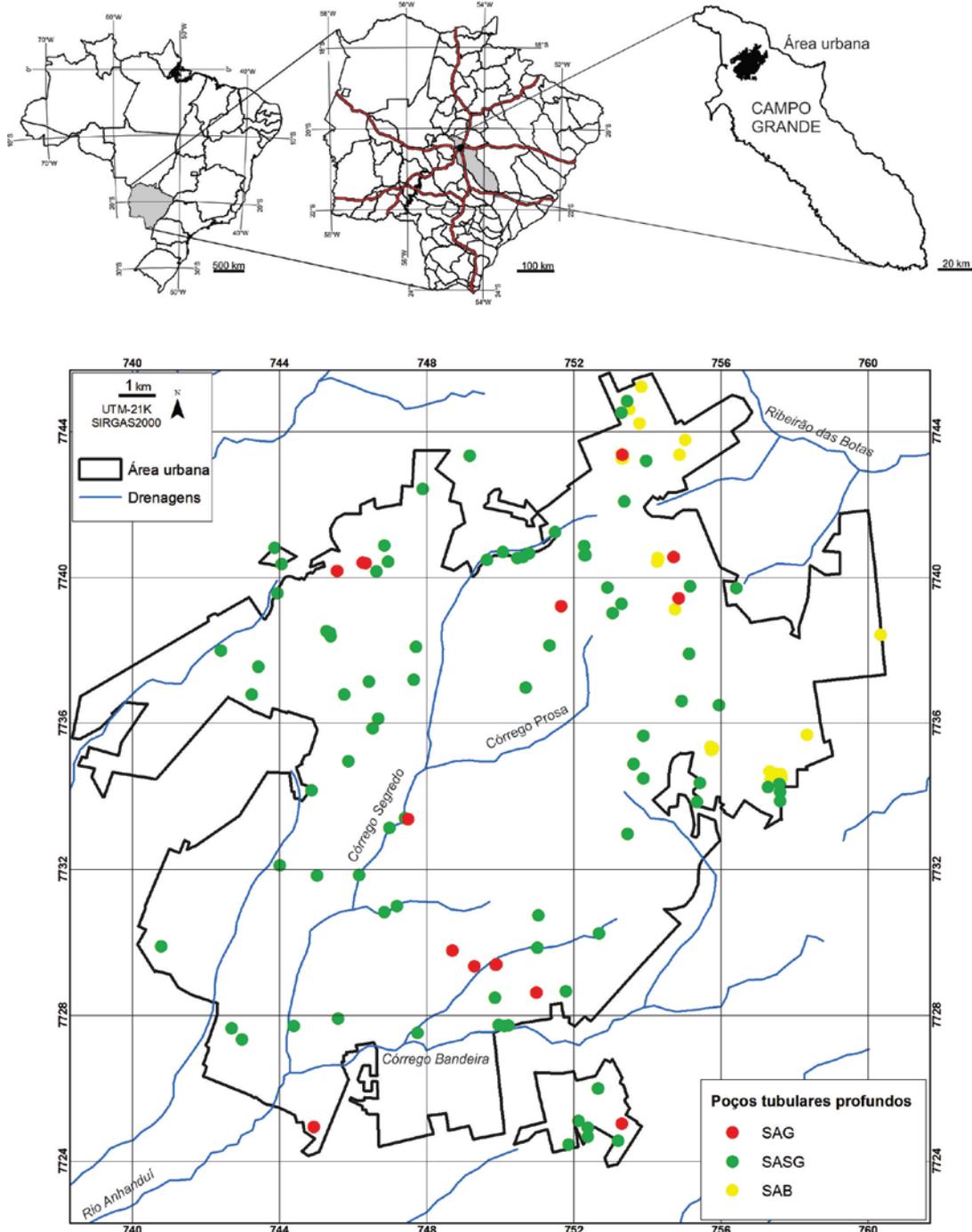
O SAB é descrito (CPRM, 2006, 2012) como uma unidade hidrogeológica sedimentar composta por arenitos finos, porosa e, localmente com intercalações de finas camadas de silte. Uechi *et al.* (2017) consideram esse sistema aquífero como uma unidade geológica propensa a contaminações. TAHAL/SANESUL (1998) estabelece um modelo conceitual com sentido de fluxo do aquífero de oeste para leste, tendo suas cotas mais elevadas no município de Campo Grande (700 a 600 metros). Os dados de vazão média de exploração, fornecidos pela concessionária Águas Guariroba S.A., nessa área urbana são de 25 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

Gastmans (2007) apresenta a Formação Botucatu (unidade que compõe o SAG, juntamente com a Formação Pirambóia), sendo constituída por quartzo arenitos, granulação fina a média com grãos subarredondados a bem arredondados, com boa esfericidade. Nessa localidade, para TAHAL/SANESUL (1998) o SAG está semi-confinado por basaltos da Formação Serra Geral, com espessuras de até 290 metros. Gastmans *et al.* (2010) consideram o SAG no município de Campo Grande confinado. Na área urbana de Campo Grande, segundo a Águas Guariroba S.A, há exploração por meio de poços tubulares com vazões de 250 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> nesse sistema aquífero.

O SASG é um sistema aquífero regional livre, de meio fissurado, anisotrópico, que apresenta um controle estrutural bem marcante (Lastoria, 2002). A recarga desse sistema aquífero ocorre em toda a área de afloramento dos derrames basálticos, sendo que a área urbana de Campo Grande é considerada por Lastoria *et al.* (2006) como uma área de importante contribuição na recarga. Além disso, por estarem conectados hidráulicamente, o SASG recebe uma recarga indireta do SAB.

O comportamento desse aquífero como livre indica, segundo Lastoria (2002), a responsabilidade do mesmo pela manutenção das águas fluviais nas estações secas. Na área urbana de Campo Grande as vazões médias exploradas desse sistema aquífero são da ordem de 30 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, segundo dados da concessionária Águas Guariroba S.A

**Figura 1 -** Mapa de localização dos 130 poços tubulares profundos do abastecimento público na área urbana de Campo Grande, MS



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com o acervo de dados de poços tubulares profundos utilizados para o abastecimento público da área urbana de Campo Grande. O acesso foi possibilitado pela empresa Águas Guaruroba S.A, responsável pelo serviço de saneamento e abastecimento público de Campo Grande. Para compilação de dados foram utilizados 130 poços tubulares profundos, sendo 85 do SASG, 15 do SAG e 30 do SAB. Os poços são denominados de CGR e, todos estão em operação, exceto os CGR-167 e CGR-174 (poços do SAG), que são utilizados para o monitoramento do nível estático desse aquífero nessa área urbana.

Com o objetivo de saber se houve o rebaixamento da superfície

potenciométrica dos sistemas aquíferos após um período de até 30 anos de exploração de poços tubulares profundos, foi realizada a comparação entre a medição do nível estático na perfuração com os dados do nível estático recente. Com esses dados foi confeccionado o mapa de rebaixamento dos sistemas aquíferos.

Para os mapas de rebaixamentos foram aplicados quatro intervalos de classes baseado em dados de quartis da seguinte forma: os poços com diâmetros menores e cor azul representam poços com os menores rebaixamentos, ou seja, rebaixamentos mínimos até o primeiro quartil (mínimo -1Q); poços verdes apresentaram rebaixamentos do primeiro quartil até mediana (1Q - mediana); poços amarelos representam rebaixamentos medianos até o terceiro quartil (mediana - 3Q); poços vermelhos com diâmetros maiores

representam rebaixamentos do terceiro quartil até o rebaixamento máximo (3Q – máximo). Alguns poços com cor azul e menor diâmetro (mínimo – 1Q) apresentaram rebaixamento negativo, ou seja, elevação do nível potenciométrico. Na legenda do mapa esses poços são indicados com sinal negativo, indicativo dessa elevação e/ou recarga. A apresentação de resultados por escalas de percentis é adotada por diversos órgãos de serviços geológicos, como o Atlas Geoquímico do Paraná (Licht, 2001).

Os mapas aqui apresentados como resultados foram confeccionados no software Arc Map, versão 10.3.

A medição do nível estático em poços operantes foi realizada entre abril e maio de 2016, após o desligamento do poço e com período de 4 horas para a recuperação do nível d'água. Em testes de recuperação de níveis realizados na perfuração de poços do SAB observa-se o retorno ao nível estático com 60 minutos de teste. A leitura do nível estático da perfuração foi compilado por meio de ficha e relatório de perfuração dos poços tubulares profundos.

Os poços do SAB são totalmente penetrantes, ou seja, perfurados por toda a espessura do aquífero até o contato com basaltos da Formação Serra Geral. Assim, para esse sistema a espessura saturada observada nos poços equivale a profundidade do NE subtraído da profundidade final do poço, que em todos os poços é o topo da Formação Serra Geral.

Para os poços do SAG, a espessura saturada observada nos poços equivale a espessura das formações Botucatu e Pirambóia no poço. Este valor tem uma incerteza, pois não se sabe a espessura exata do aquífero nos locais dos poços, visto que eles não perfuram toda a camada aquífera. Assim, tais números devem ser utilizados com cautela, pois não existem informações suficientes para delimitar a base dessa unidade aquífera.

O cálculo da capacidade específica dos poços foi feito a partir dos dados do teste de vazão. Foi medida a profundidade do nível

d'água (nível estático - NE) no início do teste, a profundidade do nível d'água (nível hidrodinâmico - ND) no final do teste. Com a diferença entre estas profundidades (NE-ND) obtêm-se o rebaixamento (s). A capacidade específica do poço equivale a vazão obtida no teste pelo rebaixamento. Esses dados foram cedidos pela empresa Águas Guariroba S.A. para essa pesquisa.

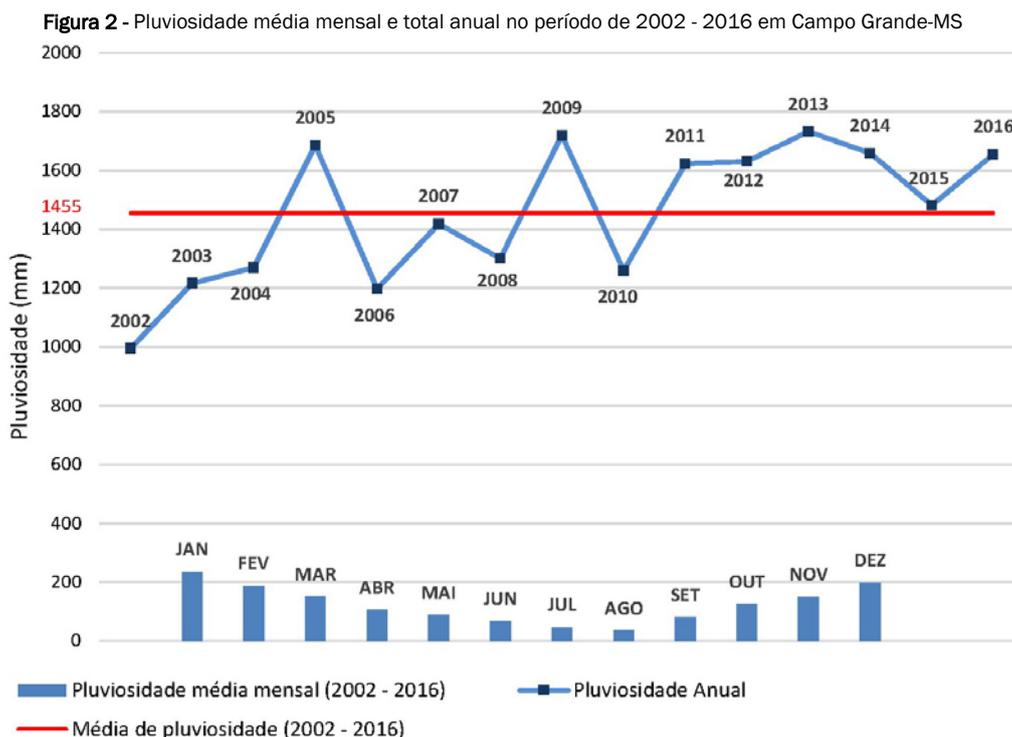
O mapa hidrogeológico do Brasil, escala 1:5.000.000 (CPRM, 2014) foi utilizado para a classificação de produtividade dos sistemas aquíferos. Os valores de capacidades específicas obtidos na área urbana de Campo Grande foram comparados com os valores desse mapa e utilizados para validar o potencial hidrogeológico da área urbana de Campo Grande.

Os dados de pluviosidade mensal no período de 2002-2016 foram compilados por meio da estação meteorológica A702 - Campo Grande do Centro de Monitoramento do Tempo, Clima e Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul - CEMTEC, instalada em 11/09/2001. Assim, foi possível calcular o acumulado de pluviosidade anual, fornecer a média e mediana de pluviosidade para todo período compilado, tanto mensal, quanto anual. Cabe ressaltar que o período abordado na pluviosidade abrange todo período de operação dos poços do SAB.

O período de perfurações da análise temporal para o SAB é iniciado em 2002 e tem seu ápice em 2011, com a perfuração e o início de operação de 23 poços. Para o SAG, a perfuração dos poços é entre 1994-1997 e três poços em 2008. A perfuração de poços do SASG originou-se em 1974. Todas as medições de níveis estáticos recentes foram realizadas em 2016.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados da pluviosidade no período entre 2002 a 2016, visualizados na Figura 2, indicam os meses de maio, junho e agosto como meses com menor precipitação, sendo agosto, historicamente, o mês mais seco.



O valor médio das pluviosidades anuais desse período chegou ao valor de 1.455 mm e a mediana 1.481 mm. Com o gráfico, podemos visualizar que nos anos de 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008 e 2010 a precipitação foi inferior a média nesse intervalo de tempo.

Os estudos de potenciométrica e do rebaixamento de poços tubulares profundos são importantes para o entendimento do comportamento dos sistemas aquíferos (Hirata *et. al.*, 2012). Assim, os resultados da área urbana de Campo Grande serão apresentados

a seguir, separados por sistema aquífero. Para o SAB, além da apresentação dos dados, há a discussão da influência direta da pluviosidade, visto que o mesmo é considerando como um aquífero livre.

### 3.1. Sistema Aquífero Bauru (SAB)

Os valores das espessuras saturadas do SAB na perfuração e do ano de 2016 são apresentados na Tabela 1.

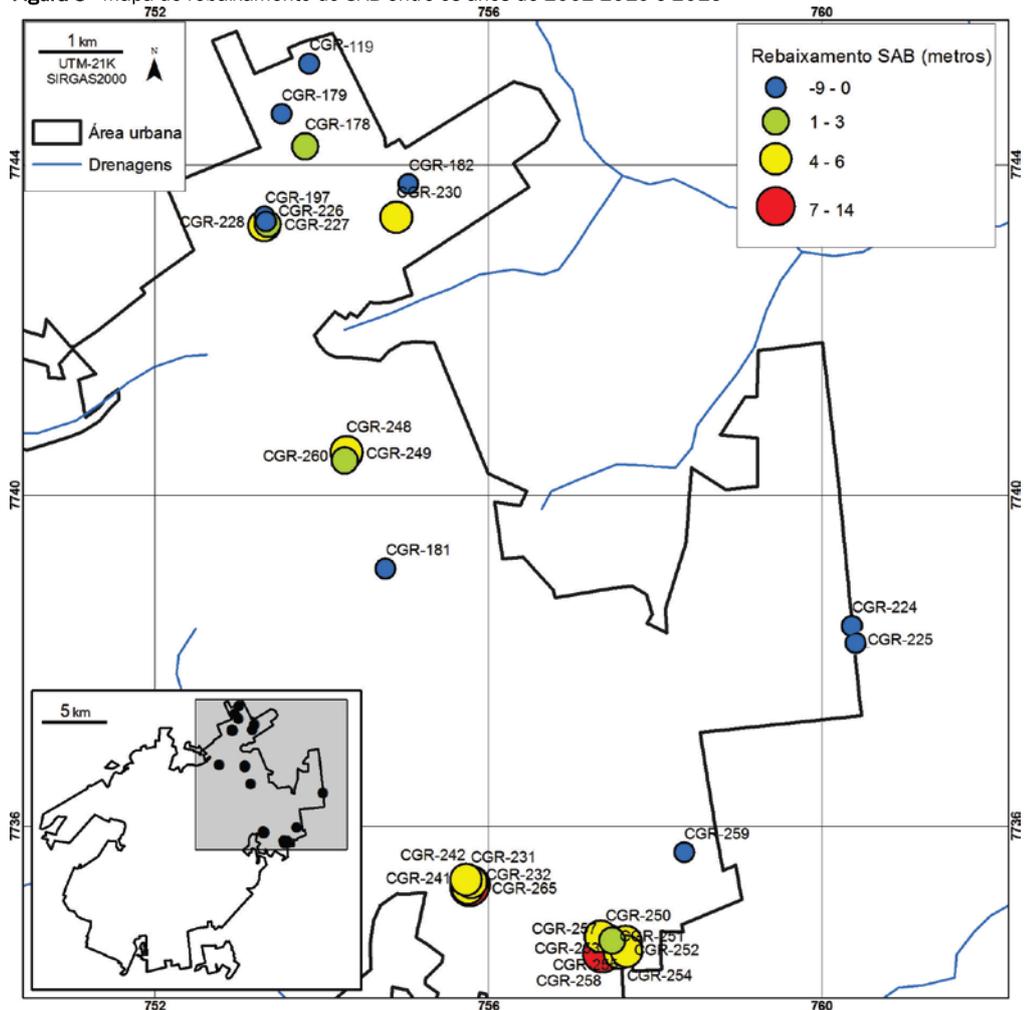
**Tabela 1** - Potenciométrica e espessura saturada dos poços do SAB na perfuração e em 2016

POÇOS	COTA (m)	Potenciométrica SAB perfuração (m)	Potenciométrica SAB recente (m)	Cota Base SAB/ Topo Serra Geral (m)	Espessura Saturada perfuração (m)	Espessura saturada recente (m)
CGR-119	655	644	644	615	29	29
CGR-178	674	654	652	623	31	29
CGR-179	673	651	651	622	29	29
CGR-181	682	646	657	618	28	39
CGR-182	655	637	644	621	16	23
CGR-193	508	503	503	465	38	38
CGR-197	695	649	649	627	22	22
CGR-224	698	624	627	583	41	44
CGR-225	698	625	628	586	39	42
CGR-226	699	657	651	635	22	16
CGR-227	699	652	651	637	15	14
CGR-228	699	653	651	635	18	16
CGR-230	664	653	647	622	31	25
CGR-231	665	644	634	607	37	27
CGR-232	665	643	630	607	36	23
CGR-241	665	639	635	607	32	28
CGR-242	665	641	636	607	34	29
CGR-248	699	650	646	624	26	22
CGR-249	698	650	645	623	27	22
CGR-250	680	638	624	595	43	29
CGR-251	681	637	632	594	43	38
CGR-252	680	633	622	592	41	30
CGR-253	680	629	623	592	37	31
CGR-254	684	628	626	587	41	39
CGR-255	682	629	623	594	35	29
CGR-257	682	629	627	597	32	30
CGR-258	677	632	624	592	40	32
CGR-259	671	639	637	597	42	40
CGR-260	699	647	646	625	22	21
CGR-265	655	632	623	595	37	28

As maiores espessuras saturadas recentes do SAB encontram-se a leste da área urbana de Campo Grande, em direção ao centro da Bacia Bauru, atingindo uma espessura máxima de 44 metros (CGR-224 e CGR-225, Figura 3), com base nos dados de poços tubulares profundos.

Houve um rebaixamento médio de 2,4 metros no nível estático do SAB na área urbana de Campo Grande após 5 anos de operação de 23 dos 30 poços tubulares profundos desse aquífero. A espessura saturada média que na perfuração era de 32,1 metros (mediana 33 metros) no ano de 2016 é de 29,7 metros (mediana 29 metros).

**Figura 3** - Mapa de rebaixamento do SAB entre os anos de 2002-2010 e 2016



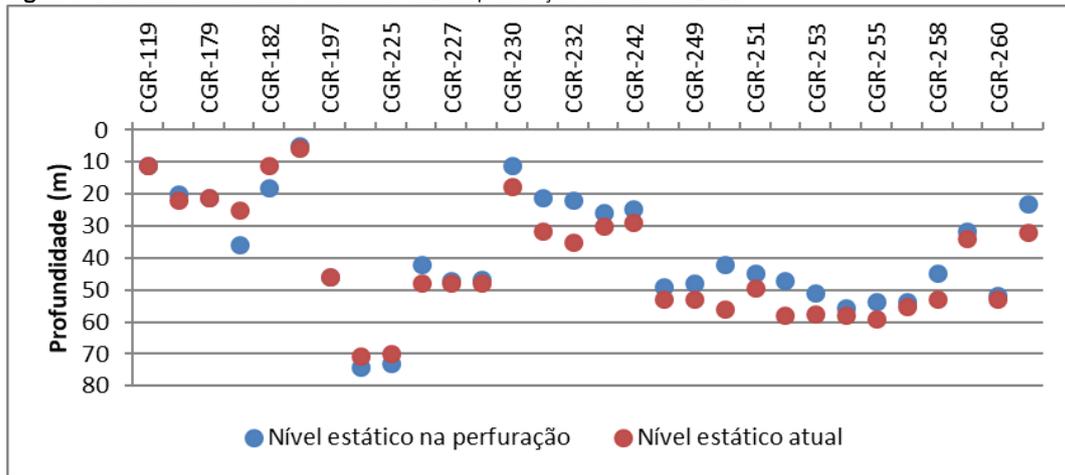
Os valores negativos de rebaixamento indicam elevação do nível potenciométrico enquanto os poços com valores positivos indicam rebaixamento de níveis potenciométricos.

Os poços que apresentam os maiores valores de rebaixamentos (círculos maiores) estão localizados nas áreas com maiores concentrações de poços, especialmente na porção leste da área urbana de Campo Grande. Os poços CGR-231 e CGR-250 apresentam, respectivamente, 10 e 14 metros de rebaixamento.

Pelo acompanhamento dos níveis estáticos nos poços tubulares profundos na área urbana de Campo Grande, observou-se predominantemente que no ano de 2016 os níveis estáticos estavam

mais profundos do que os níveis estáticos na época da perfuração. A exceção são os poços: CGR-181, CGR-182, CGR-224 e CGR-225 que apresentam elevações na superfície potenciométrica (Figura 4). Pode-se observar na figura 3 que esses poços estão distantes de outros poços que exploram esse sistema aquífero, ou seja, não sofrem influência na superposição dos rebaixamentos. O poço CGR-224 está em uma área de condomínios de chácaras, sem impermeabilização do terreno, facilitando a recarga direta do aquífero e contribuindo na elevação do nível estático. Além disso, a média de precipitação na perfuração foi inferior a média de precipitação recente, o que também pode implicar na elevação recente dos níveis estáticos.

**Figura 4** - Profundidade do nível estático do SAB na perfuração e no ano de 2016

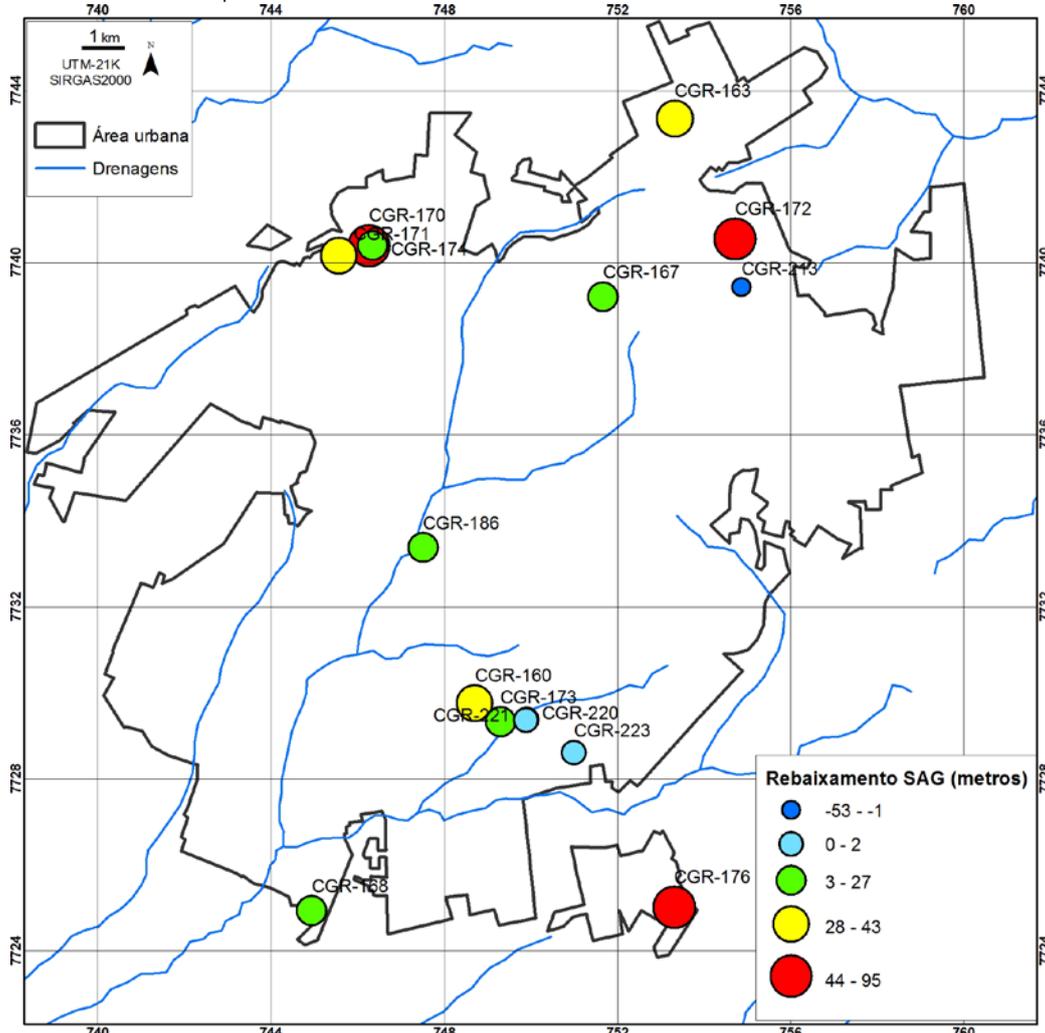


Na borda nordeste desse sistema aquífero, rebaixamentos de 7 metros dos níveis estáticos estão condicionados diretamente a perfuração de novos poços no município (Lourencetti et al., 2012). Em Campo Grande, conclui-se que onde há maiores concentrações de poços tubulares há também os maiores valores de rebaixamentos. Isso pode ser explicado pela superexploração dos poços e, conseqüentemente, a superposição dos cones de rebaixamentos desses poços que estão próximos.

### 3.2. Sistema Aquífero Guarani

O acompanhamento da profundidade dos níveis estáticos na perfuração (a partir de 1994) e recente (2016), mostrou que há rebaixamentos na superfície potenciométrica desse sistema aquífero (Figura 5).

**Figura 5** - Mapa de rebaixamento do SAG entre 1994-1997 e 2016. Os valores negativos de rebaixamento indicam elevação do nível potenciométrico enquanto os poços com valores positivos indicam rebaixamento de níveis potenciométricos



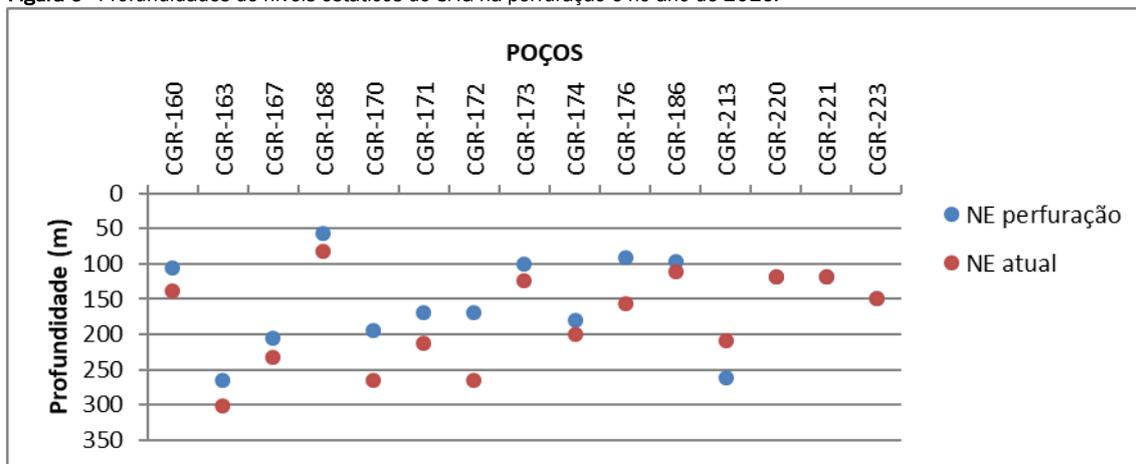
Na Figura 6, nota-se um rebaixamento regional do nível estático comparativamente à época da perfuração (meados de 1994). O rebaixamento médio foi de 34 metros, e se registra após 22 anos de operação desses poços. Há um destaque para três poços desse sistema que tiveram um rebaixamento acima dessa média (CGR-170, CGR-171 e CGR-173). Cabe ressaltar que os poços que apresentaram esse rebaixamento não tem um tempo de operação maior do que os poços que estão na média de rebaixamento calculada para o período. Porém, os poços que possuem um tempo inferior a 15 anos de operação mantiveram-se com níveis com rebaixamentos mínimos (classe 0-2m).

Apenas no poço CGR-213 houve uma elevação do nível estático (Figura 6). Isso pode ser explicado pois quando o poço CGR-213 foi perfurado o CGR-172 estava em funcionamento, o que forneceu

um dado de nível estático mais profundo, que não era o nível real do aquífero naquele ponto. Esses dois poços estão a 1.100 metros de distância e apresentam diferença de 5 metros na cota da boca do poço.

Os poços CGR-220, CGR-221 e CGR-223 mantiveram o mesmo nível estático da perfuração (Figura 6). Esses poços apresentam um tempo (em anos) de operação menor que os poços anteriormente citados, o que poderia justificar a manutenção de níveis estáticos. No contexto geológico-constructivo possuem uma camada sobrejacente de basalto inferior a 150 metros e restringem-se a 150 metros de perfuração na camada aquífera. Além disso, esses poços apresentam uma profundidade inferior a 250 metros, diferentemente dos outros poços desse mesmo sistema que podem atingir até 600 metros de profundidades.

Figura 6 - Profundidades de níveis estáticos do SAG na perfuração e no ano de 2016.



O rebaixamento de níveis potenciométricos do SAG também é observado na borda leste do sistema aquífero (Hirata *et al.*, 2012), sendo um rebaixamento de 15 metros em um período de 20 anos. Nesse mesmo estudo há evidências que essa ocorrência é oriunda do regime de bombeamento e interferência entre poços. Além disso, Scalvi e Gastmans (2016) relatam a influência do rebaixamento desse aquífero no município de Araraquara, decorrentes do bombeamento de poços. Como pode-se ser observado na Figura 5, os locais nos quais há um maior rebaixamento de níveis estáticos há uma maior concentração de poços próximos.

### 3.3. Sistema Aquífero Serra Geral

O mapa de rebaixamento do SASG, único sistema aquífero fraturado/fissural do município de Campo Grande, apresenta valores de níveis estáticos recentes semelhantes aos valores medidos da perfuração, conforme observado na Figura 7.

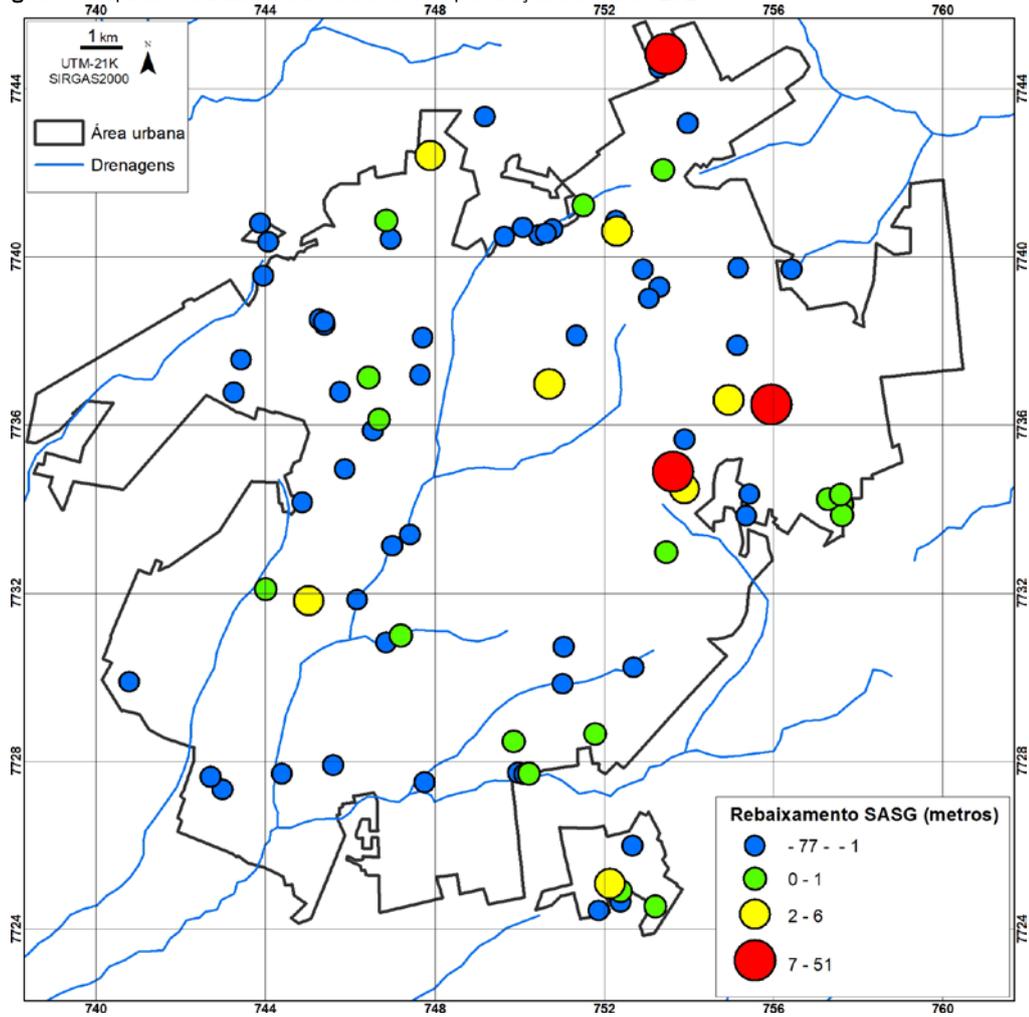
Os valores negativos de rebaixamento indicam elevação do nível potenciométrico enquanto os poços com valores positivos indicam

rebaixamento de níveis potenciométricos.

O SASG foi o sistema aquífero que apresentou poços com os menores rebaixamentos. A maioria dos poços apresentaram rebaixamento negativo, ou seja, elevação no nível estático recente (2016) com relação ao período da perfuração (a partir de 1974). O rebaixamento entre 2 e 6 metros foi verificado em 7 poços e apenas 3 poços no município apresentam rebaixamentos superiores a 7 metros.

O SASG apresenta interconexão hidráulica tanto com o sistema aquífero sobreposto (SAB) quanto o sotoposto (SAG) (Lastoria *et al.*, 2006). A circulação de água nesse sistema é por meio de estruturas horizontais e verticais, além da conexão hidráulica com os aquíferos SAB e SAG (Lastoria, 2002). Assim, a pequena variação de níveis estáticos pode justificar-se devido a interação de águas dos aquíferos, às perdas físicas que podem ocorrer na rede de abastecimento de água e também a contribuição de águas fluviais que possam recarregar tanto o SAB quanto o SASG.

Figura 7 - Mapa de rebaixamento do SASG entre a perfuração e o ano de 2016

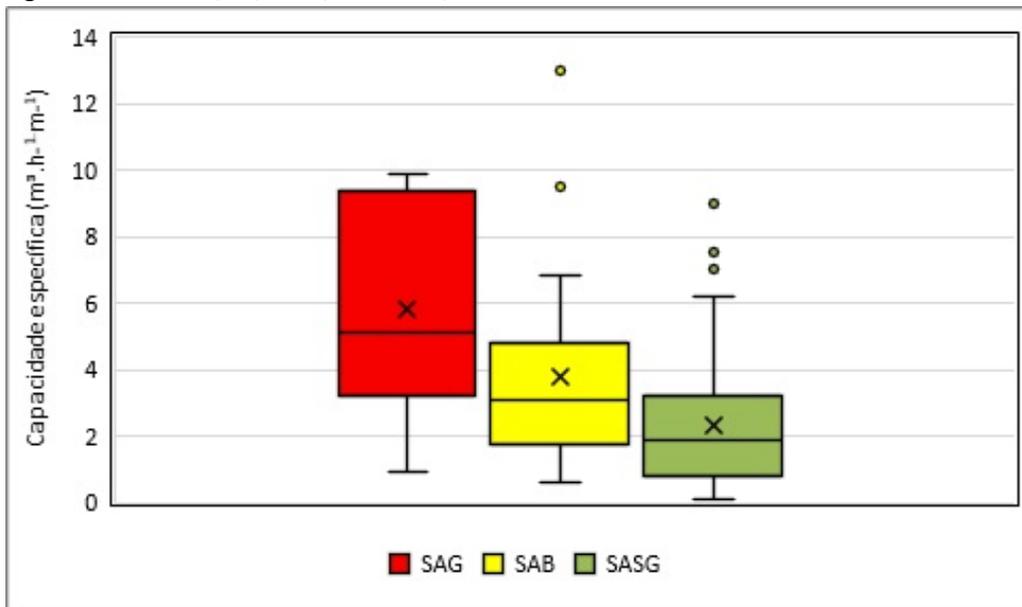


### 3.4. Produtividade dos sistemas aquíferos

A classificação de produtividade dos sistemas aquíferos (CPRM,

2014) validam o potencial hidrogeológico da área urbana de Campo Grande (Figura 8) e evidenciam uma boa alternativa para o abastecimento público.

Figura 8 - Gráfico bloxplot para capacidades específicas



Para o SAB, os valores das capacidades específicas variaram de  $13 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  a  $0,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , com média de  $3,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e mediana  $3,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . Conforme a classificação da CPRM (2014) esse sistema aquífero pode ser classificado como produtividade alta.

Os valores de capacidades específica do SAG variaram entre  $9,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e  $0,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , sendo a média  $5,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e a mediana  $5,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . Hirata *et al.* (2012) relatam capacidades específicas de até  $13 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  na borda leste do sistema aquífero. Baseado na classificação de CPRM (2014) esse sistema aquífero possui produtividade muito alta (acima de  $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ).

Para o SASG, os valores das capacidades específicas variaram entre  $9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e  $0,1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ , com média de  $2,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e mediana de  $1,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . A recomendação de CPRM (2014) para sistemas aquíferos fraturados e cársticos é de que a análise da produtividade deve ser feita considerando apenas os dados de vazão. Os valores de vazão dos SASG variaram entre  $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e  $92 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , com vazão média de  $27,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e com a mediana de  $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Isso classifica a unidade hidroestratigráfica com produtividade moderada (CPRM, 2014).

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados dos valores de capacidade específica dos poços tubulares profundos da área urbana de Campo Grande comprovam um alto potencial hidrogeológico para exploração de água por meio de poços tubulares profundos dos três sistemas aquíferos para o abastecimento público. Os dois sistemas aquíferos sedimentares têm a sua produtividade classificadas, conforme CPRM (2014), como muito alta e alta, SAG e SAB, respectivamente. Para o SASG a produtividade é considerada moderada. Assim, deve ser realizado o monitoramento constante desse parâmetro para manutenção desse potencial hidrogeológico e eventuais ajustes na exploração de poços tubulares profundos.

Como a análise da variação temporal do nível estático é algo frequente nos estudos hidrogeológicos (Campos *et al.*, 2017; Manzi-  
one, 2018; Gavrishin, 2018) foi possível verificar o comportamento dos sistemas aquíferos, confirmando assim que há rebaixamento de nível estático em todos os sistemas aquíferos explorados na área urbana.

Para o SAB, os poços que no ano de 2016 apresentaram níveis estáticos recentes mais rasos do que na época da perfuração observou-se que foram perfurados em anos com médias de precipitação abaixo da média do período estudado. Além disso, esses poços estão isolados, não apresentando interferência na superposição dos rebaixamentos, em área com menor impermeabilização do terreno, o que acaba facilitando a recarga direta do sistema aquífero.

Para o SAG, em vinte dois anos de funcionamento dos poços, observa-se um rebaixamento médio de 34 metros do nível estático, sendo que esses valores podem indicar um aprofundamento regional do nível estático desse sistema aquífero. Os poços CGR-167 e CGR-174 (não operantes) apresentam rebaixamentos dos níveis estáticos, sendo 26 metros e 20 metros, respectivamente.

O período de análise de alguns poços do SASG ultrapassa 30 anos e por meio desse trabalho pode-se concluir que, dentre os siste-

mas aquíferos explorados na área urbana de Campo Grande para o abastecimento público, esse é o sistema aquífero que apresentou menores rebaixamentos. Isso pode ser explicado por esse ser um sistema aquífero conectado hidráulicamente com o SAB e SAG (Lastoria *et al.*, 2006). A contribuição da infiltração de água ocasionada por vazamentos na rede de distribuição também deve ser considerada na recarga direta desses aquíferos.

Com isso, podemos concluir que a avaliação temporal periódica do nível estático dos sistemas aquíferos se faz necessária, visando tanto o abastecimento contínuo de grande cidades (Islam *et al.*, 2017; Lancia, *et al.*, 2018) quanto o entendimento do comportamento dos sistemas aquíferos ao longo dos anos. Esse método funciona como um instrumento de gestão para as concessionárias de abastecimento, de forma a prevenir rebaixamentos ostensivos nos sistemas aquíferos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES- DS pela concessão da bolsa, à empresa Águas Guariroba pelos dados cedidos e aos revisores por todas as contribuições.

#### REFERÊNCIAS

- BROOKFIELD, A. E.; STOTLER, R.L.; REBOULET, E.C. 2017 Interpreting temporal variations in river response functions: an example from the Arkansas River, Kansas, USA *Hydrogeology Journal*, v. 25, p. 1271-1282, 2017.. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1545-9>
- CAMPOS, J. E. G.; SOUZA, M. M de. Alternativa para determinação de sobreexploração de aquíferos. *Geociências*, v.36, n. 2, p 339-346, 2017.
- CEMTEC – Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos hídricos de Mato Grosso do Sul. 2017. Disponível em: [http://www.cemtec.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/72/2016/03/Chuvas\\_CampoGrandeMS\\_HIST%C3%93RICO.pdf](http://www.cemtec.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/72/2016/03/Chuvas_CampoGrandeMS_HIST%C3%93RICO.pdf). Acesso em: 14 fev. 2017.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Mapa Geológico do Mato Grosso do Sul*. Brasília, escala 1:1.000.000. 2006.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Relatório diagnóstico. Sistema aquífero Bauru-Caiuá nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná*. Belo Horizonte, 2012.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Mapa Hidrogeológico do Brasil*. Brasília. escala 1:5.000.000, 2014.
- GASTMANS, D. *Hidrogeologia e Hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na Porção Ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná*. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017. 193 p.
- GASTMANS, D.; CHANG, H.K.; HUTCHEON, I. Stable isotopes (2H, 18O and 13C) in groundwaters from the northwestern portion of the Guarani Aquifer System (Brazil). *Hydrogeology Journal*, v. 18, p. 1497–1513, 2010.
- GAVRISHIN, A. I. 2018. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. *Water Resources*, v. 45, p. 785-794, 2018. <https://doi.org/10.1134/S0097807818050081>
- HIRATA, R.; UCCI, M. S.; WAHNFRIEND, I.; VIVIVANI-LIMA, J. B. Exploração do Sistema Aquífero Guarani em Araraquara. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 11-127, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. *Censo demográfico 2010: Estados*. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 14 fev. 2017.

- ISLAM, M.B., FIROZ, A.B.M., FOGLIA, L.; MARANDI, A.; KHAN, A. R.; SCHUTH, C, RIBBE, L. 2017 A regional groundwater-flow model for sustainable groundwater-resource management in the south Asian megacity of Dhaka. *Bangladesh Hydrogeology Journal*, v. 25, p. 617-637, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1526-4>
- LANCIA, M., ZHENG, C., YI, S. LERNER, D. N.; ANDREWS, D. 2018 Analysis of groundwater resources in densely populated urban watersheds with a complex tectonic setting: Shenzhen, southern China. *Hydrogeology Journal*, p 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1867-2>
- LASTORIA, G. 2002. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – UNESP – Rio Claro, 133 p.
- LASTORIA, G.; SINELLI, O.; CHANG, H. K.; HUTCHEON, I.; PARANHOS FILHO, A. C.; GASTMANS, D. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. *Águas Subterrâneas*, v. 20, n.1, p.139-150, 2006.
- LICHT, O. A. B. *Atlas geoquímico do Estado do estado do Paraná-sedimentos de fundo e águas superficiais Curitiba*, MINEROPAR, 2001. 80 p.
- LOURENCETTI, J.; PRATES, M. M.; OLIVEIRA, J. N. 2012. Rebaixamento do aquífero Bauru em São José do Rio Preto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012. e ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 28., 2012. *Anais...* Bonito, MS.
- MANOEL FILHO, J. 2004. Exploração de água subterrânea em zona urbana: caso da Grande Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004. *Anais...* Cuiabá, MT, 2004. CD-Rom.
- MANZIONE, R. L. Mapeamento das características dinâmicas do nível freático do Sistema Aquífero Bauru como instrumento de gestão de recursos hídricos. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 22-240, mar. 2018.
- OSPINA M, D.L.; VARGAS J., C. A. Monitoring runoff coefficients and groundwater levels using data from GRACE, GLDAS, and hydrometeorological stations: analysis of a Colombian foreland basin. *Hydrogeology Journal*, p 1-11, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1824-0>.
- PLANURB - Instituto Municipal de Planejamento Urbano. *Perfil socioeconômico de Campo Grande*. 23. ed. rev. Campo Grande, 2016.
- SCALVI, B. ; GASTMANS, D. 2016. Caracterização hidrofaciológica e monitoramento dos níveis d'água no sistema aquífero Guarani na cidade de Araraquara (SP). *Águas Subterrâneas*, v. 30, n. 3, p. 326-342, 2016.
- TAHAL Consulting Engineers LTDA e Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul SANESUL 1998. *Estudos hidrogeológicos de Mato Grosso do Sul*. Relatório Final, Campo Grande, 1998. 736p. Mapas V.I e II,
- UECHI, D. A., GABAS, S. G., LASTORIA, G. 2017. Análise de Metais pesados no sistema aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. *Eng San Amb*, v.22, n.1, p. 155-167, jan./fev. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n1/1809-4457-esa-S141341522016142430.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- ZHANG, Z., GUO, H., ZHAO, W. , LIU, S., CAO, Y.; JIA, Y. Influences of groundwater extraction on flow dynamics and arsenic levels in the western Hetao Basin, Inner Mongolia, China. *Hydrogeology Journal*, v. 26, p 1499-1512, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1763-9>.