

## XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

### **MÉTODOS DE CÁLCULO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE CAPTAÇÃO COMPARADOS À LEGISLAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

*César de Oliveira Ferreira Silva<sup>1</sup>; Manuel Enrique Gamero Guandique<sup>2</sup>*

**RESUMO** – O presente trabalho tratou da aplicação de dois métodos (Raio Fixo Calculado e Wyssling) para determinação de perímetros de proteção de poços de captação de água na área do Aquífero Tubarão em Sorocaba/SP. Por ambos os métodos foram obtidos raios pequenos (de 5 a 20 metros), porém, mesmo que não existissem atividades potencialmente contaminantes e poluidoras diretamente sobre os perímetros determinados, a maioria dos poços estudados tinham atividades potencialmente poluidoras ou impactantes à produção de água do aquífero a distância pequena (menos de 1 km), que é um fator de risco sobre o poço, já que sustentam a segurança hídrica de indústrias e alguns bairros da região. Esses resultados mostram que o perímetro genérico definido pelo Decreto Estadual nº 32.955/1991 não é universalmente adequado dentro do Estado de São Paulo, sendo mais adequado analisar particularmente a necessidade de proteção de cada poço.

**ABSTRACT** – This paper discusses the application of two methods (Fixed Radius Calculated and Wyssling) to determine perimeters of water collection wells protection in the Aquifer Tubarão area in Sorocaba/SP. For both methods were obtained small radii (5-20 meters), however, even if there are not potentially contaminating and polluting activities directly on certain perimeters, most of the wells studied had potentially polluting activities or impacting the production of water from the aquifer a short distance (less than 1 km), which is a risk factor for the well, since sustain water security industries and some districts of the region. These results show that the generic perimeter defined by State Decree nº 32,955/1991 is not universally suitable in the State of São Paulo, being adequated particularly analyze the need for each well protection.

**Palavras-Chave** – Perímetros de Proteção de Poços, Uso do Solo, Aquífero Tubarão.

#### **INTRODUÇÃO**

A água doce é um bem a ser preservado e protegido por ser escasso e essencial para humanidade. Juridicamente essa ideia é alicerçada na Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos, que é taxativa ao afirmar que a água é um recurso natural limitado (II, artigo 1º, da Lei 9.433/97).

---

1) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, SP, Brasil. Email: cesaroliveira.f.silva@gmail.com).

2) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, SP, Brasil. Email: enrique@sorocaba.unesp.br

Assim a água passou a ser motivo de preocupação, tanto no que se refere à quantidade quanto à qualidade.

Nesse contexto de preservação ambiental, as águas subterrâneas, por serem afetadas contínua e diretamente pela ação antrópica, sobretudo quando se localizam no tecido urbano, tornam-se elementos-chave na segurança hídrica (FOSTER et al, 2013), fazendo-se necessário o controle dos agentes antrópicos que mantém contato com a água subterrânea (prevenindo a contaminação, poluição e perda de qualidade ambiental do aquífero) por meio de um gerenciamento que previna tais riscos de perda de qualidade ambiental da água (BEGHELLI et al, 2015).

É importante ressaltar que para gerenciar águas subterrâneas deve-se, primordialmente, proteger os poços de captação, pois a perfuração de poços cria o risco de contato direto com agentes poluidores e contaminantes (TUBAU et al, 2017), que quando contaminadas tem um processo de recuperação mais lento e trabalhoso comparado ao das águas superficiais (FREIRE et al, 2014). Também há o problema da demora na detecção do problema e da fonte poluidora (TUBAU et al, 2017, LI et al, 2017).

Uma medida eficaz para proteger a captação de água subterrânea é a restrição e controle do uso do solo de terrenos ao redor do ponto de captação (COELHO et al, 2017). Assim, como indicado por (FOSTER et al, 2013), devem ser definidos perímetros de proteção para balizar o plano de gestão da qualidade de poços de captação.

## **OBJETIVO**

O presente trabalho analisou a salvaguarda legal a respeito da qualidade da água subterrânea no Estado de São Paulo verificando a efetividade da legislação quanto à proteção para poços de captação, comparando-a com o caso de poços no município de Sorocaba/SP, aplicado aos métodos do Raio Fixo Calculado e de Wyssling.

## **METODOLOGIA**

### **Levantamento de Dados**

Os dados utilizados nesse trabalho foram retirados de Rodrigues (2004), onde foram expostos dados de poços de captação (como vazão de exploração, profundidade e rebaixamento de aquífero) em Sorocaba/SP. Os poços de captação estudados no município de Sorocaba/SP localizam-se em sua

maioria no aquífero granular, havendo uma localizada na unidade fraturada. A figura 1, a seguir, expõe a localização desses poços em relação à hidrogeologia do município de Sorocaba/SP.

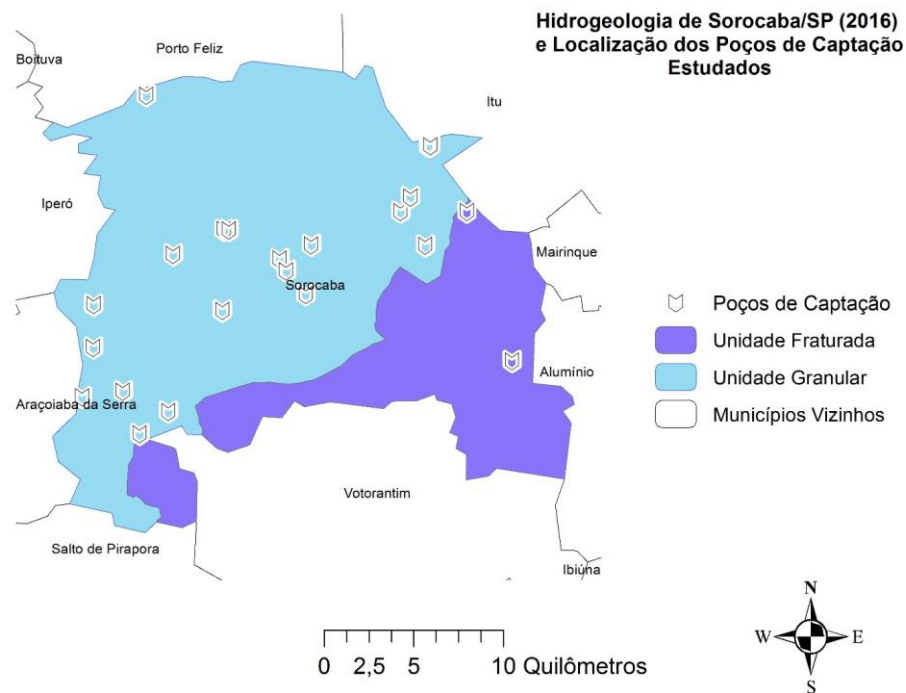


Figura 1 - Distribuição geográfica dos poços estudados e aspecto hidrogeológico em Sorocaba/SP (CPRM, 2014).

De Iritani e Ezaki (2010) foram retirados dados gerais sobre os aquíferos granular e fraturado, como porosidade efetiva, espessura saturada, condutividade hidráulica e gradiente hidráulico. Os dois métodos descritos a seguir seguem a orientação de Iritani e Ezaki (2010) e determinam o perímetro de proteção tendo como referencial central o ponto de captura de água, desse modo cobrindo a chamada Zona de Contribuição.

### Método do Raio Fixo Calculado

Consistiu na determinação de um raio com o ponto de captação sendo seu centro, que indica uma seção cilíndrica do aquífero. Partiu-se de uma equação volumétrica, que pode utilizar o tempo de propagação do poluente até à captação ou o rebaixamento do nível piezométrico. Os parâmetros utilizados são a vazão de captação de água, a espessura saturada, a porosidade efetiva. O raio fixo foi calculado pela equação 1, a seguir.

$$r = \sqrt{\frac{Q_t}{n_e b \pi}} \quad (1)$$

Sendo  $Q_t$  a vazão de captação ( $m^3/dia$ ),  $n_e$  a porosidade efetiva e  $b$  a espessura saturada do aquífero (m).

### Método Wyssling

Determinou a distância de proteção que diferencia a montante da jusante do ponto de captação, cobrindo a zona de contribuição do aquífero, onde se observa um rebaixamento do nível da água causado pelo bombeamento do poço. Utilizou como parâmetros a porosidade, condutividade hidráulica e gradiente hidráulico. Calculou-se primeiro a largura da zona de captação ( $B$ ) pela equação 2:

$$B = \frac{Q_t}{Kbi} \quad (2)$$

Sendo  $K$  a condutividade hidráulica (m/dia) e  $i$  o gradiente hidráulico. O raio de chamada (distância da captação ao ponto neutro a jusante,  $X_0$ ) foi calculado pela equação 3:

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi Kbi} \quad (3)$$

E a largura da zona de captação na altura do poço ( $B'$ ), em metros, pela equação 4:

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{Kbi} \quad (4)$$

Calculou-se a velocidade real ( $V_e$ ), em m/dia, pela equação 5:

$$V_e = \frac{Ki}{n_e} \quad (5)$$

Já a distância linear ( $L$ ), em metros, correspondente ao tempo de trânsito  $t$  foi calculada pela equação 6:

$$L = V_e t \quad (6)$$

O tempo de trânsito pode ser interpretado como o tempo que uma partícula levaria para alcançar o ponto de captação após entrar no cilindro de proteção do poço, ou seja, é o tempo necessário para minimizar a concentração de algum agente poluidor. Assim, determinou-se pelas equações 7 e 8, respectivamente, as distâncias, em metros, à montante e jusante da captação:

$$S_0 = \frac{L + \sqrt{L(L + 8X_0)}}{2} \quad (7)$$

$$S_u = \frac{-L + \sqrt{L(L + 8X_0)}}{2} \quad (8)$$

Sendo  $S_0$  a distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo (a montante da captação) e  $S_u$  a distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo (a jusante da captação).

### **Análise Crítica**

A partir dos perímetros obtidos nos itens anteriores, foi analisada a correspondência entre os perímetros calculados, o uso do solo ao redor dos poços analisados por meio de imagens do satélite Landsat 8 e mapeamentos de uso do solo (MAPBIOMAS, 2017) e a capacidade da legislação vigente em proteger os recursos hídricos subterrâneos frente à métodos científicos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Da legislação do Estado de São Paulo destaca-se o Decreto nº 32.995 de 7 de fevereiro de 1991 (SÃO PAULO, 1991) que legisla acerca da manutenção e proteção da qualidade ambiental das águas subterrâneas. O decreto nº 32.995 reconheceu a importância e a necessidade de cuidado com as águas subterrâneas (art. 3º e também todo cap. II) e embasada nisso instaurou um perímetro de proteção de poço em seu artigo 20º, item III, onde estipulou o perímetro de proteção como uma das “áreas de proteção de poços e outras captações” (SÃO PAULO, 1991).

Também estabeleceu uma área de Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (com raio de 10 metros a partir do ponto de captação, devendo ser cercado e protegido com telas e interior resguardado da entrada ou penetração de poluentes) e um Perímetro de Alerta (área de proteção com tempo de transição de 50 dias destinada ao controle máximo das fontes poluidoras). Foi feito um diagnóstico preliminar do uso do solo em Sorocaba no ano de 2016 a partir dos dados disponibilizados por MapBiomias (2018), como exposto na figura 2.

A edição dos mapas foi realizada no software ArcGIS 10.4. Em macro escala, verificou-se que os poços estão localizados em áreas urbana ou áreas vegetadas (sem fins agrícolas ou de silvicultura). Os poços se concentraram em áreas de baixa declividade e as de maior declividade são vegetadas.

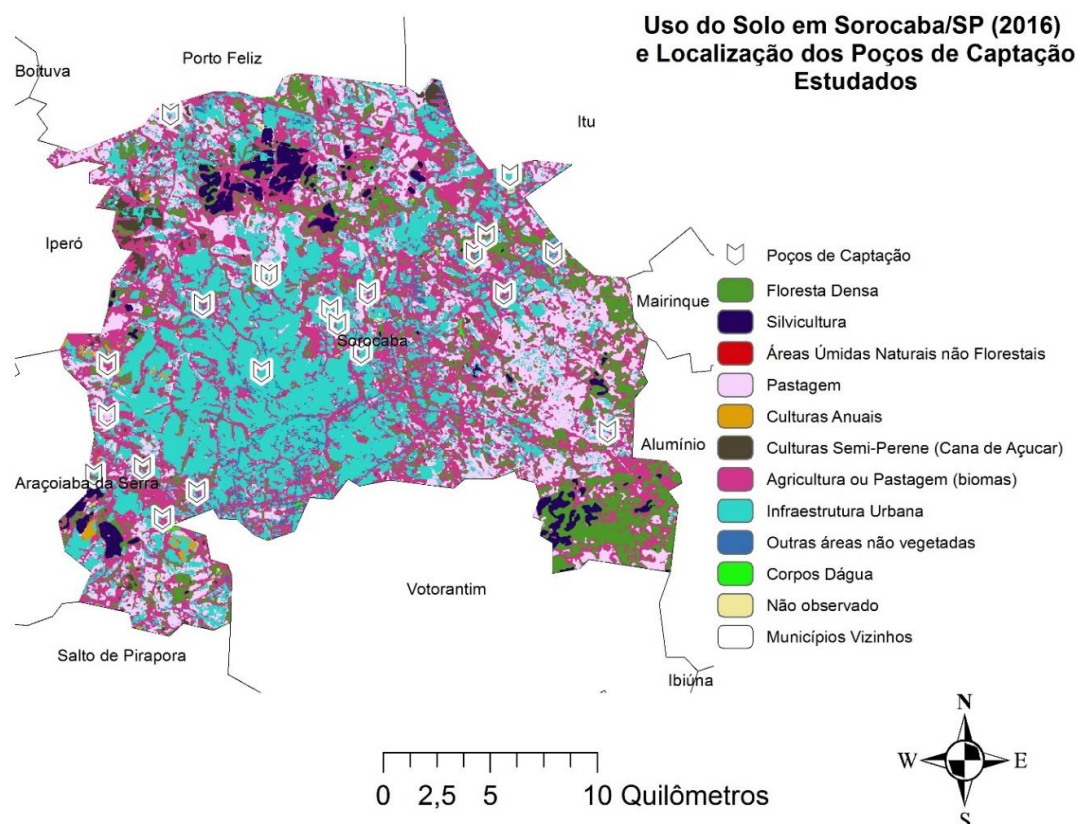


Figura 2 – Distribuição geográfica dos poços estudados e uso do solo em Sorocaba/SP (MAPBIOMAS, 2018).

A partir desse reconhecimento prévio foi realizada a análise de cada ponto por imagens do satélite Landsat 8, com resolução de 30 metros, que foram adaptadas para resolução de 15 metros a partir da banda pancromática, o que possibilitou verificar qual o uso do solo na área dos raios de proteção dos poços calculados pelos métodos de Wyssling e RFC. A seguir são apresentadas essas análises, na tabela 1.

Tabela 1 – Perímetros de proteção pelo Raio Fixo Calculado (RFC) e Wyssling junto ao diagnóstico do uso do solo

Poço	Lat	Long	RFC (m)	Wyssling (m)		Diagnóstico do Uso do Solo
				montante	jusante	
5	-23.47	-47.47	11.4	14.8	8.8	Área reflorestada em condomínio, possível contaminação por esgoto doméstico.

<b>11</b>	-23.45	-47.45	5.4	9.2	3.2	Poço em região de condomínio, alto grau de impermeabilização do solo, área de conservação mínima próxima.
<b>22</b>	-23.47	-47.54	7.0	10.6	4.6	Local reflorestado. Poço serve a uma indústria. Região a montante do poço é pavimentada, a jusante é vegetada.
<b>25</b>	-23.44	-47.50	7.4	11.0	5.0	Área impermeabilizada pela rua. Está dentro do SAAE. Próximo a empresas de construção civil e loteamentos.
<b>29</b>	-23.42	-47.39	5.7	9.5	3.5	Poço próximo ao Rio Pirajibú-Mirim e a uma mineração de areia e cascalho. Área vegetada.
<b>30</b>	-23.39	-47.37	9.2	12.6	6.6	Poço interno a um fragmento florestal rodeado por moradias. Possível região de compensação ambiental.
<b>48</b>	-23.4	-47.47	11.4	14.8	8.8	Área de reflorestamento rodeado de moradias. Posto de combustíveis próximo e potencialmente perigoso.
<b>68</b>	-23.39	-47.37	11.7	15.1	9.1	Área impermeabilizada pela rua. Próximo a fragmento florestal e a condomínio.
<b>69</b>	-23.44	-47.37	11.0	14.4	8.4	Local reflorestado. Poço serve a uma indústria. Região a montante do poço é vegetada e a jusante é pavimentada.
<b>70</b>	-23.44	-47.43	12.9	16.2	10.2	Local reflorestado. Poço serve a uma indústria. Há um posto de combustíveis a montante e a uma área degradada a jusante do poço.
<b>73</b>	-23.41	-47.38	13.6	16.9	10.9	Local vegetado e reflorestado em boas condições. Poço serve a uma indústria. Próximo a um lago.
<b>75</b>	-23.43	-47.47	6.1	9.8	3.8	Área impermeabilizada pela rua. Completa impermeabilização do solo, sem área vegetada próxima.
<b>81</b>	-23.46	-47.43	8.9	12.4	6.4	Área impermeabilizada pela rua. Próximo a fragmento florestal, rio e a condomínio.
<b>83</b>	-23.42	-47.35	13.9	17.2	11.2	Local reflorestado com pequenas áreas degradadas (com solo exposto). Poço serve a uma indústria.

<b>84</b>	-23.45	-47.44	12.5	15.9	9.9	Próximo a área degradada com solo exposto. Vegetação esparsa. Poço serve a uma indústria.
<b>103</b>	-23.50	-47.33	13.6	16.9	10.9	Área reflorestada em condomínio, possível contaminação por esgoto doméstico.
<b>118</b>	-23.51	-47.55	13.9	17.2	11.2	Local vegetado e reflorestado em boas condições. Poço serve a uma indústria. Próximo a um lago.
<b>120</b>	-23.49	-47.54	15.3	18.6	12.6	Local vegetado e reflorestado em boas condições.
<b>121</b>	-23.51	-47.52	15.3	18.6	12.6	Local reflorestado com grandes áreas degradadas (com solo exposto) a jusante do poço.
<b>122</b>	-23.53	-47.52	13.4	16.8	10.8	Local vegetado e reflorestado em boas condições.
<b>125</b>	-23.52	-47.50	8.1	11.6	5.6	Poço em região de condomínio, alto grau de impermeabilização do solo, área de conservação mínima próxima.
<b>126</b>	-23.36	-47.51	6.4	10.0	4.0	Local vegetado e reflorestado em boas condições.

Pode-se destacar que o perímetro genérico de 10 metros não satisfaz em sua grande maioria a necessidade de proteção dos poços. A maioria dos poços analisados excedeu o máximo estipulado por lei em ambos os métodos, indicando que ao se considerar as particularidades hidrogeológicas dos poços, o perímetro genérico mostrou-se incapaz de abarcar o risco de contaminação e perda de qualidade ambiental. Em muitos poços, o uso do solo, tanto dentro da zona de proteção, como próximas ao limite do perímetro, apresentam risco à qualidade ambiental da captação de água. Nos pontos 11, 25, 68, 75, 81 e 125, por exemplo, houve a impermeabilização maciça dos seus arredores pela urbanização (RIBEIRO et al, 2012), causando danos no processo de recarga do aquífero (TUBAU et al, 2017). A existência de áreas degradadas, de solo exposto, como nos poços 70, 83, 84 e 121, é uma evidência de impactos no processo de infiltração (FREITAS et al, 2013; MEDEIROS et al, 2016).

Constatou-se a existência de um posto de combustíveis próximo ao poço 46, que é uma das principais preocupações dos órgãos ambientais no que diz respeito à ocorrência de contaminação de aquíferos (TUBAU et al, 2017). Esse decreto é claro a respeito da necessidade da implantação de



proteção aos poços de captação e fixa perímetros específicos, porém não faz alusão a nenhum método de cálculo que considere as particularidades hidrogeológicas de cada poço. Faz-se assim necessário o estudo de metodologias que tornem os perímetros mais adequados à cada caso.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos estudados geraram perímetros de proteção pequenos, já que as vazões captadas analisadas eram baixas. Seriam de fácil cumprimento se fossem exigidas em um plano de gestão de águas subterrâneas. O uso do solo em seus arredores indicaram impactos negativos na qualidade ambiental do aquífero, projetando impactos como a compactação do solo e risco de contaminação pela proximidade à postos de combustíveis. Esses resultados mostraram que o perímetro genérico de proteção de aquíferos definido pelo Decreto Estadual nº 32.955/1991 (SÃO PAULO, 1991) não se adequou aos aquífero Tubarão, em Sorocaba, SP, por não considerarem os parâmetros hidrogeológicos de cada caso, sendo mais necessário analisar a necessidade particular de proteção de cada poço.

## REFERÊNCIAS

- BEGHELLI, F., CARVALHO, M.E.K., PECHE FILHO, A., MACHADO, F.H. *Uso do índice de estado trófico e análise rápida da comunidade de macroinvertebrados como indicadores da qualidade ambiental das águas na Bacia do Rio Jundiá-Mirim – SP – BR*. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, v. 19, n. 1, pp. 13-22, 2015.
- COELHO, S. C., DUARTE, A. N, AMARAL, L. S., DOS SANTOS, P. M., SALLES, M. J., DOS SANTOS, J. A. A., SOTERO-MARTINS, A. *Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil*. Revista Ambiente & Água, vol. 12, n.1, pp. 156-167, 2017
- FOSTER, S.; HIRATA, R; ANDREO, B. *The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?* Hydrogeology Journal, p. 737-750, 2013.
- FREIRE, P.A.C., TRANNIN, I.C.B., SIMÕES, S. J. C. *Bombeamento e tratamento da fase livre em Aquífero Litorâneo*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 19, n.4, 2014..

- FREITAS, E.P., MORAES, J.F.L., PECHE FILHO, A., STORINO, M. *Environmental indicators for areas of permanent preservation*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 4, pp. 443-449, 2013
- IRITANI, M. A.; EZAKI, S. *Roteiro Orientativo para Delimitação de Área de Proteção de Poço*. Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos. São Paulo, Instituto Geológico, n. 2, 2010. 60p.
- LI, Z., CHEN, X., LIU, W., SI, B. *Determination of groundwater recharge mechanism in the deep loessial unsaturated zone by environmental tracers*. Science of The Total Environment, vol. 586, pp. 827-835, 2017
- MAPBIOMAS. *Coleções MapBiomás*. Disponível em < [http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collection](http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection)>. Acesso em 7 jun. 2017.
- MEDEIROS, G. A., MARQUES, B. V., FENGLER, F. H., MACHADO, F. H., MORAES, J. F. L., PECHE FILHO, A., LONGO, R. M., RIBEIRO, A. I. *Environmental assessment using landscape analysis methodology: the case of the Jundiá Mirim river basin, Southeast Brazil*. WIT Transactions on Ecology and The Environment, v. 203, p. 25-36, 2016.
- RIBEIRO, A.I., PECHE FILHO, A., MEDEIROS, G.A., LONGO, R.M., STORINO, M., FENGLER, F.H., KELLER, E.M.L., RAPP, J.Z., FREITAS, E.P. *Environmental diagnosis in areas with different use and occupation using the perception of diverse biological activity*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 162, pp. 129-136, 2012.
- RODRIGUES, V. R. *Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Sorocaba-SP: Uma Contribuição*. 2004, 131 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2004.
- SÃO PAULO. *Decreto Estadual nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991. Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988*. São Paulo, 1991.
- TUBAU, I., VÁZQUEZ-SUÑÉ, E., CARRERA, J., VALHONDO, C., CRIOLLO, R. *Quantification of groundwater recharge in urban environments*. Science of The Total Environment, vol. 586, pp. 827-835, 2017.