Conflict between urban expansion and the use of groundwater

Jefferson N. de Oliveira ^{*}, João M. M. Bega ^{**}, Arthur B. Andreetta ^{***}, Eduarda N. Tokuda ^{**}

^{*}Professor Doutor, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. E-mail: jefferson.nascimento@unesp.br (autor correspondente)

^{**}Mestrando em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

^{***}Mestrando em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

Received 21 August 2019; accepted 31 October 2019

Abstract

The groundwater matrix represents about 70% of the abstraction to supply the water supply system in the municipality of São José do Rio Preto. Studies carried out in 2002 showed a decay rate of the potentiometric surface of the Bauru aquifer equal to 0.15 m/year. For 2012, this value became 0.47 m/year. Reflections of this deterioration in groundwater levels are related to the growth of the urban network, linked to the increase of exploitation, and the climate changes observed over the last years. Given the above, this study aimed to evaluate the current scenario regarding the urbanization processes and the change in the rainfall regime, in order to clarify some questions regarding the city's aquifer systems. For this, the urban area was quantified and the wells were inserted in the ArcGis 10 software, with information taken from the SIAGAS database. High peripheral growth was found, where we chose to work with the region that presented the largest expansion. From the comparison between the years 2002 and 2019, the urban area of the municipality had an increase of 76%, and in the peripheral region studied, there was an increase of 697%. In 2014, rainfall reached very low levels, compared to previous years, to the detriment of the water crisis. In addition, rainfall has been decreasing over the years. Finally, the number of wells grants is increasing, while water availability has been decreasing. Thus, the system that is already in need may collapse in the very near future, compromising water supply in São José do Rio Preto. Keywords: UGRHI 15, groundwater, time series.

O conflito entre a expansão urbana e o uso da água subterrânea

Resumo

A matriz aquática subterrânea representa cerca de 70% da captação para suprir o sistema de abastecimento de água no município de São José do Rio Preto. Salienta-se que estudos realizados em 2002 mostraram uma taxa de decaimento da superfície potenciométrica do aquífero Bauru igual a 0,15 m/ano. Para 2012, esse valor passou a ser de 0,47 m/ano. Reflexos desta piora nos níveis freáticos estão relacionados com o crescimento da malha urbana, ligado ao aumento da exploração, e às mudanças climáticas verificadas ao longo dos últimos anos. Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar o cenário atual quanto aos processos de urbanização e a mudança no regime pluviométrico, de forma a elucidar algumas indagações no que se refere aos sistemas aquíferos da cidade. Para tanto, a área urbana foi quantificada e os poços foram inseridos no software ArcGis 10, com informações retiradas da base de dados do SIAGAS. Encontrou-se um elevado crescimento periférico, onde se optou por trabalhar com a região que apresentou a maior expansão. Da comparação entre os anos de 2002 e 2019, a área urbana do município teve um aumento de 76%, sendo que, na região periférica estudada, foi observado um acréscimo de 697%. No ano de 2014, as precipitações atingiram níveis muito baixos, confrontando com os anos anteriores, em detrimento da crise hídrica. Além do mais, as alturas pluviométricas vêm diminuindo ao longo dos anos. Por fim, o número de outorgas de poços vem aumentando, enquanto a disponibilidade hídrica tem diminuído. Assim, o sistema que já se encontra carente pode entrar em colapso em um futuro muito próximo, comprometendo a oferta de água em São José do Rio Preto.

Palavras-chave: UGRHI 15, aquífero freático, série temporal.

1. Introdução

O ser humano usa a água subterrânea desde os primórdios de sua existência, com a utilização das nascentes, que geraram os grandes rios, onde a humanidade floresceu. Remonta de priscas eras o uso do manancial subterrâneo pelo homem, para os diversos fins da vida cotidiana. A água subterrânea corresponde à cerca de 97% de toda a água doce disponível no planeta, sendo de grande complexidade estimar acertadamente seu real volume, em vista da não uniformidade da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos e das características hidrogeológicas dos aquíferos (ANA, 2018).

Nos últimos anos, a visão de que se deve apenas explorar tal recurso, sem observar suas interações com o meio ambiente, vem sendo questionada por diversos pesquisadores, tal como foi apresentado no trabalho de Rohde et al. (2017), no qual salienta-se que diversos ecossistemas necessitam, para sua sobrevivência, da manutenção de níveis estáticos em situações de conformidade para a permanência da vida no meio.

Xia et al. (2019) avaliaram a redução da superfície piezométrica na Bacia do Tarim na China, verificando que houve um deplecionamento dos níveis a uma taxa linear de 73,96 cm por ano, no período compreendido entre 2002 e 2014. Isto foi justificado como resultado de um bombeamento excessivo para áreas de irrigação.

A problemática dos recursos hídricos subterrâneos se expande paulatinamente ao longo dos anos, concomitantemente com a multiplicidade dos usos da água. Ainda que tal fato esteja atrelado ao desenvolvimento da malha urbana e o síncrono acréscimo da demanda de água e dos efluentes gerados, verifica-se que se trata de mais um reflexo decorrente da grande capacidade hídrica dos mananciais e da longa taxa de resposta de grande parte dos sistemas aquíferos.

Nos estágios iniciais do desenvolvimento urbano, as águas subterrâneas são, geralmente, retiradas de poços perfurados nos aquíferos mais superficiais (aquíferos livres) dentro do núcleo urbano formado. À medida que as cidades se desenvolvem e as populações se avolumam, muitas vezes de forma desordenada (United Nations, 2015), isto pode suscitar duas consequências imediatas: (a) rebaixamento geral do nível estático, comumente com efeitos colaterais significativamente irreversíveis; e (b) lançamento indiscriminado de efluentes domésticos e oriundos de indústrias, além de resíduos sólidos descartados diretamente no solo, causando assim uma

contaminação generalizada de águas subterrâneas pouco profundas.

A crescente preocupação dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos no estado de São Paulo, compreende a preservação e o uso racional da água subterrânea, primordialmente no que se refere às áreas de recargas dos aquíferos. Mesmo dispondo de leis e decretos que visam a proteção e recuperação destas áreas, como a Lei 7663/91, que estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos, e o Decreto 3255/91, referente à proteção dos depósitos naturais de água subterrânea, a recarga do aquífero Bauru, que abastece a cidade de São José do Rio Preto, encontra-se comprometida, em decorrência da crescente impermeabilização e da exploração abusiva das águas subterrâneas, devido ao aumento da malha urbana e ao desenvolvimento industrial.

A capacidade hídrica e a manutenção dos níveis estáticos do Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto, bem como a produtividade dos poços, vêm sofrendo significativos decréscimos em função da crescente exploração do manancial (Lourencetti, 2013). Até junho de 2019, de acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, a cidade de São José do Rio Preto possuía 939 poços tubulares, dos quais foram analisados e selecionados os poços de interesse para a presente pesquisa.

No início do século XXI, Oliveira (2002) constatou um rebaixamento do nível potenciométrico do Aquífero Bauru, na área central da cidade de São José do Rio Preto, o qual compreendia uma área de 227 km². Posteriormente, Lourencetti (2013) predisse que, caso a captação de água não fosse restrita em ao menos um terço do volume extraído, neste intervalo de tempo, devido ao contínuo rebaixamento do nível potenciométrico, o município sofreria um grande risco de esgotamento do aquífero.

Isto posto, objetivou-se neste trabalho verificar a situação atual da exploração de água subterrânea na cidade de São José do Rio Preto, com base nos dados disponibilizados pelo SIAGAS, dentro de um escopo de mudanças climáticas e territorial verificadas nos últimos anos. Para tanto, escolheu-se uma região que apresentou um crescimento periférico expressivo desde os trabalhos de Oliveira (2002) e Lourencetti (2013).

2. Material e métodos

O município de São José do Rio Preto (Figura 1) se encontra inserido na região noroeste do estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 20°49'11"S e 49°22'26"W, com uma altitude média de

489 m. O seu território conta com uma área total de 431.944 km², dos quais, atualmente, 119.48 km² pertencem ao perímetro urbano. De acordo com

projeções realizadas pelo IBGE, estima-se que a população para o ano de 2019 nesta cidade seja de 447.924 habitantes (IBGE, 2012).

Figura 1 – Município de São Jose do Rio Preto – SP.

Predominantemente, o tipo de solo encontrado na cidade de São José do Rio Preto é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo (A) moderado, de textura arenosa média/fraca (Oliveira, 2002). Seguindo a classificação proposta por Köppen, o clima da região divide-se entre subtropical úmido (Cwa) e tropical úmido com inverno seco (Aw) (Alvares et al., 2013). No tocante das temperaturas ao longo do ano, as máximas e mínimas apresentam uma diferença significativa, o que sugere temperaturas altas e baixas distantes do valor médio, correspondendo a 23,5 °C.

Em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos, São José do Rio Preto situa-se na sub-bacia do Rio Preto (Figura 2), que, por sua vez, faz parte da bacia hidrográfica do Turvo Grande (BTG), definida, dentro de um sistema de controle, como Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 – UGRHI-15 (CPTI, 2012). A BTG tem um território de 15.975 km², correspondente, dentre as UGRHI do estado de São Paulo, à quarta maior área de drenagem. Já a sub-bacia do Rio Preto apresenta a

maior área, quando comparada com as 12 sub-bacias que compõem a BTG, tendo 2.867 km² (REGEA, 2016).

A malha urbana da cidade localiza-se sobre rochas do Grupo Bauru (K). Na superfície, ocorre apenas a formação Adamantina e, em profundidade, a formação Santo Anastácio. Barcha (1980) comenta que este grupo se constitui pelas formações Araçatuba, Marília, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, Uberaba e Vale do Rio do Peixe. Neste contexto, fazem parte da formação São José do Rio Preto encadeamentos de bancos arenosos com estratificação cruzada acanalada a tabular tangencial na base, intercalações subordinadas tabulares de arenitos e siltitos, com estratificação plano-paralela e estruturas de fluxo aquoso, além de lamitos argilosos, em geral maciços (Oliveira, 2002). Os arenitos apresentam coloração de marrom-claro a bege, de granulação fina a muito fina, moderado a mal seccionados, com seixos silicosos, de nódulos carbonáticos, de lamitos a argilitos (IPT, 2000).

Figura 2 – Sub-bacias na área da UGRHI 15 (CPTI, 2012).

Um parâmetro meteorológico de muita importância para a elaboração deste estudo é a precipitação, em virtude do auxílio na identificação de fenômenos característicos, além da influência na dinâmica de erosão do solo superficial e, posteriormente, assoreamento dos cursos d'água. Ademais, a água precipitada caracteriza-se como uma fonte primordial de recarga dos mananciais

subterrâneos, influenciando na exploração. Assim sendo, dados de chuvas foram levantados, de forma a obter-se um histograma que apresenta a média mensal da chuva acumulada nos meses do ano, levando em conta uma série de dados entre os anos de 1982 e 2016 (Figura 3). Como pode ser observado na Figura 3, o período de estiagem corresponde ao intervalo entre abril e setembro.

Figura 3 – Histograma das precipitações médias mensais totais para o município de São José do Rio Preto entre os anos de 1982 e 2016 com base nos dados do CLIMATE (2019).

Segundo Francisco (2011), a partir da década de 80, os incentivos por parte do governo para a indústria e agroindústria contribuíram para uma grande diversificação nos setores financeiros, contábeis, jurídicos e educacionais. Os investimentos alocados para o desenvolvimento do município de São José do Rio Preto, com enfoque aos subsídios destinados à habitação popular e a infraestrutura, fizeram com que a cidade tivesse um crescimento populacional referente à 4,05%, com grande aceleração do processo de verticalização da área central e ampliação da periferia.

O crescimento suburbano caracterizou uma quebra no desenvolvimento horizontal do município, dado em função da dissipação de loteamento, em especial os ilegais e clandestinos, que surgiram entre o período de 1980 e 2000, conforme apresentado na Figura 4.

As exigências legislativas com relação à abertura de novos loteamentos urbanos e rurais, associadas à inexistência da fiscalização, contribuíram

para a evolução ilegal da urbanização, totalizando cerca de 16.79 km² de área ilegal, o que corresponde à 36% da área total de São José do Rio Preto (Francisco, 2011).

Apesar do planejamento urbano institucionalizado, a fragmentação do município é caracterizada por seu modo de produção e aproveitamento do espaço urbano, conformando uma significativa segregação sob a ótica sócio espacial (Vieira, 2005).

De maneira a avaliar espaço-temporalmente o comportamento da água subterrânea no município de São José do Rio Preto, foram levantados os dados referentes a todos os poços cadastrados no SIAGAS até o final do primeiro semestre de 2019. As informações foram separadas em planilhas no software Excel, conforme a necessidade de análise. A princípio, o registro de número de poços encontrado foi de 939, sendo que 518 unidades abrangiam toda a extensão do Aquífero Bauru.

Figura 4 - Evolução urbana de São José do Rio Preto entre os anos 1980 e 2000 (Francisco, 2011).

O crescimento territorial da malha urbana foi verificado para uma região periférica, assim como a implantação de novos poços entre os anos de 2002, 2012 e 2019. A seleção da área de estudo dentro da malha urbana de São José do Rio Preto ocorreu em detrimento de uma análise minuciosa em relação à expansão imobiliária dos bairros Estância Jockey Clube, Setsul, Estância Unutra (Zona Rural), Residencial Village Damha Rio Preto II, Parque Residencial da Fraternidade, Brejo Alegre, Parque Residencial Cambui, Vila Toninho, Parque Vila Nobre, Estância Santa Luzia, Estância Nossa Senhora de Fátima, Parque das Amoras II, Ideal Life Ecolazer Residence, Residencial Ana Cláudia, Jardim Schmitt, Buona Vita e Estância Bela Vista, pois observou-se que, em 2002, apenas uma parcela do bairro, hoje denominado de Estância Jockey Clube, existia.

Para determinar a proporção da expansão nestes bairros, identificados no intervalo multitemporal definido de 2002, 2012 e 2019, trabalhou-se com a análise de imagens provenientes do Google Earth, para cada período, no *software* ArcGis 10, afim de delimitar as áreas urbanas ocupadas. Para tanto, criou-se *layers* representativos correspondentes a cada polígono que

seria traçado, referente a cada um dos anos. E, então, a partir de uma análise visual da imagem do Google Earth, delimitou-se as áreas de ocupação. Com os polígonos demarcados, pôde-se calcular as respectivas áreas de cada malha urbana traçada, por meio do comando *calculate areas* do ArcGis 10, que então forneceu em sua tabela de atributos a área relativa a cada limite definido anteriormente.

3. Resultados e discussão

A evolução da implantação de poços no município de São José do Rio Preto, desde o ano de 1960 até 2019, associada com o crescimento populacional, pode ser analisada pela Figura 5. Observa-se que, nas duas últimas décadas, de 2000 a 2019, a cidade contou com a instalação de 219 novos poços, apresentado uma taxa de crescimento menor em relação às verificadas entre os anos anteriores, relacionando-se com o aumento populacional. Este fato pode estar associado também às novas legislações de uma gestão mais efetiva dos recursos hídricos subterrâneos, quando comparado à construção de poços até o ano de 2000, com um número igual a 720.

Figura 5 - Crescimento populacional *versus* Quantidade de poços.

Entre os anos de 1990 e 2000, a população no município passou de 283.761 habitantes, para 358.523. Data deste período um crescimento industrial e agrícola acelerado, em detrimento de incentivos governamentais, assim como o surgimento de loteamentos ilegais (Francisco, 2011), o que levou a uma expansão periurbana intensa. Embora a partir de 2000 os valores tenham diminuído significativamente,

ainda assim são expressivos em um sistema falho e debilitado, com uma exploração acima do que se pode retirar, que será abordado a posteriori.

A retirada de água para fins de abastecimento público se faz, preferencialmente, em mananciais superficiais, devido ao valor empregado no processo ser inferior, em sua maioria, à construção de um sistema de poços de captação subterrânea. Quando os

projetistas e gestores de concessionárias de abastecimento de água buscam as fontes subterrâneas, salvo casos específicos, a matriz superficial apresenta qualidade ruim ou o sistema está sendo muito solicitado e não suporta a nova demanda. Comenta-se, que já em 1960, mesmo com a população inferior a 100.000 habitantes, o sistema de abastecimento de São José do Rio Preto apresentava sinais de uma forte dependência do recurso subterrâneo, contando com 45 poços outorgados no SIAGAS, além dos clandestinos, comum àquela época.

O processo pelo qual ocorre a entrada de água nos aquíferos denomina-se recarga natural de águas subterrâneas (Fiorillo et al., 2015), tendo como fonte principal a precipitação, sendo regulada por fatores físicos e climáticos: arcabouço geológico, tipo de solo, cobertura vegetal, relevo e evapotranspiração (Carrera-Hernández et al., 2012). O aumento desordenado da parcela de área urbana, atrelado ao crescimento populacional, aporta inúmeros problemas e conflitos de interesse na gestão desse recurso natural, com influência direta no potencial hídrico subterrâneo, relacionado com a impermeabilidade da cobertura em áreas de recarga do aquífero, assim como a diminuição da reserva, em razão do alto grau de exploração para suprir a necessidade do acréscimo populacional, o que leva a uma diminuição drástica da recarga plurianual.

Entende-se que é de domínio público que a expansão das cidades brasileiras, em sua grande parte, foi marcada por uma degradação dos recursos aquáticos naturais (Seto et al., 2012; Cumming et al., 2014; McDonnell e Macgregor-Fors, 2016). Neste contexto, Tam e Nga (2018), em um trabalho feito no Hanoi, Vietnã, verificaram um decréscimo no nível das águas subterrâneas, tendo como causa a exploração em excesso e, em menor intensidade, as mudanças na cobertura vegetal.

Ademais, outro fator relevante está vinculado com a qualidade da água, que pela existência de lançamento e depósito de resíduos nas superfícies dos terrenos, pode ocorrer a sua poluição, prejudicando a sua utilização para um determinado uso requerido. Por este motivo e pelos supracitados, o gerenciamento da retirada e posterior utilização da água subterrânea, assim como um plano das áreas que podem ser ocupadas e as atividades nelas desenvolvidas, conferem uma segurança no fornecimento deste recurso. De acordo com Lourencetti (2013), algumas medidas podem ser tomadas para auxiliar na manutenção desses sistemas de aquíferos, sendo elas: restrições de

captação em locais críticos e implantação de áreas verdes em novos loteamentos.

Além da matriz subterrânea, a superficial também é afetada pelas mudanças no uso e ocupação do solo. Zambrano et al. (2017) inferiram que a má qualidade da água encontrada em um córrego urbano de uma cidade de médio porte, relacionava-se à cobertura vegetal e à possível existência de ligações clandestinas. Cenário parecido foi encontrado no Córrego da Onça, inserido em uma microbacia hidrográfica altamente urbanizada, na qual Souza et al. (2018) apresentaram como responsáveis pelo estado de deterioração deste curso d'água, na parte a céu aberto, as ligações clandestinas de esgoto doméstico, o assoreamento de parte do canal e, por fim, o lançamento de águas pluviais. As águas superficiais e subterrâneas se conectam, ora uma fornece vazão para a outra, outrora o fluxo é invertido, a depender das superfícies potenciométricas. Daí a importância de conservação de ambos os ecossistemas.

As principais fontes de captação de manancial superficial em São José do Rio Preto são as represas apresentadas na Figura 6. Como pode ser observado, houve uma melhora nos serviços prestados por elas com o passar dos anos, as quais se encontram em situações mais favoráveis de operação em 2019, quando comparadas ao ano de 2002. Neste, verifica-se nitidamente o efeito da eutrofização no reservatório de águas lânticas, uma vez que devido ao processo erosivo no entorno das represas, os solos susceptíveis ao fenômeno, em razão da retirada de cobertura vegetal e pela inexistência de proteção ao redor dos reservatórios, acabam se depositando no seu leito. Assim sendo, pela redução de profundidade do corpo hídrico, as algas tendem a atingir regiões superficiais, o que leva ao cenário encontrado.

Um fator condicionante para a ocorrência deste estado trófico diz respeito também, além dos comentados anteriormente, a introdução de nutrientes na matriz aquática, seja por meio do carreamento de resíduos agrícolas, ricos em nitrogênio e fósforo, ou pelo lançamento de efluentes domésticos. Ainda sobre a Figura 6a, constata-se a existência de concentrações mais elevadas de algas a jusante da represa 2, com um forte depósito de sedimentos no ponto mais baixo topograficamente, o que diminui a seção do canal, principalmente, naquela localidade. Observa-se ainda, a tendência de assoreamento dos solos erodidos na borda do corpo hídrico receptor, uma vez que a velocidade nessas áreas é menor em relação às regiões centrais.

Figura 6 - Represas 1, esquerda, e 2, direita, em (a) outubro de 2002 e (b) janeiro de 2019.

Já a Figura 6b mostra uma maior área útil das represas, devido aos serviços de dragagem realizados no ano de 2009, com reflexos ainda em 2019, visto que se trata de um processo lento. A implantação das represas data da década de 1950.

Em razão do crescimento populacional, atrelado à malha urbana, a fonte de água subterrânea passou a ser a principal fornecedora de água para o abastecimento no município de São José do Rio Preto, apresentando 939 poços no ano de 2019. As represas são responsáveis por aproximadamente 30% do volume de água consumido. Justifica-se aqui a importância de seu estudo e execução de medidas que as deixem em um estado satisfatório de funcionalidade.

Por meio da análise do histograma de precipitações totais mensais (Figura 3), encontra-se que o mês de janeiro corresponde ao mais chuvoso, apresentado 235 mm acumulado. Percebe-se a influência da alta taxa pluviométrica na coloração da água no corpo hídrico, uma vez que esse volume precipitado carrega parte do solo exposto superficialmente e é responsável pela lavagem do solo a nível subsuperficial e subterrâneo. Para o ano de 2002, o mês de outubro demonstra um valor bem próximo da precipitação média anual, 105 mm, o que acaba conferindo ao fluido uma cor menos turva

comparada a períodos de alta pluviosidade, por questões supracitadas.

De acordo com dados publicados pelo DAAE, para o município de São José do Rio Preto, no ano de 2015, a vazão da captação superficial para abastecimento público de água na cidade correspondia a 0,51 m³/s. Em relação à captação subterrânea, a vazão demandada encontrava-se na ordem de 1,20 m³/s (REGEA, 2016). Diante do exposto, verifica-se que aproximadamente 70% do volume necessário para suprir as exigências de uso dos consumidores eram provenientes de sistemas aquíferos.

Oliveira (2002) estudou, em São José do Rio Preto, o comportamento do Aquífero Bauru. O modelo utilizado contava com os fatores de exploração de água, recarga e descarga do aquífero. Para o ano de 2002, ele encontrou uma taxa de rebaixamento de 0,15 m/ano no nível potenciométrico do manancial. Comenta-se que, com o surgimento de novos aglomerados urbanos, este índice tende a aumentar. Lourencetti (2013) atualizou o trabalho realizado por Oliveira (2002), onde obteve que a taxa de rebaixamento ampliou com o surgimento de novos poços e a expansão da malha urbana, com o valor levantado de 0,47 m/ano, com dados até o ano de 2012. Vale salientar que a vazão explorada passou de

19.922 m³/d, no ano de 2002, para 103.680 m³/d, em 2015.

Ao considerar toda a captação subterrânea na sub-bacia Rio Preto, inserida na UGRHI 15, constata-se que somente São José do Rio Preto responde por 83% do volume consumido, dentre todos os municípios

pertencentes a esta sub-bacia. Da comparação com as outras 11 sub-bacias, a do Rio Preto caracteriza-se por uma predominância no quesito de exploração de mananciais subterrâneos, responsável por 49% de toda a demanda, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Captações subterrâneas para abastecimento público na UGRHI 15 (REGEA, 2016).

No escopo da oferta hídrica, a disponibilidade *per capita* da população total em São José do Rio Preto corresponde a 244,8 m³/hab/ano, valor bem inferior quando confrontado ao encontrado para o Estado de São Paulo, 2.979,2 m³/hab/ano, e até mesmo para a própria UGRHI 15, 2.286,5 m³/hab/ano. No que tange à disponibilidade *per capita* de água subterrânea, os valores são de 268,0 m³/hab/ano para o Estado de São Paulo, 320,0 m³/hab/ano para a UGRHI 15, e 26,0 m³/hab/ano referente à cidade objeto de análise (REGEA, 2016).

Da checagem da evolução de toda a malha urbana entre os anos de 2002, 2012 e 2019, obteve-se

uma região que apresentou um elevado crescimento, sendo esta de destaque para as discussões deste estudo. Conforme pode ser observado na Figura 8, com os dados apresentados na Tabela 1, tem-se a dinâmica da implantação dos poços entre os anos comentados na região periférica de interesse, como também a expansão da urbanização. Ressalta-se que até o ano de 1960, nenhum poço havia sido implantado nesta área, o que está de acordo com o desenvolvimento da parcela urbana, sendo uma porção do município ainda não explorada até então. A partir deste ano, poços foram surgindo e atingiram em 2019, o número de 47 de um total de 939 para todo o município, correspondendo a 5%.

Tabela 1 - Expansão da malha urbana e aumento do número de poços entre os anos de 2002, 2012 e 2019 para a região de interesse.

Ano	Área total (km ²)	Área acrescida (m ²)	Total de poços	Poços acrescidos
2002	2,08	-	6	-
2012	4,75	2,68	37	31
2019	17,17	14,50	47	10

Comparativo entre os períodos analisados

Legenda

● Poços 2002 ● Poços 2012 ● Poços 2019

Área Urbana 2002 Área Urbana 2012 Área Urbana 2019

Figura 8 - Evolução da malha urbana e do número dos poços entre os anos de 2002, 2012 e 2019.

Assim, de acordo com a Tabela 2, observa-se que o município de São José do Rio Preto possuía em

2002, uma área urbana de aproximadamente 73,87 km², em 2012, essa área passou para 91,11 km², ou seja, um

crescimento de 23% e, em 2019, a malha urbana ocupa cerca de 129,85 km². Logo, 43% a mais que em 2012, e um acréscimo de 76% quando comparado com o ano de 2002. Já para os bairros identificados, onde a expansão foi mais significativa visualmente, a área urbana de 2002 representava um valor de 2,08 km² e,

em 2012, a área ocupada era de 4,75 km², portanto, um crescimento de 129%. Em 2019, a área abrange 17,17 km², isto é, uma área cerca de 5,5 vezes maior que em 2012 e aproximadamente 7 vezes maior que em 2002, o que comprova a análise visual, sendo a região do município com o maior crescimento identificado.

Tabela 2 - Expansão da malha urbana em São Jose do Rio Preto entre os anos de 2002, 2012 e 2019.

Ano	Área do município (km ²)	Crescimento
2002	73,87	-
2012	91,11	23%
2019	129,85	43%

Do ponto de vista quantitativo, o crescimento da malha urbana periférica não foi acompanhado pelo aumento no número de poços, sendo que, para o ano de 2012, verificou-se um acréscimo de 129% em área e 517% em poços perfurados. Resultado inverso expresso para o ano de 2019, com uma expansão periurbana de 542%, entretanto, com uma elevação percentual de poços igual a 32%. Isso se justifica pelo atraso no sistema de consulta, SIAGAS, que tem um intervalo de tempo para o cadastramento de novas informações. Pelo fato de a imagem ser recente, junho de 2019, os dados podem não ter acompanhado o crescimento periférico, embora de grande significância no entendimento da temática de exploração subterrânea no município de São José de Rio Preto.

Outra hipótese está relacionada com uma melhora da legislação voltada à conservação dos recursos subterrâneos, por meio de avaliações e verificações de falhas do sistema de abastecimento de água, já indicadas por Oliveira (2002). Por se tratar de uma região não pertencente a parcela central da cidade, e por ser uma área periférica, antes utilizada em atividades agrícolas, existe a chance de haver inúmeros poços não outorgados, sendo assim, clandestinos, agravando ainda mais a situação verificada.

Não é recente a preocupação com os mananciais subterrâneos em São José do Rio Preto, assim como a possível ocorrência de uma interrupção no sistema de abastecimento de água da cidade. Oliveira (2002) simulou o acontecimento de dois cenários futuros no município: um com a diminuição da precipitação e outro com o aumento da malha urbana. O autor apontou que caso um desses prognósticos acontecesse, haveria um colapso no

sistema da região central do município. Desta forma, uma avaliação sobre as mudanças climáticas, resultando em variações nas precipitações verificadas nos últimos anos, é relevante ao estudo. A Figura 9 apresenta valores de chuva encontrados para o período compreendido entre 2007 e 2014.

Em 2014, ocorreu a crise hídrica no Estado de São Paulo, o que levou a redução da oferta de água e níveis de seca preocupantes. Os reservatórios de acumulação passaram a operar em cotas críticas. Políticas de economia de água foram intensas durante esse período e a falta de água nas cidades de São Paulo foi um problema frequente na vida da população. Como pode ser observado na Figura 9, em 2014 a precipitação apresentou valores expressivamente menores, em ambos postos pluviométricos, quando confrontadas com os anos anteriores.

As mudanças climáticas averiguadas influenciam na recarga dos aquíferos, uma vez que quanto menor a precipitação, menor será o volume disponível para infiltração, com consequente redução do nível potenciométrico das camadas de água abaixo da superfície. Ainda neste contexto, existe o processo de mudança no uso e ocupação do solo, com aumento de áreas praticamente impermeáveis, como representado na Tabela 1 e 2, e demonstrado na Figura 8. Assim, o volume pluvial tende a escoar superficialmente em maior velocidade nestas coberturas, atingindo os cursos d'água superficiais receptores, que por sua vez apresentam um aumento de vazão instantânea, podendo causar inundações e colocar em risco a população ocupante das áreas de várzeas, em assentamentos clandestinos, cuja existência foi apontada por Francisco (2011).

Figura 9 - Pluviosidade total anual para dois postos pluviométricos localizados em São José do Rio Preto – SP (REGEA, 2016).

Complementa-se que as nascentes são fortemente influenciadas pela dinâmica da modificação na superfície do terreno, com consequência nas alterações de vazões. Em casos extremos, a redução do fluxo pode significar o desaparecimento da nascente, sua transformação em nascente temporária ou sua migração para jusante (Felippe e Magalhães Junior, 2012).

Os cenários propostos por Oliveira (2002) se concretizaram. Não houve a ocorrência de apenas uma

das situações, mas sim de ambas, o que provoca uma circunstância alarmante e de alto grau de complexidade, pois se trata de um sistema constituído, majoritariamente, pela matriz subterrânea, 70%. Com o intuito de avaliar a situação de forma mais apurada, a REGEA (2016) disponibilizou em seu relatório, dados que mostram a atual condição de concessão de direito ao uso do recurso subterrâneo e da disponibilidade *per capita*, apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Outorgas concedidas e disponibilidade hídrica *per capita* para o período de 2007 a 2015 em São José do Rio Preto.

Conforme representado, enquanto a disponibilidade do recurso hídrico para cada habitante vem diminuindo, um aumento no número de outorgas

concedidas vem sendo verificado, intensificando cada vez mais o consumo da água subterrânea. De 2013 a 2014, a taxa de crescimento encontrada foi de 15%,

com um acréscimo de 238,81 outorgas por 1.000 km². Decorrente da crise hídrica, de 2014 para o ano de 2015, o valor da taxa de crescimento foi menor, correspondendo a 3%, ou seja, um aumento de 48,69 outorgas por 1.000 km². Caso não ocorra uma mudança desse quadro, faltará, em um futuro muito próximo, água para a população de São José do Rio Preto.

4. Conclusões

Alguns estudos foram realizados no município de São José do Rio Preto, os quais, juntamente com este, comprovam a situação crítica encontrada no sistema de abastecimento de água, principalmente no tocante dos recursos subterrâneos. O nível estático do aquífero freático, com o passar do tempo, vem apresentado taxas de decaimento cada vez mais significativas. A expansão periurbana provoca a diminuição das áreas de recarga, e a mudança climática, verificada pela variação do regime de chuva, converge para um cenário de muitas incertezas quanto ao futuro da disponibilidade hídrica para os consumidores na cidade.

Ainda que embora a situação deva ser de conhecimento dos gestores municipais, o número de outorgas concedidas no município vem crescendo. Todavia, em um ritmo menor que o verificado antes de 2014, em virtude da crise hídrica. Isto posto, verifica-se a fragilidade do sistema, que não suporta a exploração excessiva, mas também depende do recurso. Outras alternativas devem ser levadas em conta, assim como um planejamento territorial, de forma a preservar os sistemas aquíferos quali-quantitativamente, principalmente em suas áreas de recarga.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's Climate

classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728.

ANA. Agência Nacional das Águas, 2018. Conjuntura Brasil 2018 – Recursos Hídricos. Brasília.

Barcha, S.F., 1980. Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da formação Bauru na região norte-ocidental do estado de São Paulo. Tese (Doutorado). São José do Rio Preto, UNESP.

Carrera-Hernández, J.J., Smerdonb, B.D., Mendoza, C.A., 2012. Estimating groundwater recharge through unsaturated flow modelling: Sensitivity to boundary conditions and vertical discretization. *Journal of Hydrology* 452–453, 90–101.

CLIMATE. Climate-Data.Org, 2019. Clima São José do Rio Preto. Disponível: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-4231/>. Acesso: 5 set. 2019.

CPTI. Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais, 2012. Fundamentos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos dos usuários urbanos e industriais. Disponível: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documentos/7406/fundamentacaocobranca_cbhtg-versao-final.pdf. Acesso: 5 set. 2019.

Cumming, G.S., Buerkert, A., Hoffmann, E.M., Schlecht, E., Taubadel, S.C., Tschardtke, T., 2014. Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. *Nature* 515, 50-57.

Felippe, M.F., Magalhães Junior, A.P., 2012. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte - MG. *Geografias* 8, 8-23.

Fiorillo, F., Pagnozzi, M., Ventafridda, G., 2015. A model to simulate recharge processes of karst massifs. *Hydrological Processes* 29, 2301–2314.

Francisco, A.M., 2011. Contribuição à história da urbanização de São José do Rio Preto-SP. *Tópos* 5, 119-142.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Censo demográfico 2010: resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2000. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Edusp, São Paulo.

Lourencetti, J., 2013. Avaliação espaço-temporal da disponibilidade hídrica subterrânea do Município de São José do Rio Preto. Dissertação (Mestrado). Ilha Solteira, UNESP.

- Mcdonnell, M., Macgregor-Fors, I., 2016. The ecological future of cities. *Science* 352, 936-938.
- Oliveira, J.N., 2002. Ferramental de gestão de águas subterrâneas para a cidade de São José do Rio Preto, SP. Tese (Doutorado). São Carlos, USP.
- REGEA. Geologia, Engenharia Ambiental e Estudos Ambientais, 2016. Elaboração dos planos de bacias da UGRHI 15. São Paulo.
- Rohde, M.M., Froend, R., Howard, J., 2017. A Global Synthesis of Managing Groundwater Dependent Ecosystems Under Sustainable Groundwater Policy. *Groundwater* 55, 293-301.
- Seto, K.C., Güneralp, B., Hutyra, L.R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109, 16083–16088.
- Souza, B.L., Frasson, F.S., Vieira, M.F., Jesus, S.C.S., Pinho, R.G., Silva, R.W.S., 2018. Estudo sobre o Córrego da Onça em Três Lagoas – MS e sua atual situação. *Conexão Eletrônica* 15, 570-581.
- Tam, V.T., Nga, T.T.V., 2018. Assessment of urbanization impact on groundwater resources in Hanoi, Vietnam. *Journal of Environmental Management* 227, 107-116.
- United Nations, 2015. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs. Population Division (Org.). Nova York.
- Vieira, A., 2005. O lugar de cada um: indicadores sociais de desigualdade interurbana. Dissertação (Mestrado). Presidente Prudente, UNESP.
- Xia, J., Wu, X., Zhan, C., Qiao, Y., Hong, S., Yang, P., Zou, L., 2019. Evaluating the dynamics of groundwater depletion for an arid land in the Tarim basin, China. *Water* 11.
- Zambrano, K.T., Poletto, C., Oliveira, J.N., 2017. A comparative analysis on water quality in an urban watershed. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 28, 566-578.