

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUÍSA VENUTO DE FREITAS

**AVALIAÇÃO DA RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO CAIUÁ PELO MÉTODO
DE VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA (VNA) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
PARANÁ (MS)**

PORTO ALEGRE
DEZEMBRO DE 2018

LUISA VENUTO DE FREITAS

**AVALIAÇÃO DA RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO CAIUÁ PELO MÉTODO
DE VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA (VNA) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
PARANÁ (MS)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre
Dezembro de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

de Freitas, Luisa Venuto
AVALIAÇÃO DA RECARGA DO SISTEMA AQUIFERO CAIUÁ PELO
MÉTODO DE VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA (VNA) NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO PARANÁ (MS) / Luisa Venuto de Freitas.
-- 2018.
52 f.
Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. VNA. 2. Recarga subterrânea. 3. Aquífero Caiuá.
I. Antonio Roehe Reginato, Pedro, orient. II. Título.

LUÍSA VENUTO DE FREITAS

**AVALIAÇÃO DA RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO CAIUÁ PELO MÉTODO
DE VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA (VNA) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
PARANÁ (MS)**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul a ser defendido em 11/12/2018 pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca examinadora:

.....

Alex Bortolon de Matos

.....

Alfonso Risso

.....

Pedro Antonio Roehe Reginato

Conceito: A

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal pela oportunidade de estudo de qualidade e ao CPRM pela cedência dos dados de nível e de precipitação.

Agradeço ao meu professor orientador Pedro Reginato, pelos ensinamentos, incentivo e incrível dedicação para elaboração desse trabalho. Sempre muito atencioso em me guiar na execução desse estudo, compartilhando conhecimento com compreensão e objetividade. Deixando-me sempre ciente das responsabilidades e desafios, direcionando minha energia e capacidade com disciplina e organização de forma a apoiar meu desenvolvimento e formação.

Também agradeço aos professores e professoras ao longo da faculdade que aumentaram minha motivação em seguir na área de Engenharia Ambiental contando todos os desafios e valores associados a esse curso. Em especial ao Prof. Ivo Schneider, presente na minha formação acadêmica desde o início do curso, sendo um excelente e atencioso orientador de bolsa de iniciação científica. Ao Prof. Anderson Ruhoff que esteve sempre à disposição para quaisquer dúvidas e constante apoio para o desenvolvimento do curso e dos alunos. Ao professor Fernando Fan, por estar sempre motivado para contribuir com o crescimento dos alunos de forma completa e ampla. E ao Prof. Gustavo Athayde, que se mostrou sempre disponível e interessado em compartilhar conhecimento. Por meio de sua orientação inicial, acarretou a ideia inicial desse trabalho.

Aos meus colegas de curso destaco aqui imensa gratidão por todo o apoio durante a faculdade, foram e são fundamentais para minha formação pessoal e profissional. Agradeço por todo o apoio e ajuda que me prestaram durante todos esses anos de faculdade, como amigos e como colegas nos mais diversos setores da minha vida.

Aos meus colegas de todas as engenharias que construí amizades sólidas que quero levar para toda a vida, que sempre acreditaram em mim e em meu potencial. Estiveram presentes nos estudos e nos momentos de descontração, tornando o ambiente de faculdade de intenso aprendizado, mas de forma extremamente leve e divertida.

E a minha família, por todo o amor e suporte sem medir esforços para tornar a conclusão desse curso possível. Sempre presentes apoiando minhas ações e decisões com muito carinho. Presenteando-me com o que tenho de mais precioso que é o exemplo constante de determinação, trabalho, dedicação e empenho. São e sempre serão minha maior fortaleza.

RESUMO

Os métodos para estimativa de recarga aquífera têm como objetivo quantificar a reserva renovável de um sistema aquífero, sendo muito importante para o estudo de exploração de água subterrânea de forma sustentável. Um dos métodos mais amplamente aplicados é o método de Variação dos Níveis de Água (VNA), método considerado por diversos autores como versátil, prático e eficiente para estimativa de recarga. Contudo, esse método apresenta várias limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados obtidos a partir de sua aplicação. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar as variações do nível de água subterrânea e estimar recarga por meio do método VNA e analisar a relação da recarga estimada com dados de precipitação nos locais dos poços. O local de estudo escolhido foi o Sistema Aquífero Caiuá, localizado na Bacia Hidrográfica do Paraná, no Mato Grosso do Sul. Para isso, foram estudados nove poços da rede RIMAS de monitoramento pertencente à CPRM, com os dados de chuva dos pluviômetros associados aos locais de cada poço. A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que há uma relação com os poços que possuem níveis de água mais rasos e mais profundos, bem como há uma relação com a geologia descrita no perfil dos poços. Também é possível observar a grande influência que falhas nos dados, tanto de precipitação quanto de nível de água, exercem sobre resultados. Os resultados e recarga do estudo variaram de 4.6 a 16.8 mm/mês com um valor médio, utilizando S_y no valor de 0.15, de 9.4 mm/mês. Os poços sem falhas nos dados foram os poços que mais tiveram seus resultados de percentual de recarga por precipitação próximos dos valores de recarga obtidos pelo método VNA. A média de percentual de recarga, para S_y igual a 0.15, resultou 9% de recarga por precipitação total. Dessa forma, o método apresentou resultados sobre a recarga e sua relação com a precipitação pluviométrica, podendo ser uma ferramenta de apoio à gestão de águas subterrâneas.

Palavras-chave: VNA, Recarga Subterrânea, Aquífero Caiuá.

ABSTRACT

The methods used to estimate the groundwater recharge have the purpose of quantify an aquifer system's renewable reserve, being very important to the study of groundwater exploitation in a sustainable way. One of the most widely applied methods is the Water-Table Fluctuation Method (WTF), which is considered by several authors to be versatile, practical and efficient to estimate the recharge. However, this method presents various limitations that must be considered when interpreting results obtained from its application. In this context, this study aims to evaluate the groundwater fluctuation and to estimate the recharge using the WTF Method and to analyze the relation between estimated recharge and precipitation data at the well sites. The site chosen was Caiuá Aquifer System, located in Paraná Hydrographic Basin, in Mato Grosso do Sul. For this purpose, nine wells of the RIMAS monitoring network belonging to CPRM were studied, with the rain gauges data associated with the location of each well. From the results obtained, it was possible to observe that there is a relation with the wells that have shallower and deeper water levels, as well as a relation with the geology described in the profile of the wells. It is also possible to observe the huge influence that data failures, both precipitation and water level, exert on results. The recharge values between the four flawless wells without flaws in the study data ranged from 4.6 to 16.8 mm / month with a mean value, using S_y 0.15, 9.4 mm / month. The wells without data failures had their percentage precipitation recharge results close to the recharge values obtained by the WTF Method. The mean recharge percentage, for S_y equal to 0.15, resulted in 9% recharge per total precipitation. Thus, the method presented results on recharge and its relationship with rainfall, and can be a tool to support groundwater management.

Keywords: *WTF, Groundwater recharge, Caiuá Aquifer.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Água subterrânea	5
3.2. Bacia Hidrográfica do Paraná.....	9
3.2.1. Clima	10
3.2.2. Geologia e Pedologia.....	11
3.2.3. Biomas e ecossistemas	11
3.3. Sistema Aquífero Caiuá.....	12
3.4. Recarga aquífera e metodologias de estimativa	14
3.4.1. Balanço Hídrico.....	15
3.4.2. Lei de Darcy	16
3.4.3. Variações de Níveis de Águas:.....	16
4. ÁREA DE ESTUDO	21
5. METODOLOGIA	22
5.1. Levantamento de Dados do Local de Estudo	22
5.2. Inventário e Cadastramento de Poços.....	22
5.3. Obtenção de Dados de Precipitação Pluviométrica	22
5.4. Análise das Variações de Nível de Água e da Precipitação	22
5.5. Estimativa da Recarga Aquífera	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6.1. Caracterização Hidrogeológica.....	24
6.2. Análise das Variações de Nível de Água, Precipitações e Recarga Aquífera	26
6.3. Discussão Sobre a Recarga Aquífera.....	43

7. CONCLUSÕES.....	48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

A gestão sustentável de recursos naturais é um grande desafio visto a crescente demanda social de desenvolvimento. Conhecer e estudar a disponibilidade desses recursos é fundamental a fim de conduzir seu planejamento, manutenção e restrições de uso de forma equilibrada e eficiente. Dentre os recursos naturais, os recursos hídricos são essenciais para a existência da vida no planeta e a crescente demanda desse recurso hoje é um quadro bastante preocupante que vem motivando vários investimentos de tecnologia e pesquisa.

O Brasil possui grande disponibilidade de água doce comparado com os demais países do mundo. Isso pode provocar um eventual e aparente conforto, entretanto os recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual no território, tanto espacial quanto temporalmente. Somando-se os usos da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e os problemas de qualidade e gestão ineficiente de água, facilmente surgem conflitos no País (ANA, 2017).

Do volume total de água do planeta, cerca de 97,5% da água é salgada e apenas 2,5% é água doce. Sendo que, de toda a água doce existente, 68,9% formam as calotas polares, geleiras e neves eternas, 0,9% está associado à umidade do solo e pântanos, 0,3% corresponde aos rios e lagos, e os restantes 29,9% são águas subterrâneas. Desta forma, subtraindo-se a água doce de calotas polares, geleiras e neves eternas, as águas subterrâneas representam cerca de 96% do total de água doce disponível para consumo (MMA, 2007).

Além de ser a fonte majoritária da água doce disponível no mundo, Filho et al. (2011) sintetizam a importância da manutenção e gestão das águas subterrâneas associando os cuidados para o uso sustentável desse recurso com as vantagens dos mananciais subterrâneos comparados com os corpos hídricos superficiais. Os autores ressaltam, dentre outras vantagens, a maior qualidade que a água subterrânea possui e menor vulnerabilidade a contaminações que podem vir a ocorrer em superfície, além das reservas sofrerem menos com oscilações climáticas como estiagens, por exemplo. As diversas vantagens citadas são acompanhadas de observações de controles e cuidados como, por exemplo, o tratamento das águas após contaminadas. Observa-se que tende a ser mais oneroso e complexo podendo ser, até mesmo, irreversível em alguns casos. Ainda enfatizando a importância de cuidados com esse recurso natural, é também observado pelos autores que o uso descontrolado pode gerar a superexploração do aquífero, seja por uso indevido pontual, seja pela alta concentração de poços em um mesmo aquífero. Apontado, dessa forma, a necessidade de estudos e monitoramento da água subterrânea.

Em acréscimo ao exposto, sobre o ponto de vista ecológico, o comprometimento dos mananciais subterrâneos pode impactar de diversas formas o meio ambiente. Hirata et al. (2010) salienta que os recursos hídricos subterrâneos são fundamentais para a manutenção da flora e fauna, tanto em aspectos estéticos quanto paisagísticos, em corpos de água superficiais. É frisado pelos autores que a perenização da maior parte dos rios, lagos e pântanos é feita pela descarga de aquíferos por meio dos fluxos de base.

Neste contexto, Sistema Aquífero Bauru-Caiuá, aquífero livre constituído por rochas sedimentares da Bacia do Paraná dos grupos Bauru e Caiuá, possui extensa área de afloramento, sendo o sistema aquífero mais explorado no Estado do Mato Grosso do Sul (SEMAC, 2010). O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (PERH-MS), elaborado em 2010, cita ainda que os grandes sistemas aquíferos existentes no Estado são explorados para fins de abastecimento privado e público, não sendo conhecidos todos os usuários, visto inexistência de sistema de outorga no Estado até a data de elaboração do Plano. Sabe-se somente, de acordo com o Plano, que o uso de água subterrânea para abastecimento no Estado é significativo. Em exemplo, todos os municípios de seis grandes sub-bacias são totalmente abastecidos por água subterrânea, além de possuir uso expressivo também nas duas sub-bacias mais populosas do Estado. Alguns programas foram descritos no PERH-MS a fim de orientar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, sendo enfatizado que só serão efetivos mediante estudos relacionados, por exemplo, a disponibilidade de águas subterrâneas.

Tendo em vista essa necessidade de conhecimento sobre as águas subterrâneas no País, o Serviço Geológico do Brasil, também conhecido como CPRM, implantou a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS). Essa rede de monitoramento possibilita o acesso de informações hidrogeológicas sobre os principais aquíferos do Brasil, sendo um deles o Sistema Aquífero Bauru-Caiuá. O sistema aquífero é dotado de boa distribuição de poços de monitoramento da RIMAS e possui série histórica de dados de nível da água subterrânea com poucas falhas, possibilitando análise e desenvolvimento de estudos de recarga aquífera. Por meio do estudo de recarga, é possível obter informações que podem ser utilizadas na gestão de exploração de água subterrânea de forma sustentável.

Um dos métodos mais amplamente aplicáveis para estimar recarga em aquíferos livres, utilizando de dados de nível de água, é o método de Variação de Nível de Água (VNA). A sua ampla aplicação é explicada pelo fato de ser um método simples para estimar as taxas de recarga, baseado na avaliação de variações de níveis de água. Assim, em áreas onde estejam disponíveis e acessíveis dados de flutuações de nível de água, pode-se aplicar essa metodologia (HEALY e COOK, 2002).

Portanto, considerando os desafios relacionados a gestão sustentável de águas subterrâneas, o objetivo principal deste estudo é de avaliar as variações do nível de água subterrânea e estimar a recarga do Sistema Aquífero Caiuá no Estado do Mato Grosso do Sul por meio do método VNA.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as variações do nível de água subterrânea e estimar a recarga aquífera aplicando o método de Variação dos Níveis de Água (VNA) no Sistema Aquífero Caiuá, localizado na Bacia Hidrográfica do Paraná, no Estado do Mato Grosso do Sul.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar as variações do nível de água subterrânea no Sistema Aquífero Caiuá e comparar com dados de precipitação pluviométrica para identificar correlações entre esses parâmetros.
- Estimar recarga aquífera por meio do método VNA e verificar relação com precipitação pluviométrica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Água subterrânea

A água subterrânea, de acordo com Rebouças (2002), é definida como a parcela das precipitações pluviométricas que infiltra nos terrenos inseridos na bacia hidrográfica e circula pelo seu subsolo. O autor também acrescenta que a contribuição do fluxo subterrâneo alimenta o escoamento básico dos rios, durante os períodos de estiagem. Atribui, ainda, valor agregado aos mananciais subterrâneos por serem responsáveis por mais de 90% dos rios do território brasileiro nunca secarem, indicando importância à infiltração das chuvas que caem nestes domínios (REBOUÇAS, 2008).

Mais do que um recurso disponível e acessível, a água subterrânea é parte integrada essencial do ambiente natural e ciclo da água na Terra. Pertencente ao ciclo hidrológico, o estudo e a compreensão da sua relação e influência é imprescindível nos estudos com águas superficiais em bacias hidrográficas. Ademais, nos processos geológicos, a água subterrânea pode exercer influência na estabilidade de taludes, na migração e acúmulo de sais, compostos químicos ou substâncias contidas no ambiente, na indução de processos de subsidência dos terrenos e até influência na geração de microtremores, entre outros exemplos (FILHO, 2008). Dessa forma, esse recurso hídrico apresenta dois principais papéis essenciais: primeiro na natureza como apoio aos ecossistemas e, segundo, como um recurso natural que atende às necessidades vitais humanas e econômicas (LLAMAS; CUSTODIO, 2002).

No ciclo hidrológico, ilustrado na Figura 1, há a formação de nuvens a partir do ar condensado proveniente da evaporação da água na superfície terrestre devido a energia solar. Existem várias contribuições de vapor para atmosfera além dos oceanos como, por exemplo, a evaporação de água dos solos, rios e lagos, bem como da transpiração da vegetação. Dessa forma, satisfazendo algumas circunstâncias específicas, é possível obter como resultado a precipitação de volta a superfície do planeta, a partir do vapor do ar condensado nas nuvens. Essa água que retorna a superfície em forma de precipitação, pode infiltrar no solo ou alcançar os cursos de água por meio de escoamento superficial. A água que infiltra, ao umedecer e saturar o solo, tem capacidade de recarregar aquíferos e originar fluxo de água subterrânea. (COLLISCHONN; TASSI, 2003).

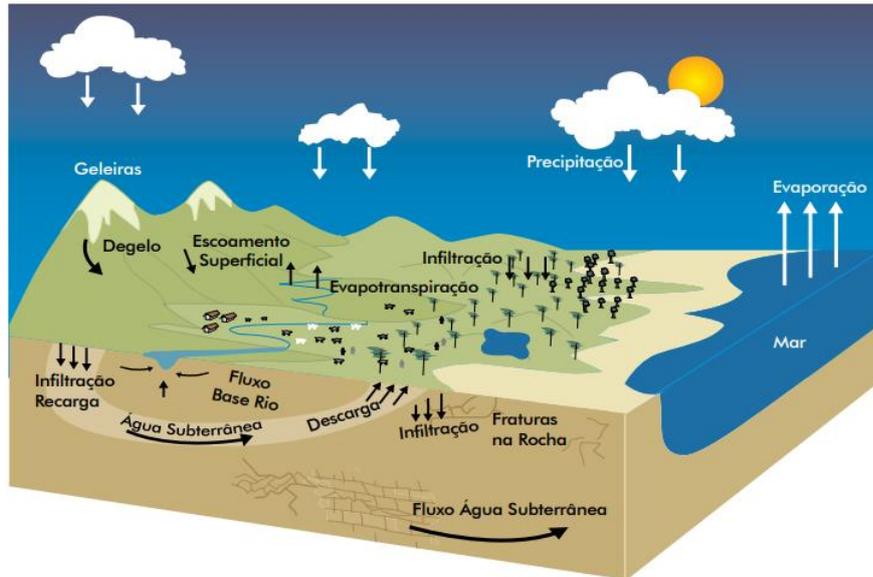


Figura 1. Ciclo hidrológico. Fonte: MMA (2007).

Com base nos conceitos de hidrogeologia, Filho (2008) atribui como água subterrânea apenas a água que circula na zona saturada em um perfil de solo. Rebouças (2008) indica que é possível obter os maiores potenciais de água subterrânea do País nas bacias sedimentares, tanto em termos de reservas quanto em termos de recarga.

Os aquíferos podem ser classificados como confinados ou livres de acordo com a pressão das águas nas fronteiras de suas superfícies de topo e de base, conforme Figura 2. (FILHO, 2008).

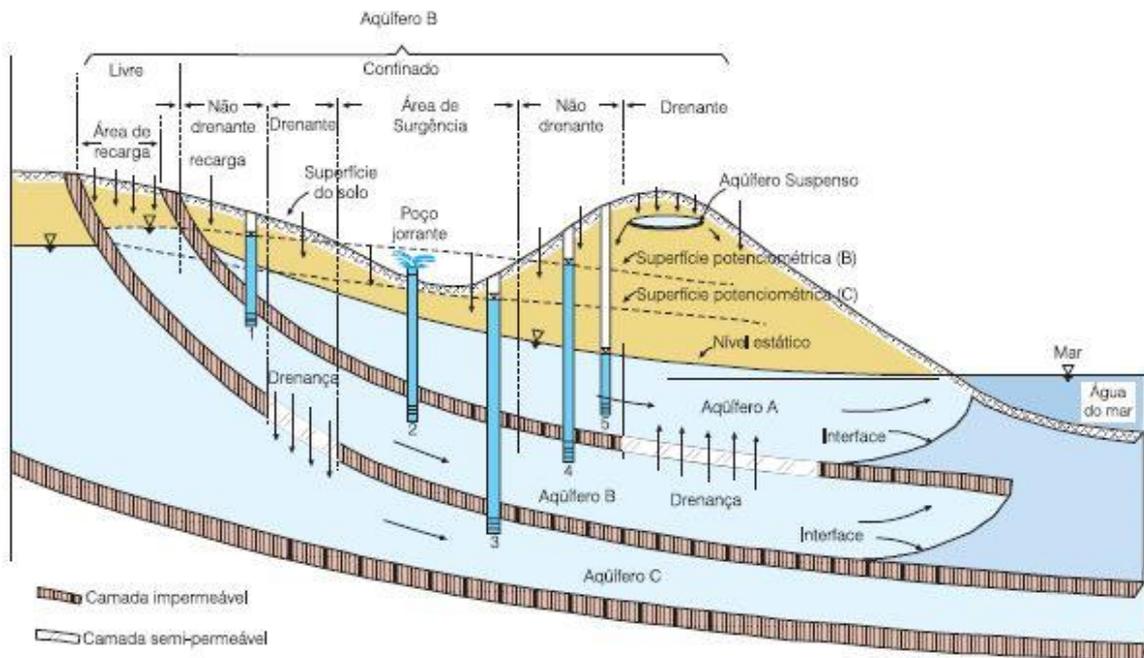


Figura 2. Esquema dos diferentes tipos de aquíferos, segundo sistema de pressão de suas águas e com a natureza das camadas limites superiores e inferiores. Fonte: Feitosa et al (2008).

Os aquíferos confinados possuem pressão da água em seu topo maior do que a pressão atmosférica. Em contrapartida, os aquíferos livres estão submetidos à pressão atmosférica. Os aquíferos confinados podem ser definidos como drenantes ou não drenantes em função das características de suas camadas limítrofes (FILHO, 2008). O autor cita a diferença entre os diferentes tipos de aquíferos exemplificando com a Figura 2.

Os aquíferos confinados não drenantes são caracterizados por camadas impermeáveis em seus limites superiores e inferiores. Na Figura 2, são exemplos o aquífero B, penetrado pelos poços 1, 2 e 4, e do aquífero C, penetrado pelo poço 3. O nível de água pode ficar abaixo da superfície do solo, como nos poços 1 e 4, ou acima dessa superfície, como ilustrado no poço 2. Já os aquíferos confinados drenantes são caracterizados por possuírem pelo menos, uma das camadas limítrofes semipermeável. Essa condição permite a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base dos limites superiores e/ou inferiores do aquífero (FILHO, 2008).

Ainda de acordo com Filho (2008), os aquíferos livres são submetidos em todos os pontos de seus limites superiores à pressão atmosférica. Como pode ser observado com a Figura 2, o aquífero A é freático, penetrado pelo poço 5. Existe, também, um caso especial de aquífero livre, que pode existir temporariamente no ambiente. São aquíferos denominado como suspensos e são encontrados sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada, entre a superfície saturada e o nível do terreno.

O Brasil possui regiões com aquíferos altamente produtivos, conforme Figura 3 (MMA, 2007). O volume total estimado de reserva de água subterrânea no Brasil fica em cerca de 112.000 km³, estando esse volume concentrado por volta de 90% nas bacias sedimentares, de acordo com Rebouças (2008). Enquanto existem regiões com elevada disponibilidade hídrica subterrânea, em exemplo aquelas abrangidas pelo Sistema Aquífero Guarani e sedimentares no geral, existem, em contrapartida, outras pobres em disponibilidade, como aquelas que ocorrem em formações de rochas cristalinas no semiárido do País (MMA,2007).

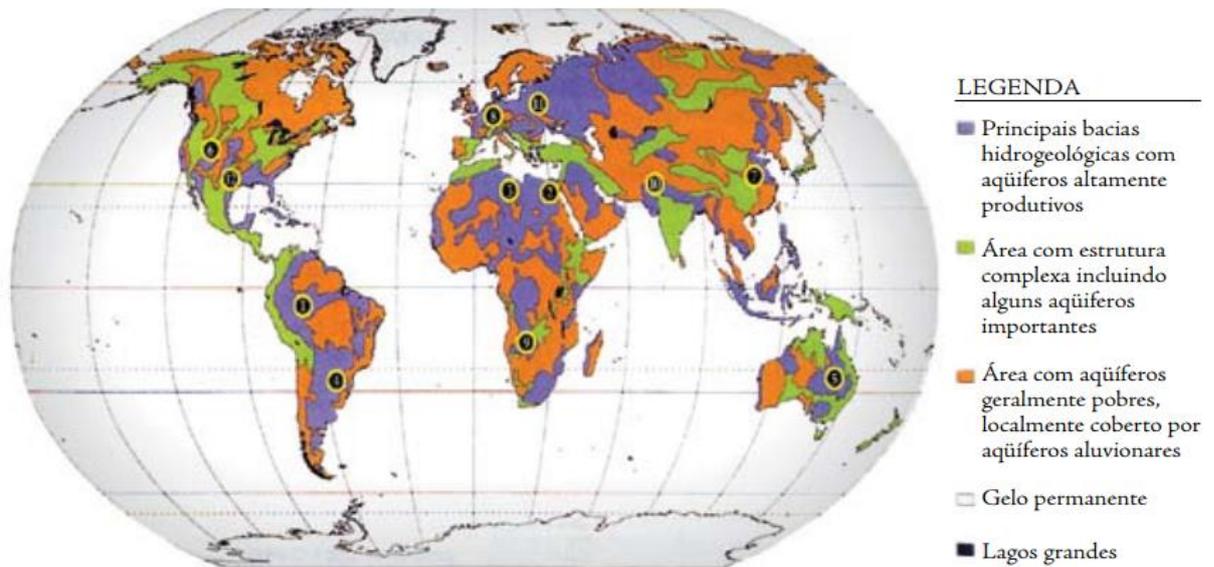


Figura 3. Mapa com ilustração dos principais recursos hídricos subterrâneos do mundo. Fonte: MMA (2007).

A fim de facilitar o entendimento e pesquisa das águas subterrâneas, o Brasil foi dividido em 10 províncias hidrogeológicas baseado em familiaridades nos sistemas aquíferos como armazenamento, circulação e qualidade de água (Figura 4) (MMA, 2007).



Figura 4. Representação das províncias hidrogeológicas do Brasil com bacias hidrográficas. Fonte: MMA (2007).

É possível observar que a província do Paraná possui os aquíferos mais promissores do País, com as maiores produções esperadas e que estão associados principalmente aos

Sistemas Guarani e Bauru-Caiuá e secundariamente, ao Sistema Aquífero Serra Geral (MENTE, 2008; MMA, 2007; TUCCI et al., 2001).

Cerca de 20% da água total utilizada a nível mundial provém de fontes de água subterrânea e este percentual está a aumentar rapidamente, particularmente em áreas secas. Este aumento foi estimulado pelo desenvolvimento de processos de bombeamento de água subterrânea de baixo custo e pelo investimento individual na irrigação, além de usos urbanos. O investimento privado no auto-abastecimento de águas subterrâneas, essencialmente descontrolada e não monitorada, cresceu rapidamente em resposta a serviços inadequados ou de baixa qualidade de abastecimento público. Ao longo do século 20, as retiradas de águas subterrâneas aumentaram cerca de cinco vezes, levando a um rápido rebaixamento de aquíferos em algumas áreas do mundo, colocando em risco a sustentabilidade dos usos que dependem desse recurso. Em projeções futuras de demandas, entre os anos 2000 e 2050, a população mundial está projetada para crescer de 6 bilhões a 9 bilhões de habitantes. Dessa forma a demanda por alimentos e outros bens aumentarão significativamente (UNESCO, 2009). Questiona-se então sobre como deve ser realizada a gestão dos recursos hídricos de forma a atender aspectos ecológicos e o crescente requerimento econômico e social.

3.2. Bacia Hidrográfica do Paraná

O Rio Paraná é o principal rio da Bacia do Prata, sendo o décimo maior do mundo em descarga. Possui extensa área de drenagem que engloba todo o centro-sul da América do Sul, desde as encostas dos Andes até a Serra do Mar, totalizando cerca de $2,8 \cdot 10^6$ km² de área de drenagem (AGOSTINHO, 1996). A Bacia do Paraná recobre uma área de 839.000 km² no território brasileiro e cerca de 355.000 km² considerando os territórios da Argentina, Paraguai e Uruguai (CAMPOS, 2004).

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (PERH-MS), a Bacia Hidrográfica do Paraná, para fins de organização e estudo, foi dividida em nove Unidades de Planejamento e Gerenciamento (UPG), que correspondem as nove Sub-Bacias Hidrográficas da Bacia (Tabela 1).

Tabela 1. Regiões Hidrográficas do Rio Paraná.

1. UPG Iguatemi
2. UPG Amambai
3. UPG Ivinhema
4. UPG Pardo
5. UPG Verde
6. UPG Sucuriú
7. UPG Quitéria
8. UPG Santana
9. UPG Aporé

Fonte: SEMAC (2010).

3.2.1. Clima

O clima no Mato Grosso do Sul pode ser dividido em Clima Tropical e Tropical de Altitude, tendo em vista as latitudes mais elevadas de relevo observadas no Estado (FILHO, 2007, *apud* SEMAC, 2010, p. 59).

Ainda segundo Filho (2007, *apud* SEMAC, 2010, p. 59), durante a estação do verão o clima sofre influência da Alta da Bolívia, anticiclone que ocorre no verão sobre a América do Sul, gerado a partir do aquecimento convectivo da atmosfera. Nos meses de maior atividade convectiva, um dos principais fenômenos responsáveis pelas precipitações pluviométricas na região é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

O mesmo autor ainda é referenciado no PERH-MS dividindo o clima em quatro principais regiões, sendo elas: regiões norte, sul e leste, central e, por fim, oeste. Na região norte, com predomínio de clima equatorial, as temperaturas médias são bem elevadas no inverno e os índices pluviométricos altos no verão. Na região sul e leste, com predomínio de clima tropical, o inverno é caracterizado como quente e seco. Na região central o verão apresenta muitas chuvas enquanto o inverno é bastante quente e seco. E por fim, a região oeste, o clima quente e úmido com inverno ameno.

No PERH-MS foram analisadas as séries históricas de precipitação com base nos dados disponíveis pela Agência Nacional de Águas (ANA) e a partir de uma análise espacial das médias mensais e anuais as maiores precipitações anuais foram observadas nas Sub-Bacias do Sucuriú, Amambai, Iguatemi e nas nascentes do Rio Pardo e do Rio Ivinhema. Já os menores valores de precipitação ocorrem na Sub-Bacia do Taquari, Miranda e Negro, região do Pantanal, pertencentes a Bacia Hidrográfica do Paraguai.

Ainda de acordo com o Plano elaborado em 2010, Na Região Hidrográfica do Paraná ocorre maior homogeneidade das precipitações, com variações entre 1.073,0 mm e 1.829,7 mm associadas a UPG Pardo, próximo ao rio Paraná e a UPG Sucuriú, próximo à nascente do rio Sucuriú, na região do Planalto. É observado maior variabilidade espacial das precipitações anuais médias nessas duas UPGs juntamente com a UPG Ivinhema. Na Bacia Hidrográfica do Paraná, observa-se sazonalidade acentuada e precipitações em todos os meses do ano, contudo é perceptível elevada redução nos meses de abril a outubro.

3.2.2. Geologia e Pedologia

A Bacia do Paraná foi formada entre as eras Paleozóica e Mesozóica e ocupa aproximadamente 65% da área do Estado. Há duas grandes províncias geotectônicas presentes no Mato Grosso do Sul, o Cráton Amazônico e as Bacias Fanerozóicas, que possuem diversos grupos de rochas que originam diferentes sistemas aquíferos. O Cráton Amazônico engloba as rochas que compõem os aquíferos fraturados. Já as Bacias Fanerozóicas são constituídas de rochas que compõem os aquíferos porosos, como a Bacia do Paraná. Na Bacia do Paraná, a geologia é caracterizada pela ocorrência de litologias que estão associadas aos Grupos Rio Ivaí, Paraná, Itararé, São Bento, Bauru e Caiuá. O relevo da Bacia é constituído por planaltos, patamares e chapadões (SEMAG, 2010).

Ainda de acordo com o PERH-MS, os Latossolos são os solos de maior ocorrência no Mato Grosso do Sul, normalmente são encontrados com textura média e caráter álico. Esse solo é predominante na Bacia do Paraná e estão distribuídos na porção central do Estado, estendendo ocupação até o sul e nordeste do Estado. É possível encontrar ampla variação entre as diferentes classes, sendo que o Latossolo Vermelho Escuro é o mais expressivo. Na sequência o Latossolo Roxo também é bastante expressivo e por fim o Latossolo Vermelho-Amarelo. Também são encontrados na Bacia do Rio Paraná os Argilossos, em menor proporção, mas ainda de forma significativa, mais concentrados no sul do Estado. E de forma menos expressiva os solos aluviais Gleissolos podem ser encontrados margeando cursos de água do Rio Paraná. Assim como solos mais orgânicos, entre outros em menores concentrações e predominâncias espaciais de ocupação no Estado.

3.2.3. Biomas e ecossistemas

O Mato Grosso do Sul possui três principais biomas em sua extensão territorial: Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica (IBGE, 2004). O Bioma Cerrado é predominante no

Estado, destacando-se nas chapadas areno-argilosas, estendendo-se de sudeste a norte e nordeste. Esse bioma é formado de estrutura predominantemente campestre, intercalada por pequenas plantas lenhosas até arbóreas (SEMAC, 2010).

Quanto as áreas protegidas por Unidades de Conservação, apenas 0,85% da superfície do Estado é coberta por Proteção Integral. A UPG Iguatemi possui a maior extensão de Unidades de Conservação em área seguida da UPG Sucuriú. Os menores percentuais são das UPGs Verde Correntes e Negro, sendo esses dois últimos pertencentes à Bacia do Paraguai.

3.3. Sistema Aquífero Caiuá

O Sistema Aquífero Caiuá faz parte do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá, que abrange os estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás, além de parte do Paraguai. A área total do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá é de cerca de 370.000 km². Esse sistema aquífero é predominantemente livre, com afloramento em grande parte do Mato Grosso do Sul, em todas as UPGs, exceto nos vales de algumas drenagens. O Sistema Aquífero Caiuá é constituído por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, da formação Santo Anastácio, sendo considerado de grande importância, responsável pelo escoamento de abrangência regional das águas subterrâneas para importantes rios no Estado (SEMAC, 2010).

No Mato Grosso do Sul, são identificadas litologias relacionadas tanto ao Grupo Caiuá indiviso quanto à Formação Santo Anastácio. O sistema aquífero está situado na região centro-oriental o Estado, ocupando aproximadamente 37% do território. Em extensão, chega até o limite das ocorrências dos basaltos da Formação Serra Geral, na região centro-sul, até o Rio Paraná (CPRM, 2012)

De acordo com Campos (2004), o Aquífero Caiuá é formado de arenitos limpos, bem selecionados, com elevado potencial hídrico associado. A permeabilidade aparente pode oscilar de 0,1 a 2,0 m/d. O autor cita, também, que poços inseridos nesse sistema aquífero podem ter vazões variando de 100 a 200 m³/h, parâmetro dependente da espessura saturada, que em média é cerca de 80 metros. Valores relativamente próximos de potencial hídrico e espessura saturada podem ser encontrados no Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000, elaborado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2005). Nesse trabalho é citado que nas áreas de domínio do Bauru Inferior/Caiuá são encontradas zonas com potencial que apresentam valores na faixa de 40 a 80 m³/h predominantemente. A espessura saturada é apresentada na ordem de 100 a 200 m. Também é abordado que a transmissividade pode atingir valores de até 300 m²/d. A porosidade efetiva

estimada é de 5% para o Bauru Médio/Superior e de 10 a 15% para o Bauru Inferior/Caiuá (DAEE, 1979, *apud* CPRM, 2012, p. 20; DAEE, 2005, p. 36).

Alguns dados hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Caiuá e Santo Anastácio são apresentados na Tabela 2 com base no estudo realizado pela SANESUL/TAHAL (1998, *apud* CPRM, 2012, p.20). São observados, nesse estudo, de acordo com o CPRM (2012), poços com capacidade específica muito elevada nos municípios de Bataguassu, 6,21 m³/h/m, e Ivinhema, 7,7 m³/h/m, sendo observado nesse último município citado, altas transmissividades na faixa de 642 m²/d.

Tabela 2. Compilado de parâmetros hidrodinâmicos observados no Sistema Aquífero Caiuá e Santo Anastácio no Estado de Mato Grosso do Sul.

Parâmetro	Aquífero Caiuá	Aquífero Santo Anastácio
Profundidade (m)	150	150
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	1.5	1.3 a 8.8
Vazão (m ³ /h)	62.5	5 a 100
Transmissividade (m ² /d)	200	73 a 380
Condutividade Hidráulica (m/d)	1.5	1 a 3.9

Fonte: SANESUL/TAHAL (1998, *apud* CPRM, 2012, p.20).

A Tabela 3 apresenta a disponibilidade de água subterrânea no Sistema Aquífero Bauru-Caiuá no Mato Grosso do Sul, área de recarga, reserva renovável e explorável. A disponibilidade de água subterrânea foi calculada considerando a precipitação média anual na área de recarga direta do sistema aquífero e sua respectiva taxa de infiltração. Dessa forma, foi considerado apenas a área de afloramento do aquífero como área de recarga. Utilizou-se como taxa de infiltração o valor de 10% com base em uma estimativa empírica realizada na ocasião dos estudos de diagnóstico, não sendo recomendado ser usada como referência (SEMAG, 2010).

Tabela 3. Disponibilidades de águas subterrâneas nos sistemas aquíferos no Mato Grosso do Sul.

Aquífero	Área de Recarga (km²)	Reserva Renovável (m³/ano)	Reserva explorável (m³/ano)
Bauru-Caiuá	134.550,1	19.597x10 ⁶	3.920x10 ⁶

Fonte: adaptado ANA, 2005; SANESUL/TAHAL, 1988, *apud* SEMAG, 2010, p.108.

O PERH-MS apresenta na Tabela 4 as reservas exploráveis, em milhões de m³ por ano, de cada UPG contidas na Bacia Hidrográfica do Paraná para o Sistema Aquífero Bauru-Caiuá. Também apresenta as precipitações médias anuais em cada UPG. É ressaltado que não foram consideradas as reservas permanentes devido ausência de informações a respeito da espessura do aquífero e de porosidade efetiva.

Para a determinação da vazão outorgável, foi adotado o valor conservador de 20% da vazão total disponível, adotado pelo PERH-MS, recomendado pela ANA (2005), para o Sistema Aquífero Bauru-Caiuá.

Tabela 4. Reservas exploráveis em milhões de m³ por ano de águas subterrâneas no Mato Grosso do Sul por UPG.

UPG	Precipitação média anual (m ³)	Bauru-Caiuá
1. UPG Iguatemi	1.603	301,6
2. UPG Amambai	1.592	220,5
3. UPG Ivinhema	1.471	627,7
4. UPG Pardo	1.424	906,3
5. UPG Verde	1.398	648,7
6. UPG Sucuriú	1.519	732,6
7. UPG Quitéria	1.203	116,6
8. UPG Santana	1.501	117,6
9. UPG Aporé	1.861	86,3
Total reservas exploráveis em milhões de m³ por ano:		3.757,90

Fonte: SAMAC (2010).

3.4. Recarga aquífera e metodologias de estimativa

A partir da precipitação, chegada da água, em diferentes estados físicos na superfície da Terra, além de obter-se contribuição nas descargas dos rios, quando a água infiltra no solo e o satura, é possível, por meio de percolação, atingir o nível freático, originando a recarga que constitui os recursos renováveis dos aquíferos (FILHO, 2008). Dessa forma, o regime pluviométrico, quantidade de chuvas, é fundamental para a recarga natural, assim como a recarga também é dependente do equilíbrio que se estabelece entre a infiltração, escoamento e evaporação (MMA, 2007).

Cerca de toda a chuva que cai no planeta, em volume na ordem de 577.000 km³, a grande maioria, em percentual em 79%, são depositados nos oceanos, 19% no solo e os restantes 2% nos lagos. Dos 110.000 km³, que correspondem aos 19% que caem sobre o solo,

38% escoam para os rios e os oceanos. Apenas 2.200 km³, refletindo 2%, efetivamente infiltram nos lençóis freáticos (CIGB, 2008).

Os aquíferos são reabastecidos de forma direta, por meio de infiltração direta das águas na superfície do solo/rocha, ou indireta, quando os aquíferos não estão em contato direto com as águas superficiais, mas permanecem recarregados recebendo água por meio de outros aquíferos. Quando ocorre de forma direta, esta infiltração ocorre em toda superfície, no caso dos aquíferos livres, ou nas áreas de afloramento, no caso dos aquíferos confinados (MMA, 2007).

Diversas técnicas são utilizadas para estimar recarga e muitos fatores devem ser estudados e considerados para a escolha de uma técnica que apresente resultados representativos da recarga de um aquífero. Scanlon et al. (2002), citam que, entre demais fatores, o clima desempenha papel importante na recarga, visto ser fonte de abastecimento subterrâneo. Outros fatores como cobertura vegetal, topografia, tipo e uso do solo também podem influenciar na recarga em um aquífero. O tipo de solo e sua granulometria tem forte influência nas taxas de recarga, visto que solos de granulometria mais grossa permitem fluxo maior de água comparados com os de granulometria mais fina. Em adendo, composições de solos semelhantes constituem, juntamente com outros fatores, a formação de sistemas aquíferos com semelhanças hidrogeológicas.

A seguir estão descritos alguns métodos utilizados para estimar recarga de água subterrânea:

3.4.1. Balanço Hídrico

O método, de forma sucinta, utiliza como princípio a conservação de massa. Para um determinado período de tempo analisado, considera-se a diferença entre todas as entradas e saídas de água em um sistema aquífero a fim de verificar qual foi a alteração na quantidade de água armazenada. Dessa forma, é necessário conhecer cada um dos fatores envolvidos no balanço hídrico para a efetiva determinação da recarga (WAHNFRIED; HIRATA, 2005).

Os principais componentes do balanço hídrico são a água total armazenada no solo e o déficit de água no solo, a precipitação (que origina o escoamento superficial direto e a parcela que infiltra no solo), evapotranspiração potencial e evapotranspiração efetiva (que informa uma saída de água no sistema analisado e, assim, a disponibilidade no solo), o conceito de armazenamento temporário nas camadas superficiais do solo e a drenagem de água da zona de solo, ou a recarga potencial (EILERS, 2004).

De acordo com Wahnfried e Hirata (2005), os itens que compõem a equação de balanço podem ser medidos *in situ* ou estimados de forma indireta. Com exceção da precipitação, geralmente medida de forma direta, os demais componentes são estimados com o uso de fórmulas empíricas, como é aplicado no cálculo da evapotranspiração potencial e real.

Entre as maiores vantagens do método, segundo Barreto (2006), está no fato de serem utilizados dados que geralmente estão disponíveis com facilidade de acesso. Como, em exemplos, a precipitação, o escoamento superficial e informações de níveis de água. Em contrapartida, uma das maiores limitações do método está em função da precisão da estimativa de recarga ser dependente da precisão dos outros componentes integrantes do balanço hídrico. Essa limitação é bastante crítica quando a magnitude da taxa de variação da recarga é pequena comparada com as das outras variáveis, em especial a evapotranspiração (SCANLON et al., 2002).

3.4.2. Lei de Darcy

A metodologia pode ser aplicada tanto para aquíferos livres quanto confinados. Por meio da lei de Darcy, estima-se o fluxo que passa por uma seção transversal assumindo-se regime permanente e nenhuma extração de água. O fluxo volumétrico através de uma seção transversal vertical de um aquífero é igualado à taxa de recarga multiplicado pela área da superfície que contribui para o fluxo (SCANLON et al., 2002).

Uma das principais vantagens do método é da simplicidade e economia para realizar a estimativa, podendo ser, ainda, aplicada para qualquer intervalo de tempo (BARRETO, 2006). Melo et al. (2014) utilizou essa metodologia e a comparou com outras para estimar recarga no Sistema Aquífero de Barreiras localizado no Rio Grande do Norte. Segundo os autores, para aplicar o método, é necessário conhecer as características do fluxo, da transmissividade e da condutividade hidráulica do aquífero. Os resultados encontrados para aplicação do método forneceram em geral valores mais baixos de recarga comparados com os outros métodos utilizados pelos autores. É ressaltado também que há incertezas associadas a alta variabilidade da transmissividade e a sensibilidade do método frente a escolha do gradiente hidráulico.

3.4.3. Variações de Níveis de Águas:

O método de Variação de níveis de água (VNA) baseia-se na premissa de que aumentos nos níveis de água subterrânea, em aquíferos não confinados, são devidos a recarga

de água que alcança o nível freático (HEALY, 2010). O método assume que a água que atinge o nível freático imediatamente faz parte do armazenamento e que todos os outros fatores que compõem o balanço hídrico subterrâneo, como a evapotranspiração na zona saturada, fluxo de base, entrada e saída de fluxo sub-superficial, durante o período de recarga, são considerados nulos (HEALY; COOK, 2002; SIMON, 2017). A Figura 5 a seguir ilustra hipoteticamente uma curva de recessão que antecede a resposta de um evento de precipitação pluviométrica, resultando na elevação do nível de água subterrânea de um poço monitorado em um aquífero livre.

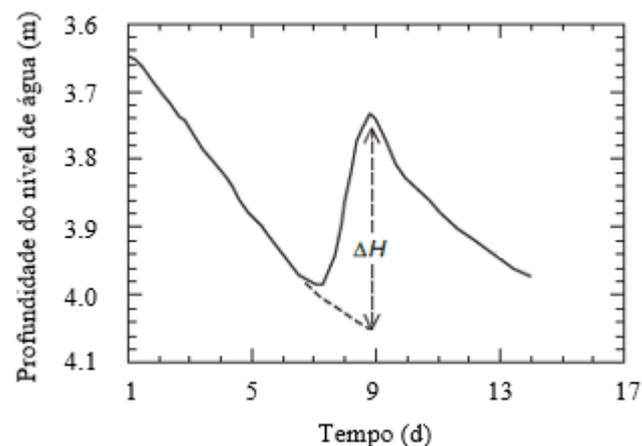


Figura 5. Representação gráfica de recarga em resposta a um evento de chuva hipotético. Adaptado de Healy (2010).

De acordo com Healy e Cook (2002), a recarga pode ser estimada por meio da Equação 1 a seguir:

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que R representa a recarga (mm), S_y o rendimento específico, Δh variação do nível de água (mm) e Δt a variação do tempo escolhido para a estimativa, podendo ser escolhido em unidade conveniente ao estudo.

O intervalo de tempo para aplicação do método precisa contemplar a distribuição da água, que foi introduzida no sistema de estudo, de forma que seja observado um evento completo de recarga (SIMON et al., 2017).

A forma como será traçada a recessão ao gráfico é um assunto bastante subjetivo. Se estiverem disponíveis dados em longos períodos, é possível que existam várias curvas de recessão a serem traçadas, podendo ser consideradas em escalas em mais detalhes ou mais globais. Essa curva de recessão traçada é correspondente ao nível que a água tenderia na

ausência da precipitação responsável pela ascensão observada. Esse traço pode ser desenhado manualmente sendo, como já mencionado, bastante subjetiva, além de pouco prática, mas que inclui intuição hidrológica em sua adoção (HEALY; COOK, 2002; HEALY, 2010). Também podem ser adotadas técnicas padronizadas e automatizadas para gerar as curvas de recessão. Normalmente são adotadas com períodos longos de análise de forma que é possível ajustar equações como, por exemplo, linear ou exponencial, que melhor se aproxime em correlação da recessão observada no monitoramento de nível. Assim, essa prática pode oferecer redução na subjetividade do processo de estimativa (HEALY, 2010).

A partir da curva de recessão traçada, determina-se a variação da altura do nível de água estimado para o cálculo de recarga, por meio da diferença de altura entre o pico máximo do nível de água e o ponto mais baixo extrapolado da curva de rebaixamento que precede esse pico. Dessa forma, é calculado a diferença de altura entre dois pontos que compartilham o mesmo instante (WAHNFRIED; HIRATA, 2005), conforme ilustrado na Figura 5.

Outro parâmetro da equação a ser discutido é o rendimento específico de um solo ou rocha. Esse conceito foi definido por Meinzer (1923) como a proporção do volume de água em percentual que, após saturado, é drenado por gravidade com relação ao seu próprio volume. De acordo com Maziero e Wendland (2005), esse componente da equação de recarga dado pelo método de VNA possui muitas incertezas e exerce grande influência no resultado de recarga. O rendimento específico pode ser estimado de diferentes formas, tanto em campo quanto em ensaios de laboratório. Entretanto, definir o valor real desse termo é bastante difícil, não há um método capaz de definir um valor preciso. Essas mesmas incertezas também estão contidas em valores mencionados na literatura (MAZIERO; WENDLAND, 2005).

Um termo mais facilmente acessível em literatura frequentemente utilizado para quantificação de recarga é a porosidade efetiva. Porém, Bear (1972), atenta algumas diferenças entre os dois termos. A porosidade efetiva é definida como a relação entre o volume de poros interconectados (ou efetivos) e o volume total (BEAR, 1972), ou seja, indica os poros que estão efetivamente disponíveis para serem ocupados por fluidos. O mesmo autor resumiu que para um solo homogêneo e isotrópico e nível freático profundo, a porosidade efetiva é idêntica ao rendimento específico. É recomendado usar a porosidade efetiva com cautela na estimativa de recarga, tendo em vista que com o uso desse parâmetro será obtido um valor máximo provável de rendimento específico (MAZIERO; WENDLAND, 2005).

Visto que a técnica é utilizada em aquíferos freáticos, atenção deve ser dada sobre a flutuação do nível de água estar associada à recarga e não ser resultado de mudanças na

pressão atmosférica, bombeamento e irrigações próximas, entre demais fatores (SCANLON et al., 2002).

A técnica apresenta algumas limitações que devem ser consideradas, de forma a atentar sobre a interpretação dos resultados obtidos. É citado que o método é mais preciso quando aplicado a aquíferos rasos, pois respondem de forma mais acentuada as variações oferecidas pela alimentação de eventos de precipitação. No cenário contrário, quando os níveis de água estão mais profundos, há tendências de dispersão do fluxo responsável pela recarga aquífera ao longo da zona não saturada. O mesmo raciocínio pode se repetir quanto as precipitações de longa duração e baixa intensidade. Nesse cenário, as precipitações podem não ser bem captadas e, dessa forma, se a taxa de saída de água do lençol freático não for suficientemente mais lenta que a taxa de entrada de água por recarga, esse método pode não ser satisfatório. Em resumo, o método dificilmente viabilizará estimativa de recarga se for observado nos dados estudados uma taxa constante de recarga (HEALY; COOK, 2002; MAZIERO; WENDLAND, 2005).

De acordo com Healy e Cook (2002), a simplicidade de aplicação do método é uma das características mais atrativas para o seu uso em estimar recarga. Não são feitas suposições relacionadas aos mecanismos de transporte e percolação de água na zona não saturada. Assim, não há interferência ou restrição associada a existência de caminhos preferenciais de fluxo. Visto que o nível medido em um poço monitorado tem capacidade de representar para uma área de pelo menos alguns metros quadrados em seu entorno, a metodologia permite resultados de forma espacial e integrada de um sistema aquífero.

Outro ponto positivo da técnica é sobre a abordagem ser a base de estimativa de recarga em zona saturada. Técnicas de zona saturada são capazes de integrar áreas maiores. Enquanto a maioria das técnicas de zona insaturada fornece estimativas pontuais de recarga. Em adição, as metodologias que envolvem dados de águas superficiais e as abordagens de zona não saturada fornecem estimativas de drenagem ou recarga potencial. Já as abordagens de zona saturada, são capazes de fornecer evidências de recarga real porque a água atinge o lençol freático. (SCANLON et al., 2002).

Esse método foi utilizado por Maziero e Wedland (2005) para estimar a recarga em duas sub-bacias urbanas na Cidade de São Carlos, em São Paulo, durante o período de um ano de dados. Para esse estudo foram utilizadas condutividades hidráulicas obtidas em outro estudo e aplicado a uma formulação empírica para obter o rendimento específico. A recarga obtida não deve ser considerada como cálculo definitivo, segundo os autores, pois há muitas incertezas a serem consideradas. Contudo é acrescentado na conclusão do estudo que é uma

técnica simples e que oferece estimativa razoável de recarga quando realizado análise dos dados disponíveis e avaliação de processos e fontes de recarga indireta.

Simon et al. (2007) também utilizaram essa técnica para estimar recarga. Os autores estudaram o Sistema Aquífero Guarani na Bacia do Rio Ibicuí durante o período de 24 a 29 meses. Nesse trabalho, foi utilizado de rendimento específico com base em um valor médio obtido na literatura para o sistema aquífero estudado. Os autores têm opiniões ao encontro de Maziero e Wedland (2005) quando também descrevem que a aplicação do método VNA tem como característica a facilidade em se estimar recarga havendo disponibilidade de dados de nível de água por períodos suficientes para análise. Simon et al. (2007) também comentam que encontraram coerência entre as variações em magnitude dos valores de recarga com as características geológicas, pedológicas e hidrogeológicas do local em que estão os poços de monitoramento utilizados no estudo. Assim como Maziero e Wedland (2005), os autores também reforçam que métodos isolados e dados de entrada apresentam restrições em precisão de estimativa. Recomendando, por fim, a aplicação de outros métodos a fim de estimar recarga e assegurar, dessa forma, por meio de comparação entre diferentes técnicas, valores mais seguros para gestão de águas subterrâneas.

Wahnfried e Hirata (2005) aplicaram três métodos para estimar recarga uma planície aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, São Paulo. São eles o método VNA, Balanço Hídrico e Estimativa Darcyniana. Para estimativa pelo método VNA, os autores utilizaram de rendimento específico com base na bibliografia. Foram adotados valores encontrados por classificação pedológica, associando à classificação encontrada no ambiente de estudo. Por meio desse estudo concluíram que o método VNA possui bastante versatilidade de análise temporal, podendo ser utilizada em séries longas ou mais curtas de análise. Também concluíram que o método é o mais sensível dos três aplicados ao estudo.

A recarga do Sistema Aquífero Caiuá foi estimada no Estado do Paraná por Júnior (2017), também utilizando do método VNA. O autor avaliou dados de nível de 11 poços da rede RIMAS durante o ano de 2015 até março de 2017. Para o estudo, foi utilizado como rendimento específico, a porosidade efetiva do Aquífero Caiuá quando caracterizado como aquífero livre, valor que varia de 10 a 20% (ÁGUASPARANA e SEMA, 2010). O autor menciona na conclusão do trabalho que o método é eficiente e prático para a estimativa da recarga, dentro das especificações necessárias de tempo e variações de nível que tornem possíveis a aplicação da metodologia.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange os nove poços de monitoramento da rede RIMAS pertencentes ao CPRM que estão localizados no Sistema Aquífero Caiuá associado ao Grupo Caiuá Indiviso e a Formação Santo Anastácio. A área de estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Paraná no Estado do Mato Grosso do Sul (Figura 6).

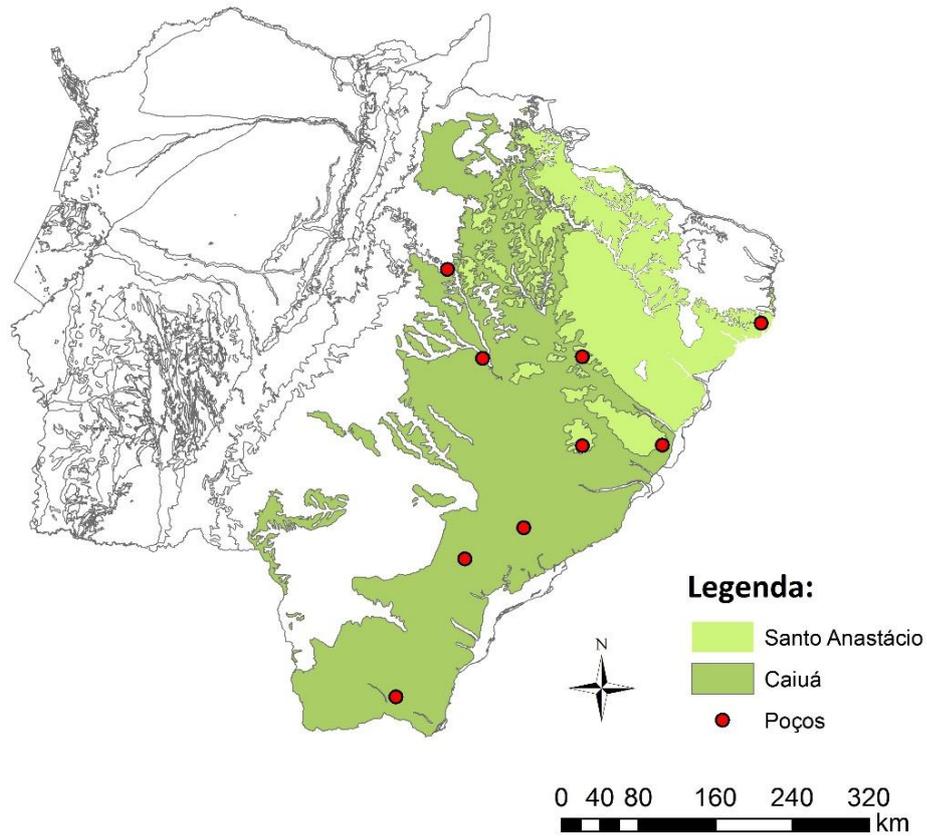


Figura 6. Localização dos poços de monitoramento da rede RIMAS inseridos no Sistema Aquífero Caiuá. Fonte: elaborado e adaptado com base no Mapa de Geodiversidade Estadual (CPRM, 2009).

5. METODOLOGIA

5.1. Levantamento de Dados do Local de Estudo

Para estudo da área foram consultados dados de planos de recursos hídricos estaduais que têm o Sistema Aquífero Caiuá inserido, relatórios de diagnóstico do aquífero, artigos e trabalhos acadêmicos sobre a Bacia Hidrográfica do Paraná e do aquífero de estudo, livros que tratam do assunto de água subterrânea e outras publicações de órgãos que abordam o tema de recursos hídricos. Também foram consultados mapas hidrogeológicos e *sites* de pesquisa.

5.2. Inventário e Cadastramento de Poços

O levantamento de informações sobre poços tubulares contidos na área de estudo foi realizado por meio de consulta ao banco de dados da rede RIMAS pertencentes ao CPRM. Foram obtidos dados construtivos dos poços e de variação de nível de água subterrânea. Também foi possível encontrar informações geológicas e hidrogeológicas nesse banco de dados, ou em relatórios também disponibilizados pela CPRM. As informações obtidas foram analisadas e plotadas em gráficos no Excel e nessa ferramenta também foram realizadas avaliação das variações de nível de água e a estimativa da recarga. Foram selecionados os poços com sistema de monitoramento de água subterrânea na formação Caiuá de acordo com as informações contidas na rede RIMAS da CPRM.

5.3. Obtenção de Dados de Precipitação Pluviométrica

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de solicitação à CPRM, que cederam os dados para fins de trabalho acadêmico e pesquisa. Os postos são localizados junto a cada respectivo poço analisado.

5.4. Análise das Variações de Nível de Água e da Precipitação

Os dados de nível de água monitorados pela rede RIMAS foram organizados em planilha de Excel, sendo gerados gráficos de variações de nível com tempo. Esses gráficos foram analisados a fim de identificar variações de nível ocorridas em diferentes intervalos de tempo. Foram analisados médias mensais dos dados de nível: aceitando falhas de até 15 dias de dados no máximo para cálculo das médias.

Assim como os dados de nível de água subterrânea, os dados de precipitação foram analisados e organizados em planilhas de Excel, sendo gerados gráficos de séries de precipitação com o tempo. Foram realizados cálculos de precipitação acumulada por mês aceitando meses com até 10 dias de falhas de dados no máximo.

Por meio dessa análise e organização de dados, foi possível correlacionar os dados de variações de nível e precipitação para avaliar a relação e a influência dos processos de precipitação nas variações do nível de água.

5.5. Estimativa da Recarga Aquífera

A estimativa da recarga aquífera foi realizada com base na aplicação do método VNA com análise da série de dados de variações de nível de água. Foram selecionados intervalos de tempo em que falhas da precipitação não interferissem em eventos de recarga ou desconsiderados eventos de recarga se não estivesse claro o comportamento de recessão anterior a esse evento.

A determinação dos valores de Δh foi feita com base na interpretação da curva de recessão, extrapolando uma tendência linear do comportamento de nível de água que antecede um evento de recarga até o pico correspondente a chegada de água ao lençol freático. Quando as recessões observadas nos níveis dos poços apresentaram oscilações, considerou-se a recessão mais próxima do pico de ascensão do evento de recarga. Para o mesmo instante de tempo, as distâncias entre os picos máximos de elevação dos níveis de água e as retas de ajustes das recessões foram consideradas como os valores de Δh .

Os valores de rendimento específico utilizados foram obtidos da literatura, com base nas faixas de 10 a 15% de porosidade efetiva para o Sistema Aquífero Bauru Inferior/Caiuá (DAEE, 1979, *apud* CPRM, 2012, p. 20; DAEE, 2005, p. 36) que está contido na faixa de 10 a 20% de porosidade eficaz de acordo com ÁGUASPARANA e SEMA (2010), sendo essa última referência utilizada por Júnior (2017), para o mesmo sistema aquífero para o Estado do Paraná. Com a estimativa de recarga, foram também estimadas as reservas renováveis considerando a área de ocorrência do Sistema Aquífero Caiuá estimada com base no Mapa de Geodiversidade Estadual do Mato Grosso do Sul disponibilizado pelo CPRM.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Caracterização Hidrogeológica

O Grupo Caiuá, de acordo com o Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso do Sul (CPRM, 2006), é composto pelo Grupo Caiuá Indiviso e a Formação Santo Anastácio, conforme ilustrado na Figura 7.

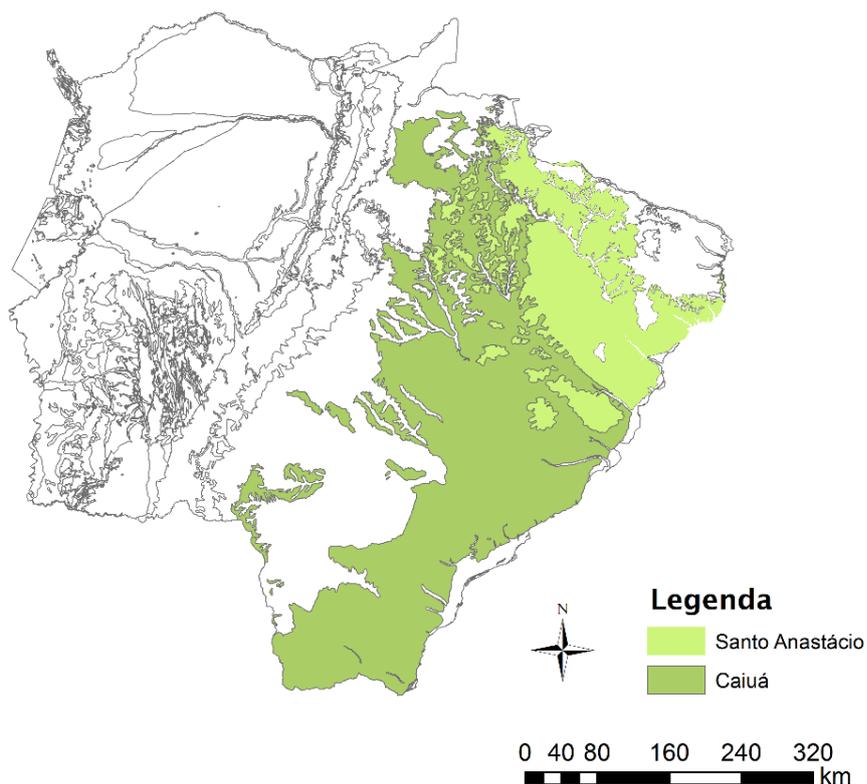


Figura 7. Mapa Geológico Mato Grosso do Sul destacando o Sistema Aquífero Caiuá. Fonte: elaborado e adaptado com base no Mapa de Geodiversidade Estadual (CPRM, 2009).

Ainda de acordo com o CPRM (2006), o Grupo Caiuá Indiviso é composto predominantemente de arenito quartzoso a subarcoseano de granulometria fina a média, depositado em ambiente continental desértico (dunas eólicas, interdunas e lagos efêmeros). Já a Formação Santo Anastácio é composta predominantemente de arenito quartzoso, fino a muito fino, seleção pobre e pouca matriz síltico-argilosa com intercalação de argilito, representando um ambiente de sedimentação continental desértico com planícies de borda de maré de areia.

A Tabela 5 apresenta informações gerais sobre os poços, informações construtivas e geológicas. Os poços estão localizados na formação geomorfológica de planalto e para a

perfuração foi utilizado o método rotativo. A profundidade de início da seção filtrante dos poços variou entre 28 a 36 metros e de final entre 46 e 56 metros em relação ao nível do terreno.

Tabela 5. Informações Gerais, Construtivas e o Geológicas sobre os poços de estudo.

Informações Gerais, Construtivas e o Geológicas				
Código Poço	Coordenada UTM	Município	Profundidade Final (m)	Litologia
3500026838	N/S: 7825965 L/O: 806013	Camapuã	62	0-62m: arenito fino.
3500028111	N/S: 7733165 L/O: 213013	Ribas do Rio Pardo	52	0-16m: solo marrom, alterado, areia muito fina a fina. 16-32m: arenito muito fino a fino, cinza amarronzado. 32-52m: arenito muito fino a fino, argiloso.
3500026837	N/S: 7772458 L/O: 484976	Aparecida do Taboado	52	0-20m: solo argilo arenoso. 20-32m: argila arenosa. 32-52m: arenito grosso.
3500029180	N/S: 7736429 L/O: 310183	Água Clara	60	0-12m: solo alterado, areia muito fina, com grãos arredondados, argilosa. 12-60m: arenito muito fino, com grãos arredondados, argilosa.
3500029178	N/S: 7643492 L/O: 311322	Santa Rita do Pardo	60	0-12m: solo alterado, areia muito fina, argilosa. 12-52m: arenito muito fino, com grãos mais grossos, argiloso e presença de grãos arredondados. 52-60m: arenito muito fino a fino, com grãos arredondados silte-argiloso.
3500029179	N/S: 7644636 L/O: 389300	Brasilândia	60	0-16m: solo alterado, areia muito fina, argilosa. 16-44m: arenito muito fino, argiloso com grãos arredondados. 44-60m: arenito muito fino a fino, silto-argiloso, com grãos arredondados.
3500034023	N/S: 7557055 L/O: 255557	Nova Andradina	61.4	0-8m: solo areno- argiloso. 8-61.4m: arenito fino, fino a médio, bem selecionado, grãos arredondados, pouco argiloso, aos 27m o percentual de areia maior.
3500026836	N/S: 7523383 L/O: 199380	Ivinhema	66	0-22m: solo argilo arenoso fino. 22-31m: arenito argiloso arenoso fino a médio. 31-66m: arenito fino com pouca argila.
3500026840	N/S: 7380205 L/O: 748339	Iguatemi	62	0-30m: argila arenosa fina a média 30-62m: argila com pouca areia

Fonte: elaborado e adaptado com base na RIMAS/CPRM (2018).

A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes de bombeamento dos poços do estudo. O tipo de teste foi de rebaixamento com duração de 8 horas.

Tabela 6. Informações sobre os testes de bombeamento dos poços de estudo.

Teste de Bombeamento				
Código Poço	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão Específica (m ³ /h/m)	Vazão após Estabilização (m ³ /h)
3500026838	36.90	37.45	8.545	4.70
3500028111	7.41	11.55	2.222	9.20
3500026837	14.60	26.60	0.508	6.10
3500029180	36.93	41.48	0.824	3.75
3500029178	13.65	22.58	0.896	8.00
3500029179	23.89	28.41	1.726	7.80
3500034023	11.87	18.66	1.767	12.00
3500026836	41.83	44.81	1.409	4.20
3500026840	4.15	18.60	0.388	5.60

Fonte: elaborado e adaptado com base na RIMAS/CPRM (2018).

6.2. Análise das Variações de Nível de Água, Precipitações e Recarga Aquífera

A partir dos dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação pluviométrica local, foi possível plotar graficamente os dados e analisar o comportamento da água subterrânea em resposta a precipitação. Assim, foram identificados eventos de recarga, extrapoladas as curvas de recessão e estimadas as variações de nível de água (Δh), possibilitando aplicação do método VNA para estimar a recarga aquífera nos poços estudados.

A Figura 8 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação, assim como apresenta as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados referente ao Poço 3500026838. O nível de água subterrânea responde de forma rápida logo após eventos de chuvas, com as oscilações dos dois fenômenos comportando-se de forma similar. É possível observar variações de nível de água expressivos, após eventos de precipitação acima de 200 milímetros. No período de dezembro de 2015, janeiro e fevereiro

de 2016 não há dados de chuva disponíveis. Possivelmente teriam sido observados eventos de chuva elevados, visto que é possível observar um evento de recarga em ascensão nesse mesmo período nos dados de nível de água. A seção filtrante do Poço está localizada há 36 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, possuindo 20 metros de comprimento total. Os níveis estáticos e dinâmicos ficaram próximos do início da seção filtrante do poço.

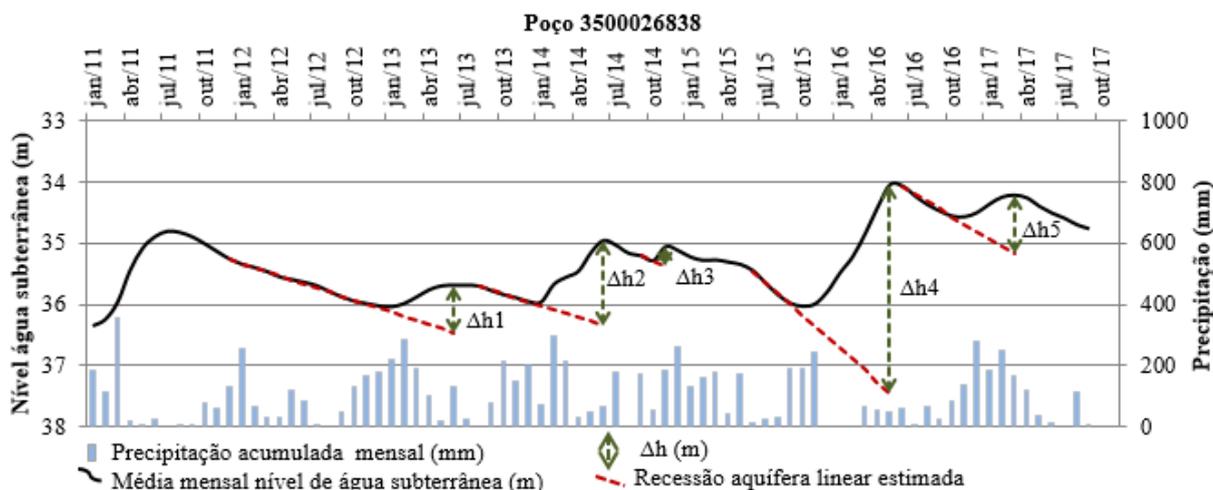


Figura 8. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500026838. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 7 apresenta as estimativas de recarga realizada para rendimentos específicos (S_y) nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500026838. Foram identificados cinco eventos de variação de nível (Δh) para aplicação do método VNA, também quantificados na Tabela 7. A recarga total estimada para todo o período de dados estudados de 81 meses foi de 6806.8 milímetros.

Tabela 7. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500026838.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.76
Δh_2 (m)	1.38
Δh_3 (m)	0.31
Δh_4 (m)	3.39
Δh_5 (m)	0.97
Total recarga (mm)	6806.8
Período (meses)	81
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	8.4
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	12.6
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	16.8

Fonte: elaboração própria (2018).

Ao dividir o total de recarga pelo total de precipitação, os resultados de percentual de recarga obtidos são valores bastante próximos da estimativa de recarga realizada pelo método VNA. Contudo, as falhas nos dados de precipitação próximos do Δh_4 , que poderiam ser determinantes para esse evento de variação de nível, podem ter reflexo nos valores das estimativas de recarga. Esses resultados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados % recarga por precipitação para o Poço 3500026838.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	8361.9	8361.9	8361.9
Total de recarga (mm)	680.7	1021.0	1361.4
% Recarga	8.1	12.2	16.3

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 9 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação, assim como apresenta as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados referente ao Poço 3500028111. O nível de água subterrânea responde de forma quase simultânea com eventos de chuvas, sendo possível observar variações de nível de água expressivos após eventos de precipitação acima de 100 milímetros. No período de dezembro de 2016 até agosto de 2017 não há dados de chuva disponíveis, os dados de nível de água indicam um evento de recarga nesse período. A seção filtrante do Poço está localizada há 28 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 46 metros de profundidade. O nível de água subterrânea está próximo a superfície do terreno, podendo, dessa forma, a recarga vir a ocorrer de forma mais rápida, dessa forma há uma resposta mais efetiva das variações de níveis de água para volumes menores de precipitação.

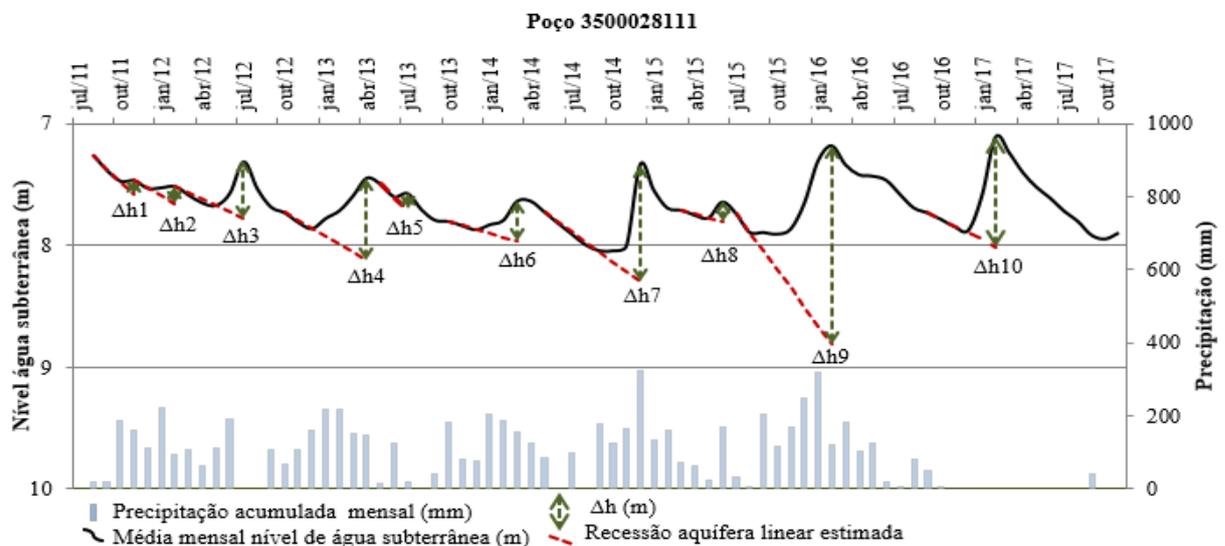


Figura 9. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500028111. Fonte: elaboração própria (2018)

A Tabela 9 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500028111. Foram identificados dez eventos de variação de nível (Δh) que são também quantificados na Tabela 8. A recarga total estimada para o período estudado de 76 meses de dados disponíveis para o Poço 3500028111 foi de 5514.9 milímetros. Os valores obtidos de recarga variaram de 7.2 a 14.5 milímetros por mês dependendo do valor de rendimento específico adotado.

Tabela 9. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500028111.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.11
Δh_2 (m)	0.14
Δh_3 (m)	0.47
Δh_4 (m)	0.67
Δh_5 (m)	0.13
Δh_6 (m)	0.33
Δh_7 (m)	0.95
Δh_8 (m)	0.17
Δh_9 (m)	1.63
Δh_{10} (m)	0.90
Soma recarga (mm)	5514.9
Período (meses)	76
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	7.2
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	10.9
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	14.5

Fonte: elaboração própria (2018).

Ao dividir o total de recarga pelo total de precipitação, os resultados de percentual de recarga resultam valores quase idênticos a estimativa de recarga pelo método VNA. Contudo, as falhas nos dados de precipitação podem exercer influência nas estimativas de recarga para esse poço. Esses resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Resultados % recarga por precipitação para o Poço 3500028111.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	7631.8	7631.8	7631.8
Total de recarga (mm)	551.5	827.2	1103.0
% Recarga	7.2	10.8	14.5

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 10 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação e, também, apresenta as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados referente ao Poço 3500026837. O nível de água subterrânea responde de forma relativamente rápida aos eventos de chuva, sendo possível observar variações de nível de água expressivos após eventos de precipitação acima de 200 milímetros. Em eventos de precipitação superiores a 400 milímetros foi possível observar elevação significativa dos níveis de água. No período de agosto de 2013 até janeiro de 2014 não há dados de chuva disponíveis, os dados de nível de água indicam que houveram pequenos picos de ascensão nesse período, possivelmente teriam sido observados eventos de chuva pouco significativos. A seção filtrante do Poço está localizada há 32 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 48 metros de profundidade. Observando a Figura 10, o nível de água subterrânea varia em torno de 11 metros até 17 metros de profundidade em relação ao nível do terreno. Houve queda no nível de água observada entre janeiro de 2014 até janeiro de 2016, coincidindo com eventos de chuva predominantemente abaixo de 200 milímetros. Algumas falhas são observadas nos dados de nível desse poço: de fevereiro de 2012 até julho e 2012 e agosto de 2016 e fevereiro de 2017, indicados em vermelho na Figura 10, são períodos em que houveram eventos de precipitação que possivelmente resultariam em ascensão do nível de água subterrânea.

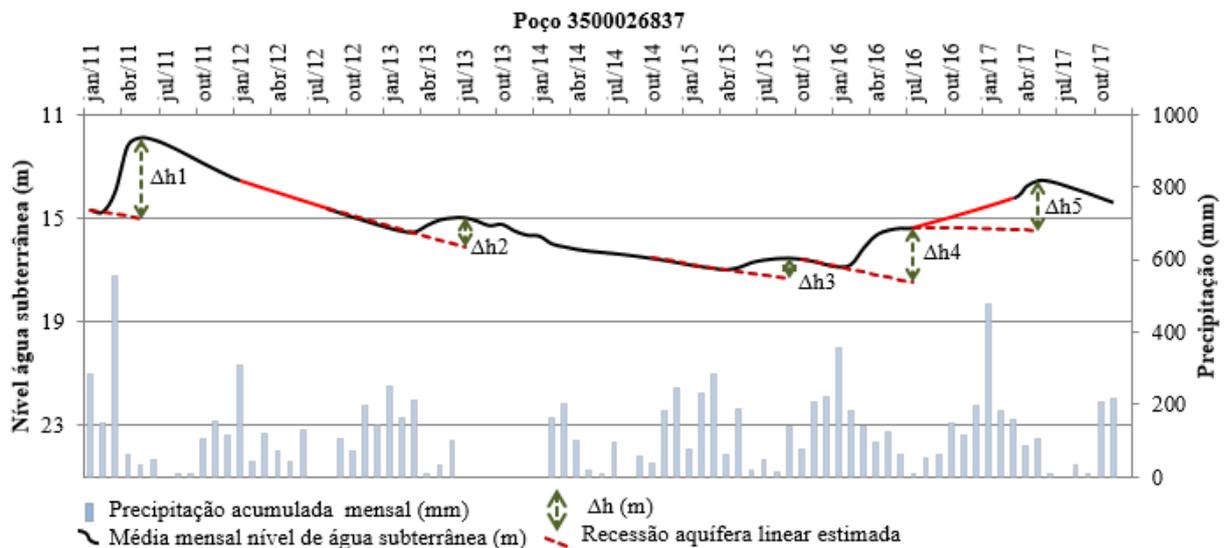


Figura 10. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500026837. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 11 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500026837. Foram identificados cinco eventos de variação de nível (Δh). A recarga total estimada para o período

estudado de 70 meses de dados disponíveis para o Poço 3500026837 foi de 9110.1 milímetros. Os valores obtidos de recarga encontrados para esse poço foram maiores quando comparado aos anteriores, esse resultado pode estar sofrendo influência em função das falhas nos dados de nível de água.

Tabela 11. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500026837.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	3.09
Δh_2 (m)	1.13
Δh_3 (m)	0.83
Δh_4 (m)	2.13
Δh_5 (m)	1.93
Total recarga (mm)	9110.1
Período (meses)	70
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	13.0
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	19.5
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	26.0

Fonte: elaboração própria (2018).

Ao comparar o total de recarga dividido pelo total de precipitação com a recarga obtida pelo método VNA, os resultados de percentual de recarga visto evento de precipitação resultam valores distantes comparados com a estimativa de recarga pelo método VNA. Há falhas tanto nos dados tanto de precipitação quanto de nível de água que impactam de forma significativa nessa estimativa. Esses resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500026837.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	9181.4	9181.4	9181.4
Total de recarga (mm)	911.0	1366.5	1822.0
% Recarga	9.9	14.9	19.8

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 11 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação e ilustra também as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados referente ao Poço 3500029180. O nível de água subterrânea responde de forma mais lenta aos eventos de chuva em relação com os poços anteriores. A maior ascensão de nível de água subterrânea observada foi após evento de precipitação acima de 400 milímetros. A seção filtrante do Poço

está localizada há 36 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 54 metros de profundidade. O comportamento da água subterrânea nesse poço mostrou-se mais estável comparado aos poços anteriormente apresentados.

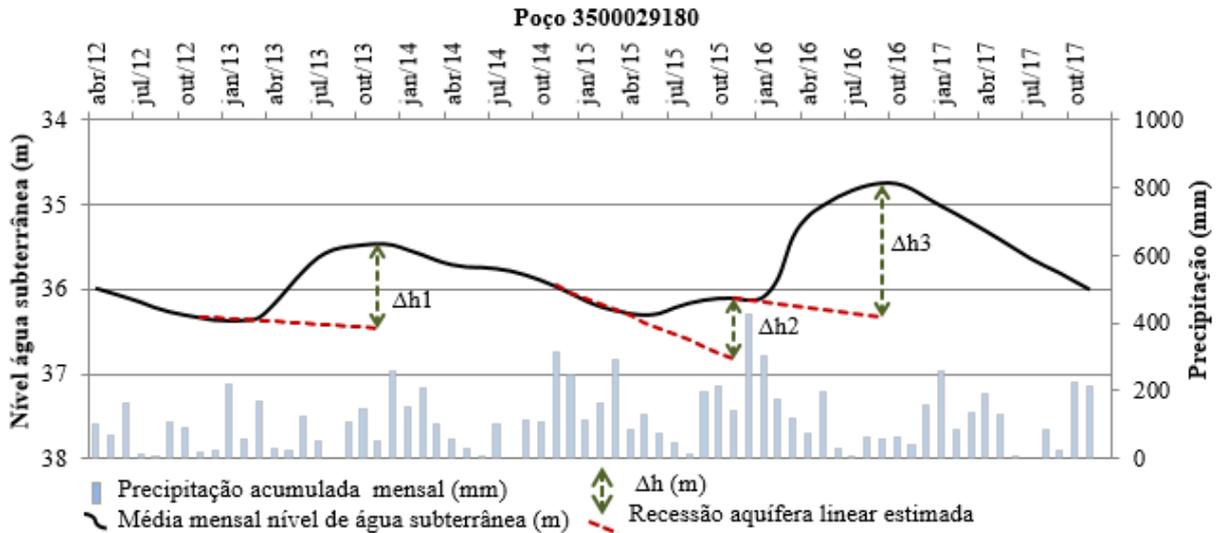


Figura 11. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500029180. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 13 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500029180. Como pode ser observado na Figura 11, foram identificados três eventos de variação de nível (Δh). A recarga total estimada para o período estudado de 68 meses de dados disponíveis para o Poço 3500026837 foi de 3275.2 milímetros. Os valores obtidos de recarga encontrados para esse poço foram menores quando comparado aos anteriores, variaram de 4.8 a 9.6 milímetros por mês dependendo do rendimento específico.

Tabela 13. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500029180.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.99
Δh_2 (m)	0.72
Δh_3 (m)	1.57
Total recarga (mm)	3275.2
Período (meses)	68
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	4.8
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	7.2
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	9.6

Fonte: elaboração própria (2018).

Dividindo o total de recarga pelo total de precipitação, os resultados de percentual de recarga obtidos são valores próximos da estimativa de recarga pelo método VNA. Esse poço não possui falha nos dados tanto de precipitação quanto de nível de água. Esses resultados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500029180.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	7810.6	7810.6	7810.6
Total de recarga (mm)	327.5	491.3	655.0
% Recarga	4.2	6.3	8.4

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 12 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação e ilustra também as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados referente ao Poço 3500029178. O nível de água subterrânea responde de forma rápida aos eventos de chuva, sendo possível observar variações de nível de água expressivos após eventos de precipitação acima de 300 milímetros. Em eventos de precipitação próximos de 400 milímetros foi possível observar o nível ascender quase aos 11 metros de profundidade em relação ao nível do terreno. Houve queda no nível de água observada a partir de julho de 2012 que se estendeu por aproximadamente dois anos. Durante esse período, os eventos de chuva raramente ultrapassaram o acumulado de 200 milímetros mensais. No período de novembro de 2014 até junho de 2015 e, também, no mês de abril de 2016 não há dados de nível de água subterrânea disponíveis. Nesses períodos foi possível observar ascensões no nível de água, tendo em vista o comportamento do nível antes e depois das falhas nos dados, o que também é coerente com precipitação nesse mesmo intervalo de tempo. A seção filtrante do Poço está localizada há 36 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se por 18 metros. Observando a Figura 12, o nível de água subterrânea varia em torno de 11 metros até 17 metros de profundidade em relação ao nível do terreno.

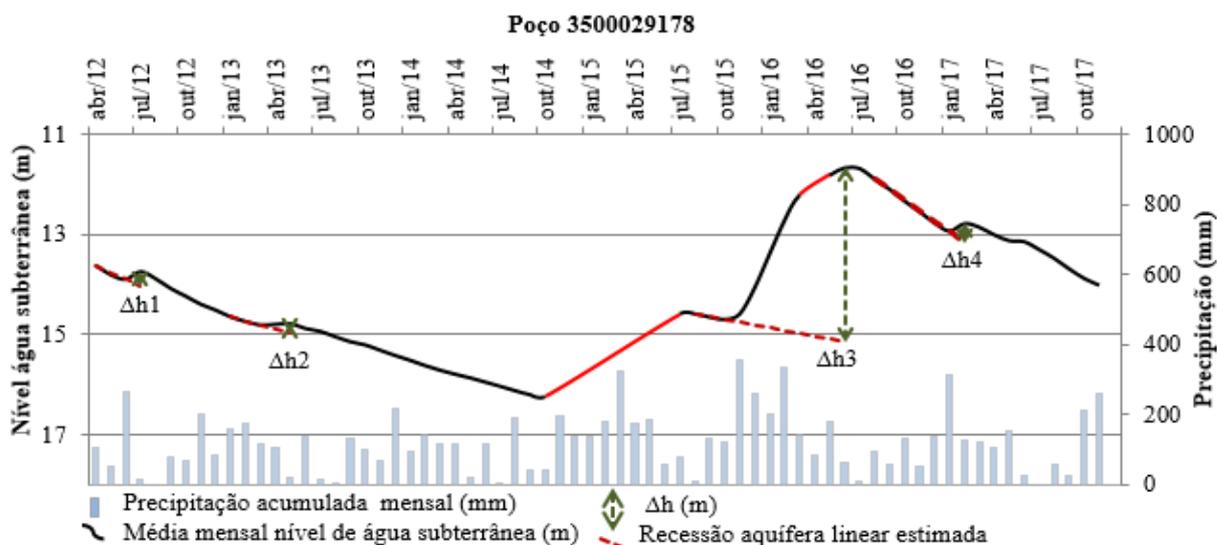


Figura 12. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500029178. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 15 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500029178. Foram identificados quatro eventos de variação de nível (Δh) para esse poço, sendo três deles de pouca amplitude. No período de falhas de novembro de 2014 até junho de 2015, possivelmente seria observado mais um Δh , contudo não foi possível estimar tanto o comportamento completo de recessão quanto o ponto máximo de recarga. Os valores obtidos de recarga para esse poço variaram de 7.4 a 14.8 milímetros por mês dependendo do rendimento específico adotado. Devido falhas nos dados de nível de água, em período de eventos de precipitação significativos, existem incertezas relevantes associadas ao resultado da estimativa de recarga para esse poço.

Tabela 15. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500029178.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.30
Δh_2 (m)	0.19
Δh_3 (m)	3.49
Δh_4 (m)	0.39
Total recarga (mm)	4358.1
Período (meses)	59
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	7.4
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	11.1
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	14.8

Fonte: elaboração própria (2018).

Dividindo a recarga pelo total de precipitação, os resultados de percentual de recarga resultaram valores relativamente próximos da estimativa de recarga pelo método VNA. Como não foi possível estimar o Δh , devido falhas nos dados de nível, que possivelmente existiria devido ao evento de chuva observado no período de setembro de 2014 até maio de 2015, as precipitações desse período foram retiradas para estimar o percentual de recarga. As falhas nos dados desse poço afetam de forma significativa a estimativa de percentual de recarga. Esses resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500029178.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	6772.0	6772.0	6772.0
Total de recarga (mm)	435.8	653.7	871.6
% Recarga	6.4	9.7	12.9

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 13 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação e, também, as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados para o Poço 3500029179. Semelhante ao Poço 3500029180, o nível de água subterrânea responde de forma mais lenta aos eventos de chuva em relação aos outros poços já apresentados e o comportamento do nível de água subterrânea nesse poço mostrou-se, também, mais estável. É possível observar rebaixamento do nível de água subterrânea de abril de 2012 até janeiro de 2015, coincidindo com período de precipitações pluviométricas pouco volumosas, a média dos eventos de chuva mensais desse período ficaram abaixo de 100 milímetros. A seção filtrante do Poço 3500029179 está localizada há 36 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 54 metros de profundidade. Observando a Figura 13, o nível de água subterrânea varia em torno de 23 metros até 27 metros de profundidade em relação ao nível do terreno.

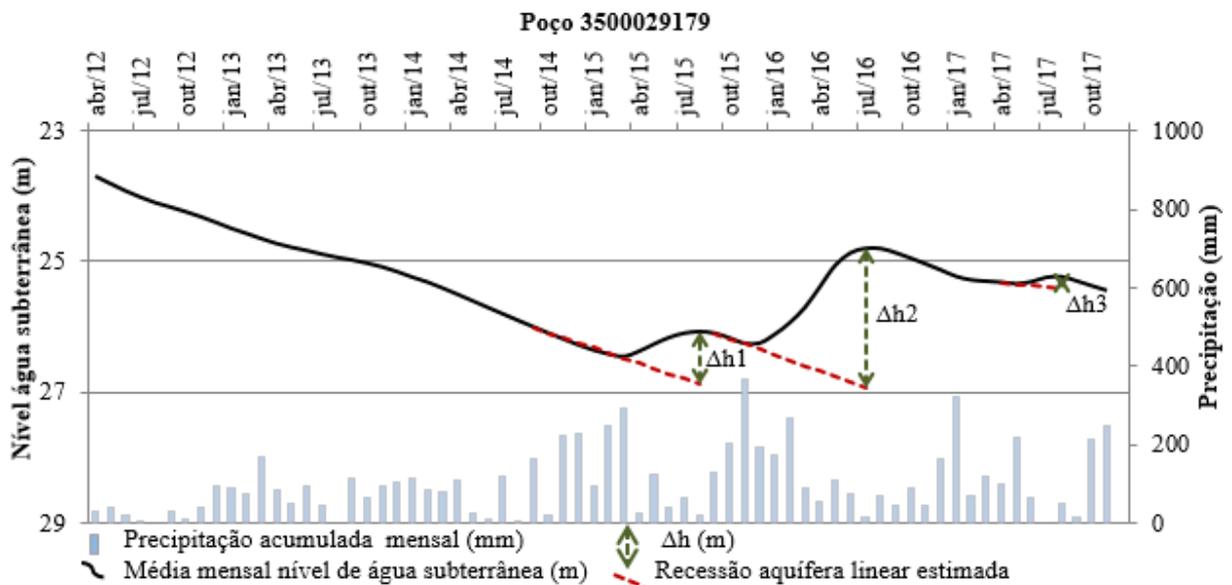


Figura 13. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500029179. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 17 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500029179. Foram identificados três eventos de variação de nível (Δh) para esse poço. A recarga total estimada para o período estudado de 68 meses de dados disponíveis foi de 3100.8 milímetros. Os valores obtidos de recarga para esse poço variaram de 4.6 a 9.1 milímetros por mês dependendo do rendimento específico utilizado.

Tabela 17. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500029179.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.79
Δh_2 (m)	2.13
Δh_3 (m)	0.18
Total recarga (mm)	3100.8
Período (meses)	68
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	4.6
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	6.8
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	9.1

Fonte: elaboração própria (2018).

Dividindo a recarga pelo total de precipitação, os resultados de percentual de recarga visto evento de precipitação resultam valores idênticos aos da estimativa de recarga pelo método VNA. Esse poço não possui falhas nos dados tantos de precipitação quanto de nível de água. Esses resultados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500029179.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	6796.0	6796.0	6796.0
Total de recarga (mm)	310.1	465.1	620.2
% Recarga	4.6	6.8	9.1

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 14 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação referentes ao Poço 3500034023, também apresenta as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados. Esse poço possui uma série histórica bastante reduzida comparada aos outros poços. No período de julho e agosto de 2015 não há dados disponíveis de precipitação, possivelmente, observando o nível de água subterrânea, não foi um intervalo de tempo com precipitações volumosas. No intervalo de abril de 2017 até julho de 2017 não há dados de nível de água subterrânea disponíveis. É possível verificar que o nível de água subterrânea possui comportamento bastante sensível aos eventos de precipitação. A maior ascensão de nível de água subterrânea observada foi após evento de precipitação acima de 400 milímetros. A seção filtrante do Poço 3500034023 está localizada há 28 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 56 metros de profundidade. Observando a Figura 14, o nível de água subterrânea varia entre 6 metros até 10 metros de profundidade, estando o nível de água próximo da superfície do terreno. Assim como o Poço 3500028111, a recarga pode ocorrer de forma mais rápida, dessa forma há uma resposta mais efetiva das variações de níveis de água para volumes menores de precipitação.

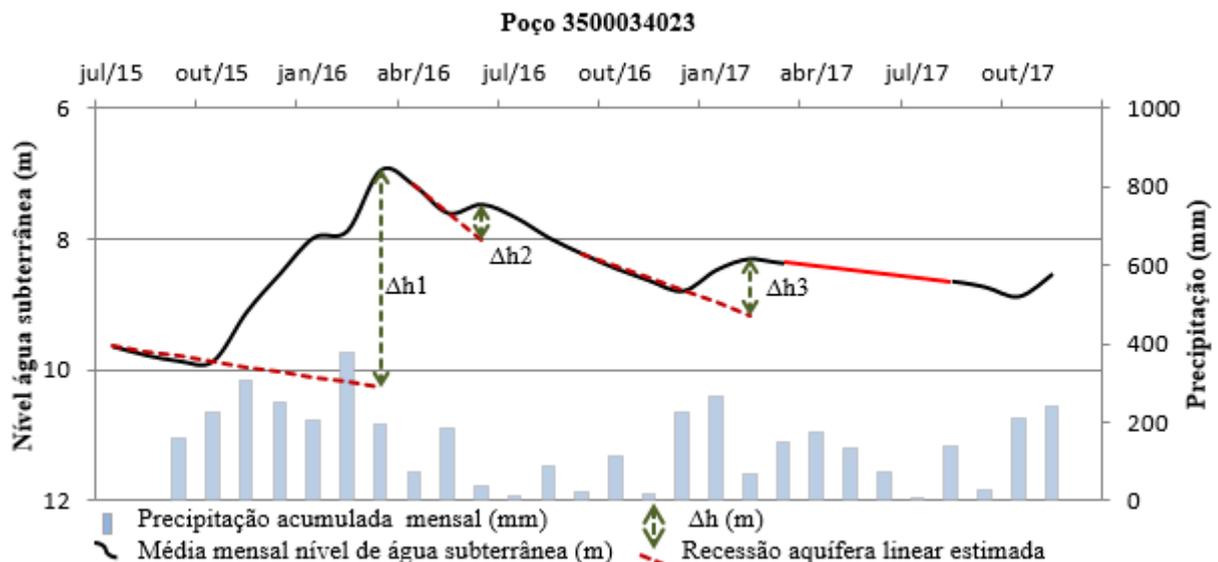


Figura 14. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500034023. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 18 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500034023. Foram identificados três eventos de variação de nível (Δh) para esse poço. A recarga total estimada para o período estudado de 25 meses de dados disponíveis foi de 4753.5 milímetros. Os valores obtidos de recarga para esse poço foram bastante altos, variando de 19.0 a 38.0 milímetros por mês dependendo do rendimento específico. Esse resultado mais elevado de recarga sofre influência da série curta de dados disponíveis para análise.

Tabela 18. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500034023.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	3.33
Δh_2 (m)	0.56
Δh_3 (m)	0.87
Total recarga (mm)	4753.5
Período (meses)	25
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	19.0
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	28.5
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	38.0

Fonte: elaboração própria (2018).

Ao dividir o total de recarga pelo total de precipitação, são obtidos resultados com valores bastante diferentes da estimativa de recarga realizada pelo método VNA. Como não é possível estimar o possível Δh devido falhas nos dados de nível no período de abril de 2017 até julho de 2017, as precipitações de fevereiro de 2017 até abril de 2017, consideradas como contribuintes do possível Δh , foram desconsideradas para estimar o % de recarga. Esses resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Resultados % recarga por precipitação para o Poço 3500034023.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	3582.6	3582.6	3582.6
Total de recarga (mm)	475.3	713.0	950.7
% Recarga	13.3	19.9	26.5

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 15 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação referentes ao Poço 500026836, também apresenta as curvas de recessão

extrapoladas e Δh estimados. No período janeiro e fevereiro de 2016 e de abril de 2017 até novembro de 2017 não há dados disponíveis de precipitação, intervalo de tempo de falhas bastante prolongado. Além disso, no intervalo de novembro de 2014 até junho de 2015 não há dados de nível de água subterrânea disponíveis. As falhas de precipitação antecedem e ocorrem também após o período da maior ascensão observada no nível de água, por volta de agosto de 2016. O comportamento do nível de água não é tão similar ao comportamento da precipitação para esse poço. A seção filtrante do Poço 3500026836 está localizada há 32 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 56 metros de profundidade. O nível de água subterrânea está reativamente próximo da seção filtrante do poço, variando de 35 metros até 41 metros de profundidade em relação ao nível do terreno.

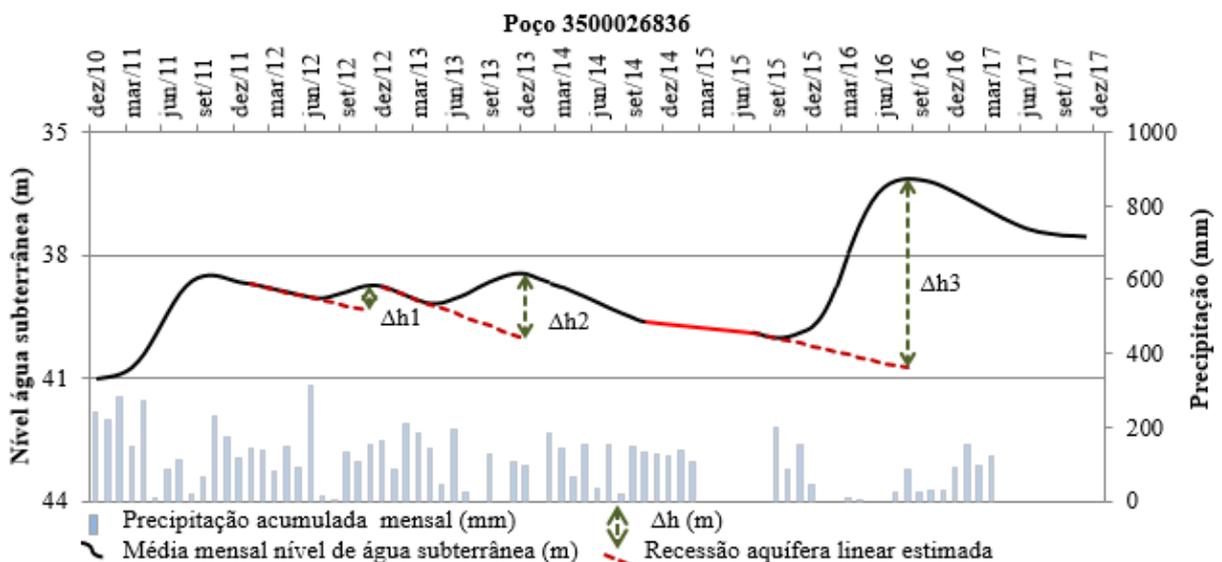


Figura 15. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500026836. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 20 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500026836. Foram identificados três eventos de variação de nível (Δh) para esse poço. A recarga total estimada para o período estudado de 76 meses de dados disponíveis foi de 6830.1 milímetros. Os valores obtidos de recarga para esse poço variaram de 9.0 a 18.0 mm por mês dependendo do rendimento específico.

Tabela 20. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500026836.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.62
Δh_2 (m)	1.59
Δh_3 (m)	4.61
Total recarga (mm)	6830.1
Período (meses)	76
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	9.0
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	13.5
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	18.0

Fonte: elaboração própria (2018).

Os percentuais de recarga, total de recarga pelo total de precipitação, para o Poço 3500026836 resultaram valores um pouco diferentes da estimativa de recarga pelo método VNA. Como não foi possível extrapolar curva de recessão para a primeira variação de nível observada na Figura 15, o período de chuva de dezembro de 2010 até abril de 2011 foi desconsiderado para realizar essa estimativa de percentual de recarga. Além disso, há falhas nos dados de precipitação que possivelmente são contribuintes para o Δh_3 para esse poço, atribuindo possíveis incertezas na estimativa de percentual de recarga. Esses resultados são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21. Resultados % recarga por precipitação para o Poço 3500026836.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	5711.0	5711.0	5711.0
Total de recarga (mm)	221.7	332.5	443.4
% Recarga	11.0	16.5	22.1

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 16 apresenta os dados disponíveis de nível de água subterrânea e de precipitação referentes ao Poço 500026840, assim como apresenta também as curvas de recessão extrapoladas e Δh estimados. No intervalo de novembro de 2014 até junho de 2015 e de dezembro de 2016 até fevereiro de 2017 não há dados de nível de água subterrânea disponíveis. É possível observar que a variação do nível de água é bastante sensível a eventos de precipitação para esse poço. A seção filtrante do poço está localizada há 36 metros de profundidade em relação ao nível do terreno, estendendo-se até os 56 metros de profundidade.

Assim como os Poços 3500028111 e 3500034023, o nível de água subterrânea está muito próximo da superfície do terreno, variando de 1 metro até 5 metros de profundidade. Dessa forma a recarga pode ocorrer de forma mais rápida, ocorrendo, assim, uma resposta mais efetiva das variações de níveis de água para volumes menores de precipitação.

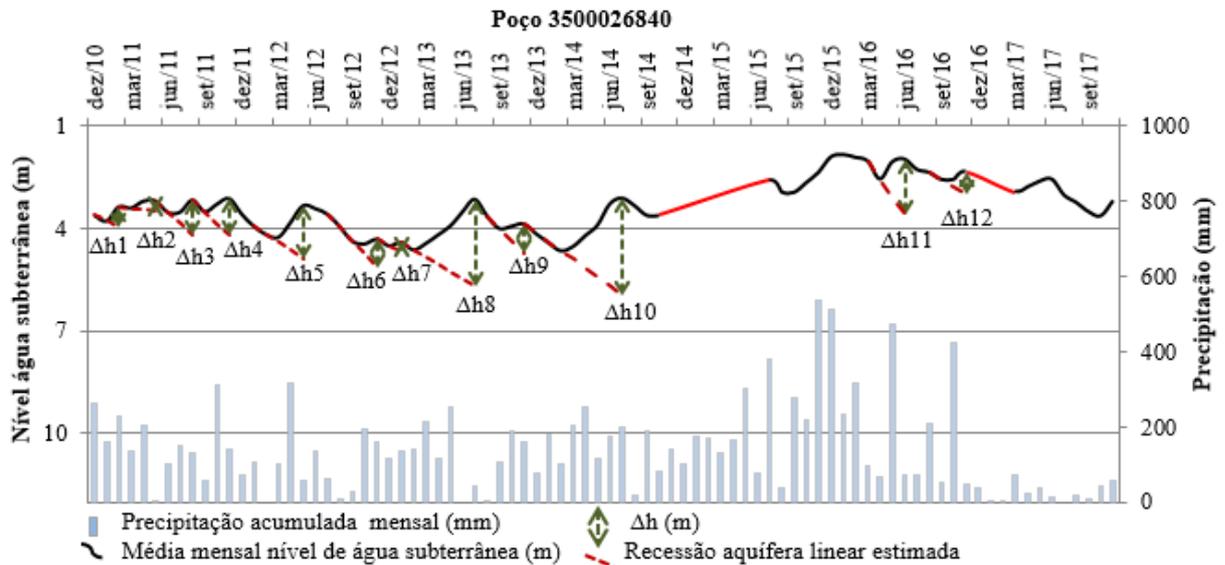


Figura 16. Nível de água subterrânea e de precipitação, curvas de recessão e Δh estimadas para o Poço 3500026840. Fonte: elaboração própria (2018).

A Tabela 22 apresenta os resultados de estimativa de recarga realizada para rendimentos específicos nos valores de 0.10, 0.15 e 0.20 para o Poço 3500026840. Foram identificados doze eventos de variação de nível (Δh) para esse poço. A recarga total estimada para o período estudado de 73 meses de dados disponíveis foi o mais alto entre os poços estudados, no volume de 14047.7 milímetros. Os valores obtidos de recarga para esse poço foram os mais altos, variando de 19.2 a 38.5 milímetros por mês dependendo do rendimento específico. Esse resultado pode estar sofrendo forte influência em função das falhas nos dados de nível de água, indicando incertezas muito elevadas nas estimativas.

Tabela 22. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500026840.

Parâmetro	Valor
Δh_1 (m)	0.58
Δh_2 (m)	0.29
Δh_3 (m)	1.02
Δh_4 (m)	1.06
Δh_5 (m)	1.54
Δh_6 (m)	0.83
Δh_7 (m)	0.29
Δh_8 (m)	2.53
Δh_9 (m)	0.86
Δh_{10} (m)	2.81
Δh_{11} (m)	1.62
Δh_{12} (m)	0.64
Total recarga (mm)	14047.7
Período (meses)	73
Recarga para $S_y = 0.1$ (mm/mês)	19.2
Recarga para $S_y = 0.15$ (mm/mês)	28.9
Recarga para $S_y = 0.20$ (mm/mês)	38.5

Fonte: elaboração própria (2018).

Dividindo o total de recarga pelo total de precipitação, os resultados de percentual de recarga resultam valores relativamente parecidos com a estimativa de recarga pelo método VNA. Contudo, há falha nos dados de nível de água que, para estimar o percentual de recarga, foram desconsiderados os períodos de precipitação de outubro de 2014 até novembro de 2015 e de novembro de 2016 até novembro de 2017. Esses resultados são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Resultados % recarga por precipitação para o Poço 3500026840.

	Sy=0.10	Sy=0.15	Sy=0.20
Total de chuva (mm)	8631.5	8631.5	8631.5
Total de recarga (mm)	1404.8	2107.2	2809.5
% Recarga	16.3	24.4	32.5

Fonte: elaboração própria (2018).

6.3. Discussão Sobre a Recarga Aquífera

A recarga estimada de acordo com o método apresentou resultados bastante variáveis entre os poços da rede RIMAS. É possível, também, verificar que a estimativa de recarga responde de forma bastante sensível com a alteração do rendimento específico escolhido. Entre os fatores que influenciaram nas variações de recargas obtidas entre os poços, é possível observar influência em função das profundidades dos níveis de água e influência devido geologia descrita no perfil dos poços. Contudo, a recarga depende também da situação do local onde está o poço, sendo influenciada pelos tipos de solos da região e das áreas próximas, assim como o relevo e uso e ocupação do solo.

Para visualização dos poços na área e estudo, a Tabela 24 apresenta os poços numerados de um a nove com os respectivos códigos dos poços da rede RIMAS.

Tabela 24. Resultados de estimativa de recarga para o Poço 3500026840.

Código poço (RIMAS)	Numeração de identificação
3500036838	1
3500028111	2
3500029180	3
3500026837	4
3500029178	5
3500029179	6
3500034023	7
3500026836	8
3500026840	9

Fonte: elaboração própria (2018).

A Figura 17 apresenta com mapa com os poços do estudo identificados de 1 a 9 inseridos no Sistema Aquífero Caiuá.

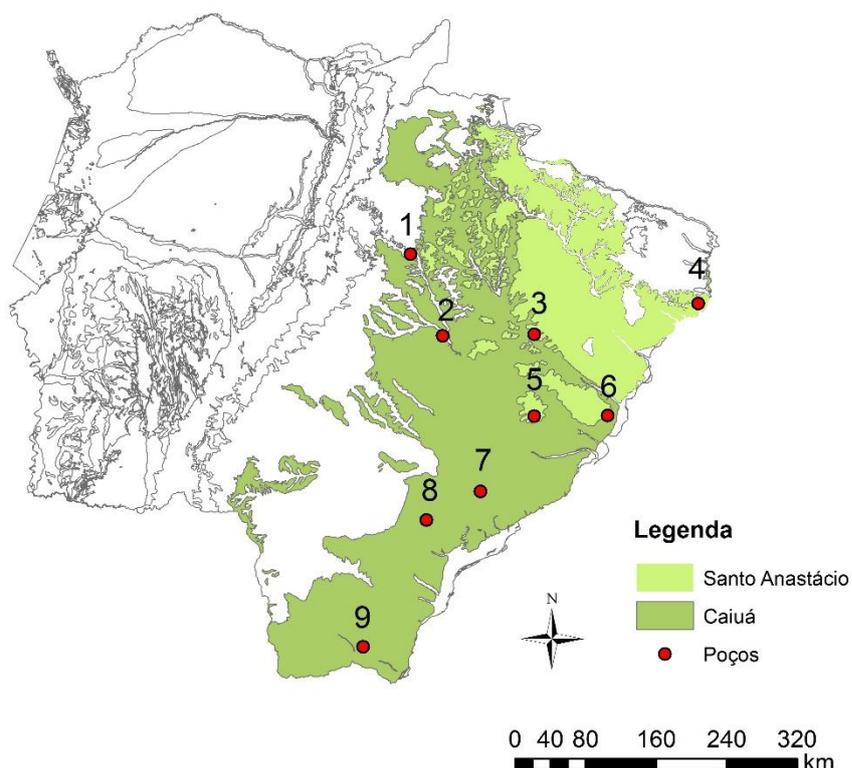


Figura 17. Localização e identificação dos poços de monitoramento da rede RIMAS inseridos no Sistema Aquífero Caiuá. Fonte: elaborado e adaptado com base no Mapa de Geodiversidade Estadual (CPRM, 2009).

As recargas mais baixas observadas foram nos Poços 3 e 6 que também apresentaram resposta mais lenta nas variações de nível de água frente aos eventos de precipitação. Esses poços possuem granulometria predominantemente mais fina com presença de características argilosas e níveis de água mais profundos, entre 25 e 35 metros em relação ao nível do terreno. O Poço 2 também apresenta recargas baixas, em sequência aos dois poços anteriormente mencionados, sendo também observado para esse poço granulometria predominantemente mais fina. Contudo, o nível da água subterrânea manteve-se pouco profundo, o que explica possivelmente a resposta rápida aos eventos de precipitação.

Recargas intermediárias foram observadas nos poços 1, 5 e 8. O Poço 5 respondeu de forma rápida aos eventos de precipitação, possuindo nível de água relativamente próximo da superfície e a granulometria para esse poço é predominantemente fina com presença de características argilosas e grãos mais grossos para diferentes níveis do perfil geológico do poço. O Poço 1, que respondeu de forma rápida aos eventos de precipitação, apresentou níveis de água mais profundos e descrição litológica como de arenito fino em todo o perfil geológico do poço. O Poço 8 apresenta o nível de água mais profundo entre os poços estudados, respondendo de forma lenta aos eventos de precipitação. A granulometria desse poço é

marcada pela ocorrência de solos argilo arenosos e rochas sedimentares de granulometria com presença de argilas.

As recargas mais elevadas foram encontradas nos poços 4, 7 e 9. O Poço 4, possui granulometria predominantemente fina, mas com grãos mais grossos nas porções mais profundas no perfil do poço. O nível de água está relativamente próximo da superfície para esses poços, as variações de nível mostraram em geral uma resposta mais rápida e sensível à precipitação para os poços com níveis de água pouco profundos, como já foi observado por Healy e Cook (2002) e Maziero e Wendland (2005) em seus respectivos estudos com aplicação do método. O Poço 7 possui granulometria mais grossa entre os poços estudados e nível de água bastante próximo da superfície, de forma a explicar os resultados elevados de recarga. Ainda, as falhas nesse poço indicariam talvez mais algum Δh , observando os dados de precipitação no período de falhas, o que poderia elevar os resultados de recarga, contudo a série curta de dados também influencia de forma a superestimar os resultados de recarga. O Poço 9, possui o nível de água mais próximo à superfície entre os poços estudados, contudo a granulometria desse poço é predominantemente mais fina. Esse poço possui falhas nos dados de nível que poderiam alterar significativamente a recarga estimada, mas ainda assim seria o poço de maior recarga entre os poços estudados.

Na Figura 18 são apresentas, de forma especializada, os resultados de recarga estimados para os rendimentos específicos variando entre 0.10, 0.15 e 0.20 para os poços estudados.

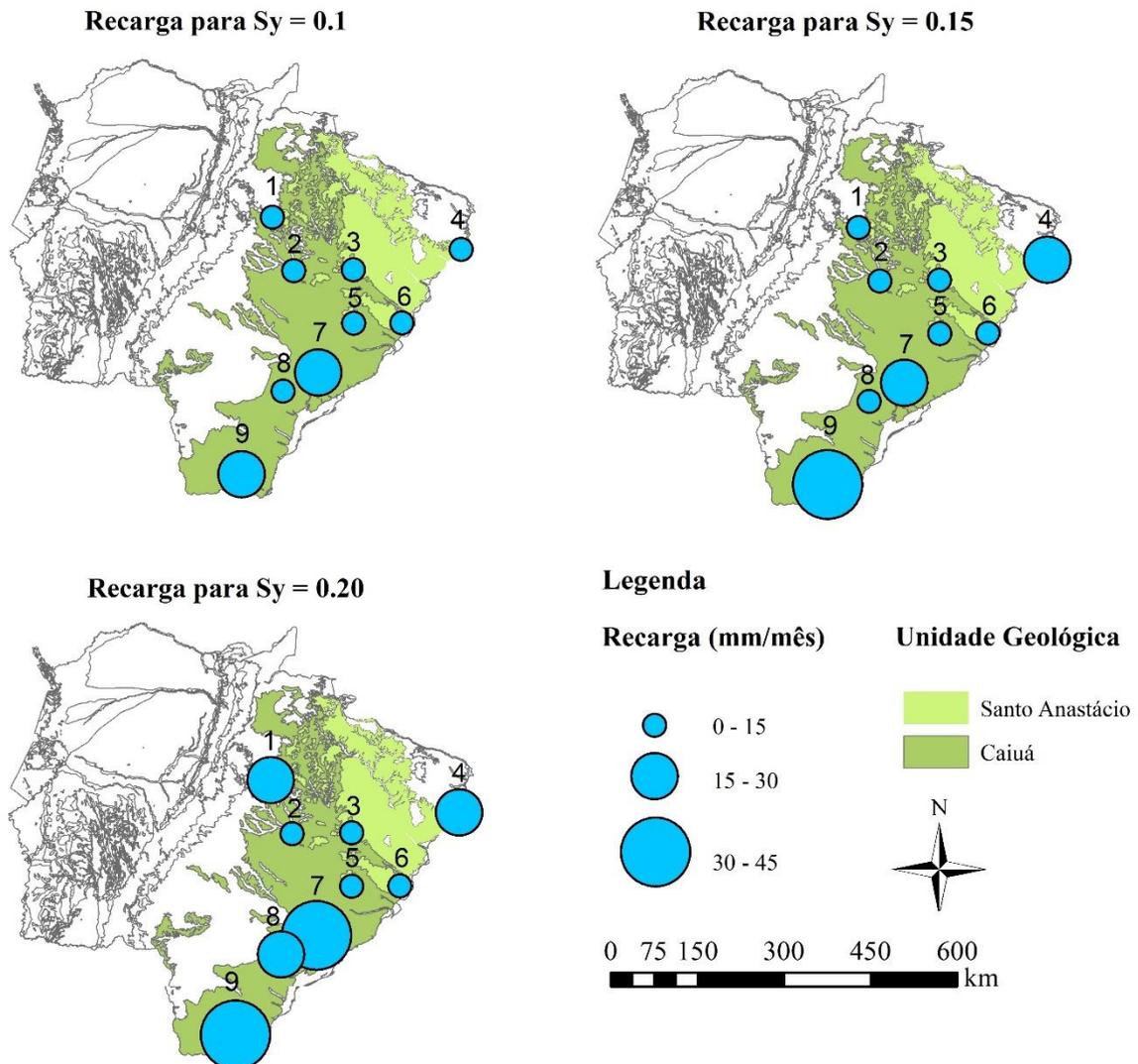


Figura 18. Recarga em milímetros por mês obtida para cada poço estudado para as séries de dados temporais disponíveis. Fonte: elaborado e adaptado com base no Mapa de Geodiversidade Estadual (CPRM, 2009).

Os poços 2, 3, 5 e 6 que estão localizados próximos do centro da Figura 18, apesar de apresentarem alteração na estimativa de recarga com a mudança do rendimento específico, não alteraram de forma a trocar a classificação de acordo com a Figura, mantendo os resultados de recarga pelo método VNA entre 0 e 15 milímetros por mês.

A fim de estimar um valor médio de recarga para o sistema aquífero na região de estudo, foi realizada a média entre os quatro poços do estudo que não apresentaram falhas nos dados e mantiveram valores relativamente próximos de recarga entre eles. Três desses poços se mantiveram com o resultado de recarga até 15 milímetros por mês, mesmo alterando o rendimento específico, com resultados, dessa forma, mais estáveis. O quarto poço apresentou resultados de recarga relativamente próximos dos outros três, sendo o máximo resultado obtido de recarga, para Sy igual 0.20, de 16.8 milímetros por mês. Além disso, foram os

poços que mais tiveram seus resultados de percentual de recarga por precipitação próximos dos valores de recarga obtidos pelo método VNA. Considerando essas observações, a recarga entre esses quatro poços, 1, 2, 3 e 6, variou de 4.6 a 16.8 milímetros por mês e a média das recargas, para S_y no valor de 0.15, foi de 9.4 milímetros por mês. Enquanto a média para percentual de recarga devido precipitação, utilizando também S_y igual a 0.15, foi de 9%. Tendo em vista que a recarga obtida foi bastante baixa, comparado a outros estudos sobre o mesmo aquífero, foi adotado o valor médio de 0.15, em vez de um valor mais restritivo de 0.10 de rendimento específico.

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho estudou nove poços tubulares da rede RIMAS pertencente a CPRM com dados de monitoramento de nível e dados de precipitação associados aos locais dos poços para estimar a recarga do Sistema Aquífero Caiuá por meio do método VNA e analisar a relação da recarga estimada com dados de precipitação nos locais dos poços.

Com base nos resultados obtidos, é possível observar bastante diferença entre poços do estudo. Os resultados de recarga variaram de 4.6 à 19.2 mm/mês para S_y igual a 0.10, de 6.8 à 28.9 mm/mês para S_y igual a 0.15 e de 9.1 à 38.5 mm/mês com S_y igual a 0.20. Evidenciando a sensibilidade do método à mudança do rendimento específico.

O percentual de recarga relacionado com a precipitação apresentou resultados relativamente próximo da recarga calculada pelo método na maioria dos poços. Nos poços em que não houveram falhas nos dados de precipitação e de nível, esses resultados ficaram ainda mais próximos, ressaltando o quanto as existências de falhas nos dados, tanto de precipitação quanto de nível de água, afetam de forma significativa os resultados de percentual de recarga em função da precipitação total, assim como atribuem incertezas à estimativa de recarga pelo método VNA.

O valor de 9.4 mm/mês foi definido como valor médio para o aquífero na região de estudo, estimativa realizada com base nos quatro poços do estudo que não apresentaram falhas nos dados, utilizando S_y no valor de 0.15. Além disso, foram os poços que mais tiveram seus resultados de percentual de recarga por precipitação próximos dos valores de recarga obtidos pelo método VNA. A média de percentual de recarga, para S_y igual a 0.15, resultou 9% de recarga por precipitação total.

Quanto a análises das variações de nível de água com a precipitação, em geral, com exceção do Poço 3500026840, os poços que apresentaram uma resposta mais lenta possuem a descrição geológica indicando a ocorrência de rochas sedimentares de granulometria mais fina, bem como a presença de solos argilo-arenosos. Quanto a profundidade dos níveis de água, as variações de nível mostraram em geral uma resposta mais rápida e sensível à precipitação para os poços com níveis de água pouco profundos, também deve ser observado que podem estar mais sensíveis e suscetíveis a fatores externos que são desconsiderados pelo método. Em adição, é de grande importância considerar que a recarga depende também da situação do local onde está o poço, sendo influenciada pelos tipos de solos da região e das áreas próximas, assim como pelo relevo e uso e ocupação do solo.

A metodologia de forma geral foi bastante simples e prática de ser aplicada, com capacidade de integrar uma grande área e possibilitar uma estimativa de recarga real. Além disso, essa técnica possui bastante versatilidade de análise temporal, podendo ser utilizada em séries longas ou mais curtas de análise, como foi o caso da variação de disponibilidade de série temporal dos dados entre os poços deste estudo. Contudo, atenção deve ser dada sobre as limitações do método, não podendo ser considerada como técnica absoluta e segura de estimativa, reforçando aplicação de mais técnicas para um mesmo sistema de estudo a fim de ampliar o grau de confiança para fins de gestão das águas subterrâneas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Relatório Pleno**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, 2005.

BARRETO, C. E. A. G. **Balço Hídrico em Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de Monitoramento Hidrogeológico em Bacia Representativa**. São Carlos, 2006.

BEAR, J. **Dynamics of Fluids in Porous Media**. New York, 1972.

CAMPOS, H. C. N. S. **Águas subterrâneas na Bacia do Paraná**. Florianópolis-SC, 2004.

COELHO, R. M. P.; HAVENS, K. **Crise nas Águas - Educação, Ciência e Governança, Juntas, Evitando Conflitos Gerados por Escassez e Perda da Qualidade das Águas**. Belo Horizonte - MG, 2015.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre, 2013.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. **As barragens e a água do mundo**. Paris, 2008.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. **Intensive Use of Groundwater Challenges and Opportunities**. Spain, 2001.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Síntese dos Planos de Bacia – Plano Estadual de Recursos Hídricos**. São Paulo, 2005.

EILERS, V. H. M. **Estimativa de Recarga de Águas Subterrâneas Utilizando o Método do Balço Hídrico**. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá-MS, 2004. 20p.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2008. 812 p.

FILHO, J. M. **Ocorrência das Águas Subterrâneas**. In FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2008. p. 53-75.

FILHO, J. L. A. et al. **O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável**, v. 32, n. 2, nov. 2011. p. 53-61.

HEALY, R.W. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge, 2010.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. **Using groundwater levels to estimate recharge**. Hydrogeology Journal, v. 10, n. 1. Springer-Verlag, Berlin, Feb. 2002. p. 91-109.

HIRATA, R. et al. **Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial**. São Paulo, 2010. p. 147-161.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. 2004. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná**. Produto 1.2 – Parte B. Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas. Paraná, 2010.
MENTE, A. **A Água Subterrânea no Brasil**. In: FEITOSA, F. A. C. et al. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2008. 812 p.

JUNIOR, A. C. S. **Estimativa de Recarga no Aquífero Caiuá no Estado do Paraná**. Curitiba, 2017.

MEINZER, O. E. **The occurrence of groundwater in the United States with a discussion of principles**. Washington, 1923.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas: Um Recurso a ser Conhecido e Protegido**. Brasília, 2007.

REBOUÇAS, A. C. **A Política Nacional de Recursos Hídricos e as Águas Subterrâneas**. Revista de Águas Subterrâneas nº 16. São Paulo, 2002.

REBOUÇAS, A. C. **Importância da Água Subterrânea**. In: FEITOSA, F. A. C. et al. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2008. 812 p.

REBOUÇAS, A. C. **Uso Inteligente da Água**. São Paulo, 2008.

SCANLON, B.R. et al. **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge**. Hydrogeology Journal, vol 10, nr. 1. Berlin, 2002. p.18-39.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO E TECNOLOGIA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (PERH-MS)**. Campo Grande – MS, 2010. 196 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa de Geodiversidade do Estado de Mato Grosso do Sul**. 2009. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Mapas-de-Geodiversidade-Estaduais-1339.html>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado do Mato Grosso do Sul**. 2006. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_mato_grosso_sul.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Rede RIMAS de Monitoramento**. Disponível em: <<https://www.cprm.gov.br/publique/Sistemas-Geocientificos/SIAGAS-e-RIMAS-3550.html>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Relatório de Diagnóstico: Sistema Aquífero Bauru Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná**. Volume 14. 2012.

SIMON, F. W. et al. **Estimativa de Recarga do Sistema Aquífero Guarani por Meio da Aplicação do Método da Variação da Superfície Livre na Bacia do Rio Ibicuí – RS**. São Paulo, 2017.

THE UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT. **Report 3: Water in a changing world**. Paris and London, 2009.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. **Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em Uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo)**. São Paulo, 2005.