

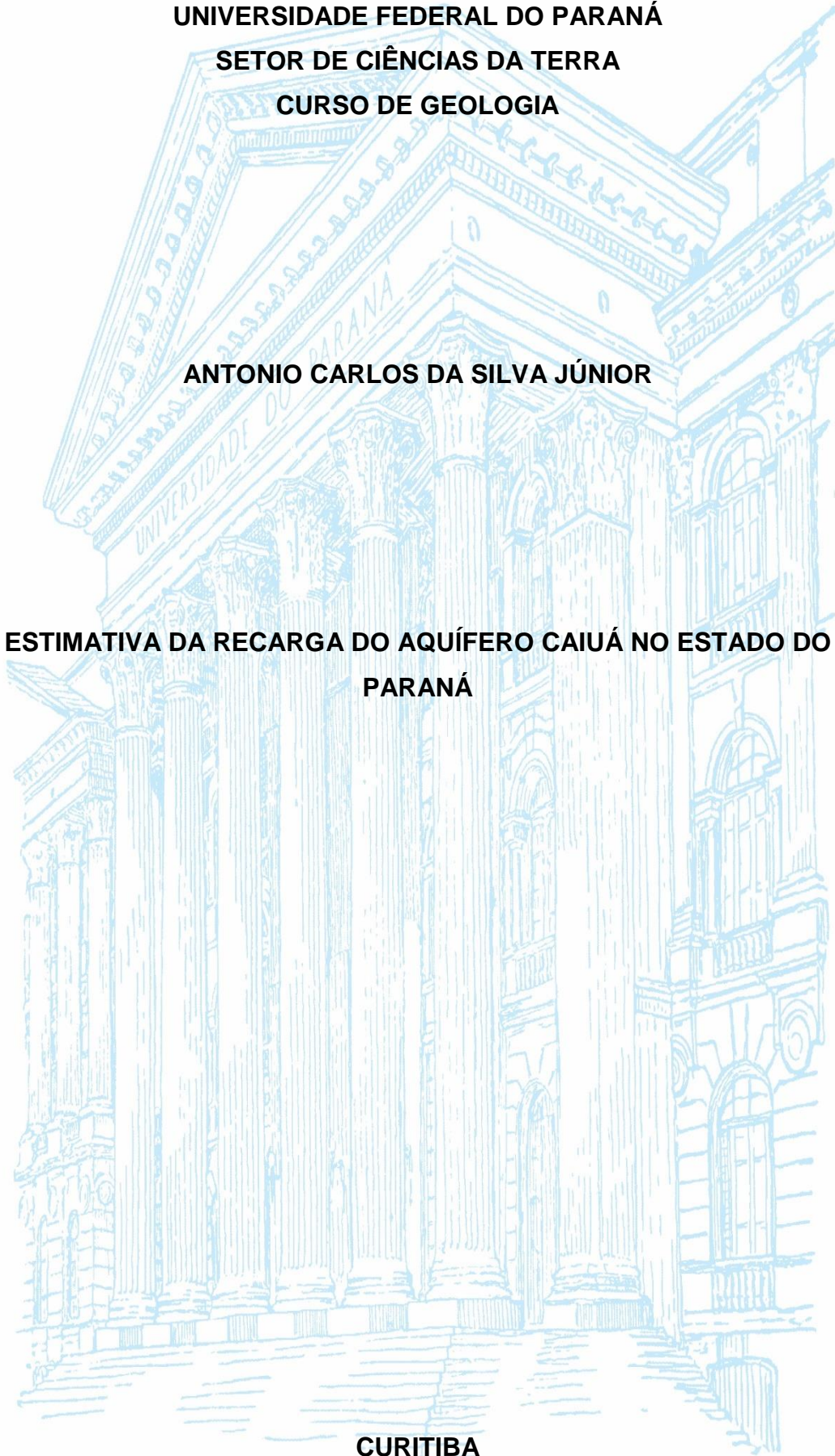
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

ANTONIO CARLOS DA SILVA JÚNIOR

**ESTIMATIVA DA RECARGA DO AQUÍFERO CAIUÁ NO ESTADO DO
PARANÁ**

CURITIBA

2017



ANTONIO CARLOS DA SILVA JÚNIOR

**ESTIMATIVA DA RECARGA DO AQUÍFERO CAIUÁ NO ESTADO DO
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa.Dra. Camila de Vasconcelos Müller Athayde

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me dá forças a todos os momentos, além de ser meu refúgio.

Agradeço aos meus pais, por me darem o dom da vida, por me incentivarem a perseguir os meus objetivos, e nunca me deixar desistir.

Ao meu irmão, por todo o apoio necessário quando mais precisei.

À minha namorada e melhor amiga, Mariana do Nascimento Diz, por estar comigo a todos os momentos, e por dividir sua vida comigo.

À professora Dra. Camila de Vasconcelos Müller Athayde, pela extrema dedicação e toda a orientação necessária para a conclusão do presente trabalho.

Ao professor Dr. Gustavo Barbosa Athayde, pelas valiosas dicas prestadas ao decorrer do trabalho.

E por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, e acompanharam-me desde o começo da minha caminhada até aqui.

RESUMO

Devido à extrema importância do Aquífero Caiuá para o Estado do Paraná, o presente estudo visa estimar a recarga do Aquífero Caiuá em 11 poços tubulares profundos localizados no noroeste do Paraná, utilizando o método *Water Table Fluctuation (WTF)*. Para isso, são utilizados dados da rede RIMAS/CPRM, referentes ao monitoramento diário da variação do nível estático, além de dados de precipitação diária extraídos do ÁGUASPARANÁ/Instituto das Águas do Paraná, com o objetivo de determinar se há uma relação direta entre a recarga com a precipitação, além de determinar uma porcentagem para essa relação. Foram elaborados 11 gráficos da variação do nível estático, em poços tubulares localizados em 11 cidades monitoradas no período compreendendo janeiro/2015 a março/2017. Após a construção dos gráficos, os dados foram interpretados pelo método *WTF* para a estimativa da recarga em cada poço. A recarga média englobando todos os poços tubulares utilizados neste estudo foi de 1.101 mm, com a cidade de Altônia tendo o maior valor dentre os analisados (2.584 mm), e a cidade Porto Rico no outro extremo, com a recarga estimada de 440 mm. A relação média entre recarga pela precipitação é de aproximadamente 34% dentre todos os poços tubulares monitorados. Cabe destaque para o grande evento de recarga ocorrido no aquífero Caiuá, onde os poços apresentaram grande amplitude positiva de variação do nível. Os resultados mostram a importância de monitoramento da recarga, visando maximizar o uso dos recursos hídricos subterrâneos.

Palavras chave: *water table fluctuation*, recarga, Aquífero Caiuá.

ABSTRACT

Due to the extreme importance of the Caiuá Aquifer to the State of Parana, the present study aims to estimate the recharge of the Caiuá Aquifer in 11 deep tube wells located in the northwest of Parana, using the Water Table Fluctuation (WTF) method. For this, data from the RIMAS / CPRM are used, which are basically daily monitoring data of static level variation, in addition to daily precipitation data extracted from ÁGUASPARANÁ / Instituto das Águas do Parana, to determine if there is a direct relationship between recharge with precipitation, and to determinate a percentage for this relation. Eleven graphs of static level variation were developed based on tubular wells located in 11 cities monitored in the period from January 2015 to March 2017. After the graphs were constructed, the data were interpreted by the WTF method to estimate the recharge in each well. The average recharge of all tubular wells used in this study was 1.101 mm, with the city of Altônia having the highest value among the analyzed (2.584 mm), and the city of Puerto Rico at the other end, with an estimated recharge of 440 mm. The average ratio between recharge by precipitation is approximately 34% of all monitored tubular wells. It is important to highlight the great recharge event occurred in the Caiuá aquifer, where the wells presented a large positive amplitude variation of the level. The results show the importance of monitoring the recharge, aiming to maximize the use of groundwater resources.

Keywords: water table fluctuation, recharge, Caiuá aquifer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da extensão e localização do Aquífero Caiuá no Paraná. (Retirado de Celligoi, 2000).....	4
Figura 2: Mapa dos poços de monitoramento do programa RIMAS no Aquífero Caiuá no noroeste do Paraná que serão utilizados para a estimativa da recarga. (Fonte: RIMAS/CPRM, 2017).....	4
Figura 3: Mapa indicando os tipos de captações de água no Estado do Paraná por município. (FONTE: SANEPAR, 2015)	6
Figura 4: Elevação hipotética do nível d'água em poço em resposta a precipitação (Retirado de Maziero e Wendland, 2005).	9
Figura 5: Mapa de interpolação pelo método de Krigagem, mostrando a precipitação total durante o período de análise do aquífero por cidade.	35
Figura 6: Mapa de interpolação da recarga utilizando o método de Krigagem, mostrando a relação espacial entre a recarga e as cidades.	40
Figura 7: Mapa de interpolação da relação recarga / precipitação utilizando o método de Krigagem, mostrando a relação espacial entre as relações e as cidades.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Identificação dos poços de monitoramento localizados na porção noroeste do Paraná no Aquífero Caiuá que servirão como base para o projeto, com seus respectivos dados específicos.	10
Quadro 2: Identificação e localização das estações de monitoramento e seus respectivos dados médios mensais pluviométricos entre os anos de 2000 e 2017.	11
Quadro 3: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Altônia.	13
Quadro 4: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Cianorte.	15
Quadro 5: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Itaúna do Sul.	17
Quadro 6: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Ivaté.	19
Quadro 7: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Paranacity.	21
Quadro 8: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Paranaíba.	23
Quadro 9: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Planaltina do Paraná.	25
Quadro 10: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Porto Rico.	27
Quadro 11: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Tapira.	29
Quadro 12: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Terra Rica.	31
Quadro 13: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Umuarama.	33
Quadro 14: Quadro simplificado contendo os dados calculados à partir dos gráficos de Precipitação x Nível Estático compreendendo o período jan/2015 – nov/2016 por município.	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Altônia.....	14
Gráfico 2: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Cianorte.....	16
Gráfico 3: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Itaúna do Sul.....	18
Gráfico 4: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Ivaté.....	20
Gráfico 5: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jul/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Paranacity.....	22
Gráfico 6: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Paranavaí.	24
Gráfico 7: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Planaltina do Paraná.	26
Gráfico 8: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Porto Rico.	28
Gráfico 9: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Tapira.	30
Gráfico 10: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jul/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Terra Rica.....	32
Gráfico 11: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Umuarama.	34
Gráfico 12: Gráfico da precipitação total mensal por município compreendendo o período jan/2015 – mar/2017.	37
Gráfico 13: Gráfico da recarga total (mm) x precipitação total (mm) por município compreendendo o período total de estudo.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 SISTEMA AQUÍFERO CAIUÁ.....	2
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 OBJETIVOS GERAIS	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3 JUSTIFICATIVA	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
3. RESULTADOS	12
3.1 ALTÔNIA.....	13
3.2 CIANORTE	15
3.3 ITAÚNA DO SUL.....	17
3.4 IVATÉ.....	19
3.5 PARANACITY	21
3.6 PARANAÍ.....	23
3.7 PLANALTINA DO PARANÁ	25
3.8 PORTO RICO	27
3.9 TAPIRA	29
3.10 TERRA RICA	31
3.11 UMUARAMA	33
4. DISCUSSÃO	35
5. CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O atual âmbito da voracidade evolucionária vem trazendo grandes cicatrizes ao decorrer de sua história recente, e obviamente um dos mais afetados por essa crescente demanda do mundo industrial são as nossas reservas naturais, e dentre elas, a água subterrânea. Porém, junto com esse avanço tecnológico, também há grandes descobertas na ciência e na tecnologia que nos auxiliam a frear, ou minimizar o impacto direto no nosso meio ambiente. Conforme o avanço do tempo, a hidrogeologia está dando passos importantes para compreender a complexa atividade natural que envolvem as águas subterrâneas, além das atividades antropológicas recentes que se não medidas podem colocar em risco um dos bens minerais mais preciosos, a água.

O noroeste do Paraná, região sobre a qual a área de pesquisa está inserida, tem o desenvolvimento econômico baseado principalmente na agricultura e na agropecuária, sendo a pastagem sua cultura principal. Com isso, a utilização da água subterrânea torna-se necessária e fundamental, sendo a captação subterrânea o principal tipo de captação nessa região, em muitos casos, como fonte exclusiva de abastecimento. Isso mostra o papel fundamental do Aquífero Caiuá na sociedade, e por isso é necessário monitorar os volumes disponíveis, visando obter uma boa compreensão de seu comportamento nas diferentes épocas do ano. Dentre os principais parâmetros a serem monitorados, sem dúvida, o entendimento de como se comporta a recarga é fundamental para a correta gestão dos recursos hídricos.

Freeze e Cherry (1979) definem recarga como “a entrada de água disponível na zona saturada, juntamente com o fluxo da água ao longo do nível freático no interior da zona saturada”. A taxa de recarga pode ser afetada por diversos fatores, tais como o clima, relevo, proximidade de áreas urbanas, vegetação, entre diversos outros fatores. Há uma vasta gama de métodos com o propósito de determinar a recarga de águas subterrâneas, seja ela de modo direto ou indireto, essas informações dos diferentes métodos podem ser observadas em referências tais como Lerner *et al.* (1990), Scanlon *et al.* (2002), Healy e Cook (2002).

A estimativa da recarga de um aquífero, por ser complexa, envolve refinamentos contínuos na taxa de recarga quando dados adicionais são

coletados, e questionam-se frequentemente estas estimativas com base na incerteza de alguns parâmetros requeridos (Barreto *et al.*, 2007). Um dos métodos mais utilizados para estimar a recarga de um aquífero, aplicados em trabalhos tanto no Brasil quanto no exterior, é o método *Water Table Fluctuation* (WTF). Este método é amplamente utilizado por hidrogeólogos ao redor do mundo desde 1920.

Healy e Cook (2002) citam que a aplicação do método *Water Table Fluctuation* só é válida para aquíferos do tipo livres, além de requerer um monitoramento constante dos níveis de água em um ou mais poços ou piezômetros, e de uma estimativa do armazenamento específico do aquífero. O método é utilizado principalmente pela sua facilidade de aplicação, além da disponibilidade dos dados do nível de água.

Dada toda a importância do Aquífero Caiuá, o presente trabalho visa estimar a recarga deste aquífero, aplicando o método *Water Table Fluctuation* (WTF). Para isso serão utilizados os dados disponíveis de forma gratuita pela CPRM, referentes à rede RIMAS/CPRM (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas), o qual disponibiliza dados referentes à variação dos níveis estáticos nos poços de monitoramento. Estes dados serão comparados aos volumes precipitados, com dados de precipitação extraídos do site ÁGUASPARANÁ (Instituto de Águas do Paraná) para verificar o comportamento do aquífero perante eventos de precipitação ou em períodos de estiagem.

1.1 SISTEMA AQUÍFERO CAIUÁ

O Sistema Aquífero Caiuá é um dos Sistemas Aquíferos mais importantes do Estado do Paraná, fornecendo água para grande parte do noroeste paranaense, como fonte exclusiva no abastecimento. Este aquífero está localizado na região noroeste do estado, constituído basicamente por arenitos finos a médios, quartzosos em sua maioria, bem selecionados, denotando uma alta porosidade, rochas típicas do Grupo Caiuá, Bacia Bauru (Fernandes & Coimbra, 1996). Foi caracterizado como tipo livre e semi-confinado por Rosa Filho (1982).

O Aquífero Caiuá ocupa uma área aproximada de 29.000 km² no estado do Paraná, e consiste em um meio poroso constituído geologicamente pelas

rochas sedimentares cretáceas suprabasálticas da Bacia Sedimentar do Paraná. Essas unidades apresentam características litológicas relativamente homogêneas, sem grandes quantidades de argilas compactas, oferecendo condições para que o Aquífero Caiuá seja um aquífero livre. Os arenitos do Grupo Caiuá, quanto às capacidades da zona saturada, atingem espessuras na ordem de 50 a 100 metros (Celligoi, 2000).

Está localizado em uma ampla região no noroeste do Estado do Paraná (Figura 1) e aflora em mais de 160 municípios, dentre eles Umuarama, Paranavaí e Cianorte. A cota potenciométrica do Aquífero Caiuá varia entre 231,38 m a 719,3 m, com cota mediana de 373,9 m (SANEPAR, 2015). Dados de perfurações de poços, também disponibilizados pela SANEPAR, mostram que a profundidade perfurada varia entre aproximadamente 25,25 metros e 350 metros, com mediana de 102 metros. A vazão média outorgada no Aquífero Caiuá é de 11,8 m³/h, e a soma das vazões outorgadas é de 9.117 m³/h.

A partir da análise físico-química de 44 poços do Aquífero Caiuá, foram classificados 18 tipos principais de água no Aquífero Caiuá. Dos 44 poços, em 12 há ocorrência de águas bicarbonatadas cálcicas, mostrando um predomínio sobre os outros tipos de água, sendo esse seguido por águas bicarbonatadas magnesianas com 6 ocorrências (SANEPAR, 2015).

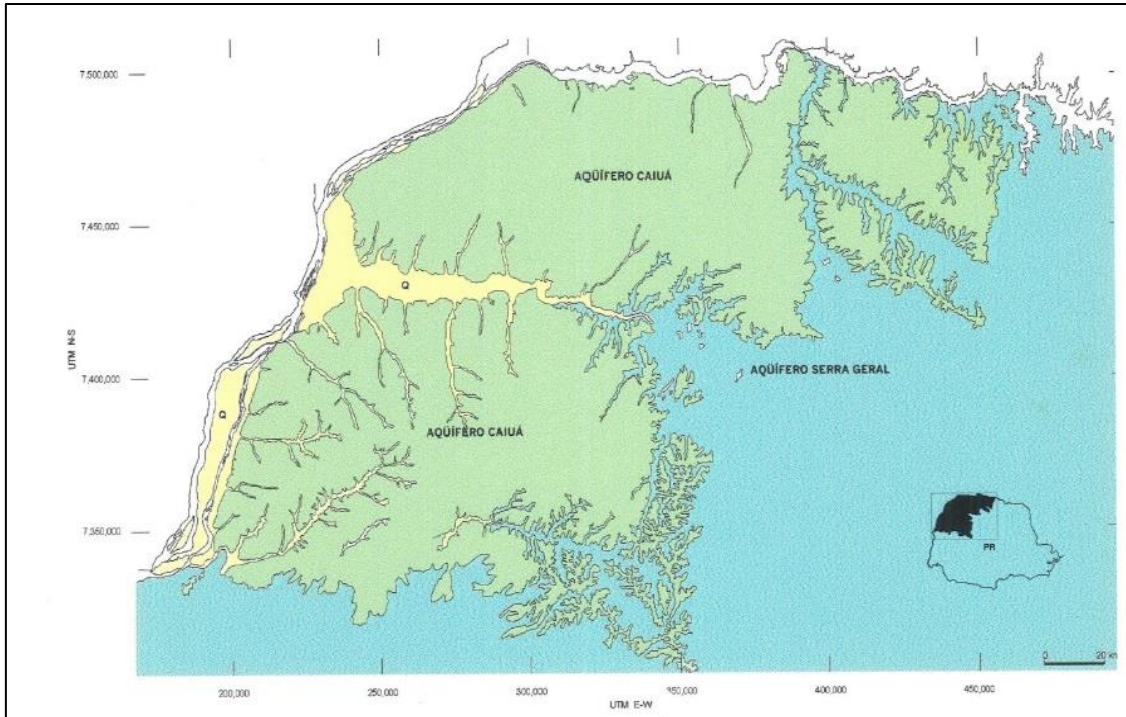


Figura 1: Mapa da extensão e localização do Aquífero Caiuá no Paraná. (Retirado de Celligoi, 2000)

Com o crescente interesse e aumento da importância deste aquífero nas últimas décadas, houve um grande interesse por parte da CPRM em monitorá-lo através do programa RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas). Há atualmente 13 poços de monitoramento da RIMAS no Aquífero Caiuá localizados no noroeste do Paraná, apresentados na figura 2.

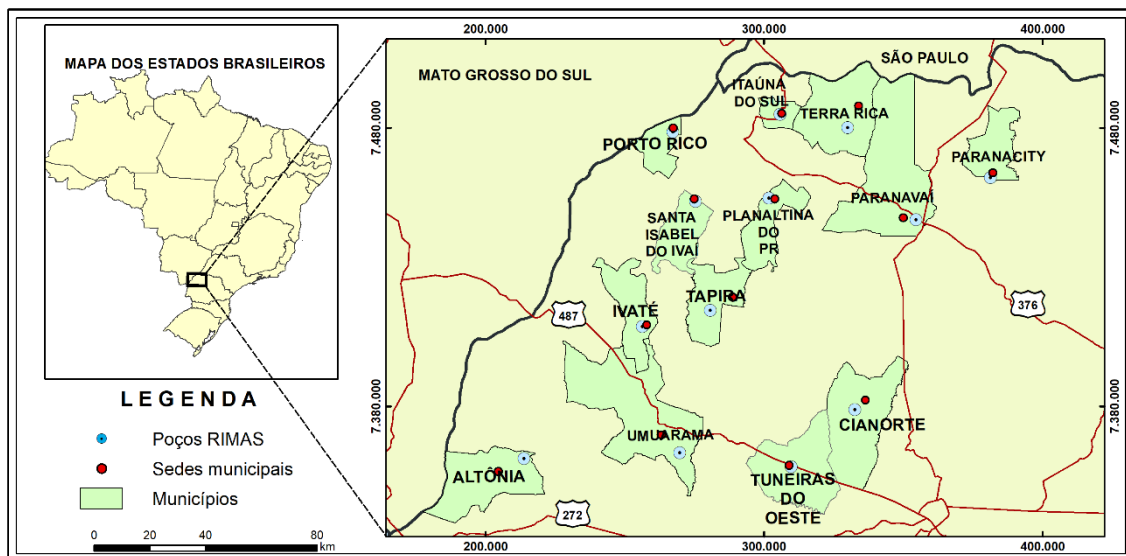


Figura 2: Mapa dos poços de monitoramento do programa RIMAS no Aquífero Caiuá no noroeste do Paraná que serão utilizados para a estimativa da recarga.

O atual estudo, em seu âmbito científico, visa observar a variação da recarga durante os eventos de precipitação ou estiagem, e obter um padrão de comportamento do aquífero durante esses eventos, com o intuito de poder prever e quantificar a recarga em resposta à precipitação. Com a determinação de um padrão de resposta do aquífero aos eventos de precipitação, pode-se ter um maior controle sobre a exploração da água subterrânea, e conseqüentemente a adequação da exploração nos diferentes períodos chuvosos, ou de estiagem.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente projeto tem como principal objetivo estimar a recarga em 11 poços tubulares profundos que monitoram o Aquífero Caiuá no Estado do Paraná.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os eventos de recarga e estimar o volume de recarga correspondente à área de afloramento do aquífero.
- Estimar a porcentagem de recarga em relação a precipitação.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente o Aquífero Caiuá é o segundo aquífero que mais contribui para o abastecimento público no Estado do Paraná. Segundo dados da SANEPAR obtidos no ano de 2014, o Aquífero Caiuá está atrás apenas do Aquífero Serra Geral em relação à porcentagem de água subterrânea explorada, sendo que este contribui com cerca de 55% do total, e o Aquífero Caiuá contribui com cerca de 15% do abastecimento. Além desses números expressivos, observa-se que no noroeste do Paraná, onde está localizado o Aquífero Caiuá, há um predomínio de captação exclusivamente subterrânea para o abastecimento público (Figura 3), ou seja, essa região tem uma dependência extrema do aquífero para os diferentes tipos de consumo e atividades econômicas.

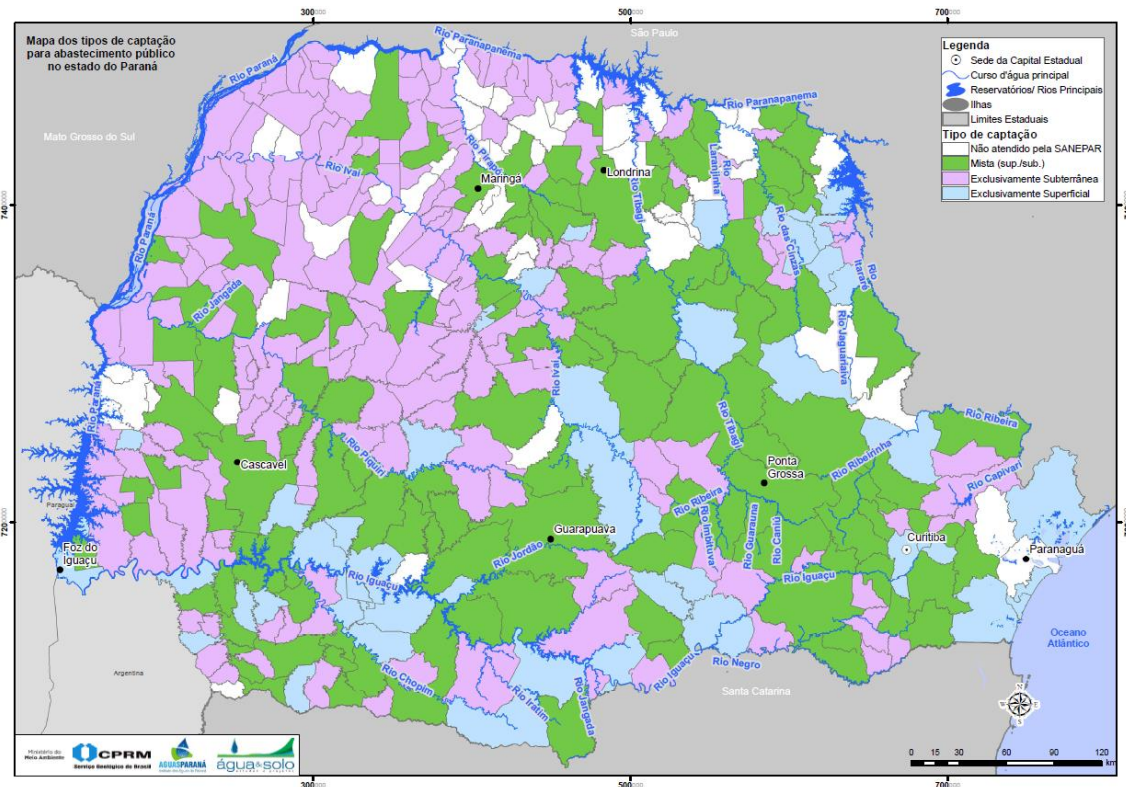


Figura 3: Mapa indicando os tipos de captações de água no Estado do Paraná por município. (FONTE: SANEPAR, 2015)

Segundo dados estatísticos do ÁGUASPARANÁ (2014), estima-se que existam cerca de 771 poços no Aquífero Caiuá com outorga vigente, representando 13,3% dos poços existentes no Estado do Paraná. Esses números expressam o papel fundamental deste aquífero para a sociedade, principalmente para a região noroeste do Paraná.

Atualmente no Brasil, estima-se que haja, pelo menos, 416 mil poços no país, com um aumento anual de 10,8 mil novas captações, abastecendo cerca de 30 a 40% da população, sobretudo em cidades de médio e pequeno porte (Hirata *et al.*, 2010). Exemplos de países que utilizam quase em sua totalidade a água subterrânea para abastecimento público não são difíceis, países como Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia e Suíça controlam rigidamente suas políticas públicas para a exploração dessas águas e atendem cerca de 70% a 90% da demanda para abastecimento público (Rebouças, 2002).

Porém, apesar desses expressivos números, Hirata *et al.* (2010) ainda explicam que a gestão da água subterrânea ainda é muito incipiente no Brasil, não expressando a sua real importância frente a sociedade, e com isso há uma superficialidade no conhecimento do estágio de utilização e das potencialidades

dos aquíferos, além de riscos de contaminação antropogênica que podem até mesmo inviabilizar a exploração da água subterrânea.

Para que a exploração da água subterrânea ocorra de modo sustentável, a taxa de recarga tem que ser maior do que a taxa de exploração da água subterrânea. Porém, o entendimento dos diversos fatores que contribuem para a recarga dos aquíferos é complexo. No mesmo aquífero por exemplo, podem existir inúmeras variáveis que interferem na taxa de recarga, como o solo, topografia, vegetação, uso do solo e clima. O entendimento do comportamento da recarga é de extrema importância para a avaliação da evolução do aquífero, além de ser imprescindível para a gestão sustentável das águas subterrâneas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para estimar a recarga do Aquífero Caiuá, aplicando o método *Water Table Fluctuation* (WTF), serão utilizados os dados disponíveis de forma gratuita pela RIMAS/CPRM, o qual disponibiliza de forma detalhada a variação dos níveis estáticos nos poços de monitoramento. Estes dados serão comparados aos volumes precipitados, com dados de precipitação adquiridos no site ÁGUASPARANÁ (Instituto de Águas do Paraná).

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram obtidos dados de consulta pública disponibilizados na internet, além de softwares para processamento, interpretação e comparação dos dados adquiridos, realizando assim um tratamento desses dados para a finalidade específica atribuída a este trabalho.

O presente trabalho utilizou o Método WTF como método de estimativa de recarga, que segundo Maziero e Wendland (2005) é a técnica mais amplamente usada e atualmente aceita no âmbito nacional e internacional, utilizada com resultados satisfatórios. O método WTF só é aplicável aos aquíferos livres e requer o conhecimento do rendimento específico da formação e das variações nos níveis d'água ao longo do tempo (Barreto et al., 2007).

Este método de estimativa de recarga do aquífero, por ser um dos métodos mais aceitos, foi aplicado em vários trabalhos nacionais e internacionais, e como consequência tem uma base para comparação dos dados e também para avaliar qualitativamente como o método se demonstrou positivamente ou negativamente para os estudos posteriores. Um dos pontos

negativos encontrados no método WTF é que ele pode subestimar a taxa de recarga (Healy; Cook, 2002). Ainda segundo Healy e Cook (2002), as vantagens deste método são basicamente sua simplicidade, e sua sensibilidade aos mecanismos do movimento da água na zona não-saturada. Em geral, o método pode ser aplicado para estimar taxas de recargas quando o nível de água mostra uma resposta rápida para precipitações individuais em áreas com uma zona insaturada relativamente pouco espessa (Moon; Woo; Lee, 2004).

O método WTF utiliza-se da base que as elevações nos níveis d'água em aquíferos não-confinados são devidas à água de recarga nível freático que chega à superfície do aquífero pela precipitação pluviométrica (Healy; Cook, 2002). A recarga pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$R = S_y dh/dt = S_y \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

onde R é a recarga, S_y é o rendimento específico, h é a flutuação do nível do estático, e t é o tempo de monitoramento. Essa equação parte do pressuposto que a água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e que a evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, e a entrada e saída de fluxos sub-superficiais são nulos durante o período de recarga. Há um certo intervalo de tempo durante a chegada de água durante o evento de recarga e a redistribuição dessa água para os outros componentes previamente citados (evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, e a entrada e saída de fluxos sub-superficiais). O método WTF deve ser aplicado, para um resultado satisfatório, durante esse intervalo de tempo antes que haja a transferência dessa água para os outros fatores, que geralmente são períodos curtos de tempo (horas ou alguns dias). Por isso, o tempo é um fator fundamental durante a aplicação desse método, pois se a água for perdida do freático a uma taxa que não seja suficientemente menor do que a taxa de recarga, o método se mostra de pouco valor (Healy; Cook, 2002).

Healy e Cook (2002) ainda determinaram que para o método WTF produzir um valor para a recarga total, é necessário a aplicação da Eq. (1) para todas as elevações individuais do nível d'água, sendo que Δh é classificado como a diferença entre o pico da subida e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o momento do pico de crescimento. A curva de recessão antecedente é o traço que a hidrógrafa do poço de

monitoramento teria seguido na ausência de elevação do nível d'água (Figura 4).

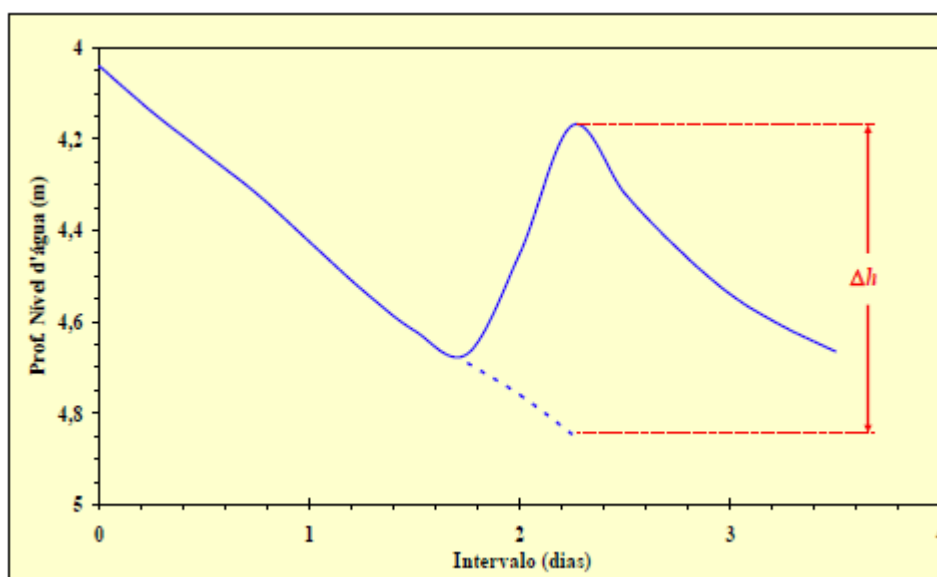


Figura 4: Elevação hipotética do nível d'água em poço em resposta a precipitação (Retirado de Maziero e Wendland, 2005).

Uma outra estimativa calculada no presente trabalho foi a relação entre a recarga/precipitação. Para isso, foram somados todos os dados de precipitação diária no período em questão, a fim de obter a precipitação total compreendido no período de análise da recarga. Após obter a precipitação total no período em estudo, foi dividido o valor estimado da recarga pela precipitação, visando determinar a porcentagem total da precipitação que efetivamente recarregou o aquífero.

Os dados que foram utilizados neste projeto são provenientes de 11 poços tubulares profundos da rede RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas). O quadro 1 apresenta as informações de localização, identificação e alguns dos respectivos dados dos poços tubulares utilizados no monitoramento, tais como o nível estático máximo, o nível estático mínimo, e o nível estático médio no período monitorado (2010 – 2017).

Neste mesmo quadro pode-se visualizar o comportamento geral do aquífero nas diferentes localidades onde há seu monitoramento. É importante ressaltar que apesar de haver 13 poços da RIMAS localizados no Aquífero Caiuá no Paraná, apenas 11 serão utilizados para o desenvolvimento do projeto.

Os poços tubulares localizados nas cidades de Santa Isabel do Ivaí e Tuneiras do Oeste foram desconsiderados no estudo devido à falta de dados

referente ao período janeiro/2015 – julho/2015, impossibilitando a interpretação do Δh para os mesmos poços, não sendo possível observar a recessão da curva do nível estático, e com isso inviabilizando a execução dos cálculos de recarga.

Quadro 1: Identificação dos poços de monitoramento localizados na porção noroeste do Paraná no Aquífero Caiuá que servirão como base para o projeto, com seus respectivos dados específicos.

Identificação	Coordenada UTM (Y)	Coordenada UTM (X)	Município	Intervalo de Aquisição (Data)	Nível Estático Máx (m)	Nível Estático Mín. (m)	Nível Estático Méd. (m)
3500026830	7363217	269780	Umuarama	29/11/2010 - 10/3/2017	8,61	16,65	13,83
3500026831	7361244	213886	Altonia	06/12/2010 - 10/3/2017	22,02	43,44	33,01
3500026832	7446860	354562	Paranavaí	04/12/2010 - 08/3/2017	19,66	25,47	23,44
3500026833	7478447	267245	Porto Rico	05/12/2010 - 09/3/2017	3,97	7,57	6,11
3500026834	7378760	332657	Cianorte	05/12/2010 - 07/3/2017	4,32	14,48	10,77
3500026835	7462021	381303	Paranacity	22/7/2011 - 08/3/2017	40,39	46,74	44,75
3500027571	7414313	280702	Tapira	21/7/2011 - 10/3/2017	10,39	14,3	12,75
3500029441	7484690	305820	Itaúna do Sul	31/3/2012 - 09/3/2017	35,11	42,26	39,09
3500029442	7454640	301763	Planaltina do Paraná	30/3/2012 - 15/2/2017	28,11	32,86	30,81
3500029469	7408575	256342	Ivaté	31/3/2012 - 10/3/2017	19,37	24,93	23,23
3500034024	7453501	275461	Santa Isabel do Ivai	29/7/2015 - 09/3/2017	43,34	49,05	45,56
3500034025	7479936	329988	Terra Rica	28/7/2015 - 09/3/2017	27,06	31,99	29,15
3500045116	7358256	309765	Tuneiras do Oeste	30/7/2015 - 07/3/2017	9,8	14,12	10,87

FONTE: RIMAS/CPRM (2017)

Os dados do quadro 2 foram retirados do site ÁGUASPARANÁ do Instituto de Águas do Paraná, e pode-se observar uma visão geral dos parâmetros mensais pluviométricos entre os anos de 2000 a 2017, além da localização das respectivas estações de monitoramento. Esses dados foram gerados a partir de uma média das respectivas máximas, mínimas e médias mensais desses anos. Os dados que foram utilizados para a estimativa da recarga, se referem ao período de janeiro de 2015 até março de 2017. As estações de monitoramento pluviométrico base para a construção dos gráficos e quadros foram determinadas a partir da menor distância em relação aos poços tubulares analisados no estudo.

Quadro 2: Identificação e localização das estações de monitoramento e seus respectivos dados médios mensais pluviométricos entre os anos de 2000 e 2017.

CÓDIGO	LOCALIZAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	MÁXIMA (mm)*	MÍNIMA (mm)**	MÉDIA (mm)***
2353008	Umuarama	23° 43' 59"	53° 16' 59"	345,2	34,15	143,11
2353003	Altonia	23° 52' 19"	53° 53' 20"	334,71	18,08	132,36
2252017	Paranavaí	22° 39' 10"	52° 31' 05"	306,27	18,72	120,68
2253002	Porto Rico	22° 46' 00"	53° 16' 00"	263,07	10,62	103,56
2352019	Cianorte	23° 40' 00"	52° 34' 59"	345,02	24,72	134,54
2252010	Paranacity	22° 49' 59"	52° 06' 00"	267,68	14	101,81
2353034	Tapira	23° 19' 11"	53° 04' 12"	361,54	22,05	126,62
2252020	Nova Londrina	22° 46' 00"	52° 58' 59"	263,8	19,14	112,7
2352050	Planaltina do Paraná	23° 01' 22"	52° 55' 18"	313,56	17,63	116,4
2353032	Ivaté	23° 19' 59"	53° 25' 00"	247,52	19,14	112,98
2353038	Santa Isabel do Ivaí	23° 07' 52"	53° 16' 38"	264,58	21,02	108,03
2252022	Terra Rica	22° 43' 50"	52° 36' 59"	277,96	20,61	117,78
2352026	Tuneiras do Oeste	23° 54' 24"	52° 57' 17"	334,15	25,24	135,64

FONTE: ÁGUASPARANÁ (Sistema de Informações Hidrológicas) – Instituto das Águas do Paraná.

*Valores médios mensais das máximas precipitações obtidos entre os anos de 2000 e 2017.

**Valores médios mensais das mínimas precipitações obtidos entre o período de 2000 e 2017.

***Valores médios mensais de precipitação obtidos entre o período de 2000 e 2017.

3. RESULTADOS

Os cálculos executados para a estimativa da recarga do Aquífero Caiuá, assim como o cálculo do Δh , foram baseados em gráficos de Precipitação (mm) x Nível Estático (m) no período de 2015 – 2017 para cada um dos 11 poços de monitoramento da RIMAS. Os dados de precipitação diária para a confecção dos gráficos foram extraídos do ÁGUASPARANA, e os dados diários da variação do nível estático foram extraído da RIMAS/CPRM, contendo as variações do nível estático do Aquífero Caiuá nos 11 diferentes poços tubulares da RIMAS no noroeste do estado do Paraná, compreendendo o período 2015 – 2017. Como a porosidade efetiva do Aquífero Caiuá varia entre 10 a 20% (ÁGUASPARANA e SEMA, 2010), para efeitos de cálculo a porosidade efetiva utilizada será 15%.

Há períodos em que são encontrados *gaps* de informação em todos os poços tubulares da RIMAS, principalmente entre o final de novembro/2016 a março/2017, porém, esses períodos foram desconsiderados para efeitos de cálculo, e a estimativa da recarga foi feita para o biênio 2015 e 2016, sendo o ano de 2016 calculado até o mês de Novembro. Apesar de haver *gaps* na informação do nível estático, os dados utilizados nos gráficos se estendem até março/2017 para uma melhor visualização do comportamento do Aquífero Caiuá além de acompanhar a tendência do nível de água nos poços tubulares.

Os resultados a seguir estão disponibilizados no formato de quadros contendo os seguintes dados para cada uma das 11 cidades monitoradas pela RIMAS: Δh total, S_y , além dos valores da recarga calculada pelo método WTF, a precipitação total para o período calculado, e a relação entre recarga (mm) / precipitação (mm). Além do quadro, estão inseridos gráficos correspondentes à cada cidade com dados de precipitação (mm) x nível estático (m) com os correspondentes Δh .

3.1 ALTÔNIA

A cidade de Altônia é onde pode-se visualizar a variação do nível estático mais ampla dentre as cidades monitoradas no noroeste paranaense. É possível observar a enorme diferença na posição da superfície do freático entre 01/05/2015 até o final do período de estudo, em 31/03/2017 (Gráfico 1). A amplitude total nesse período aproxima-se de 11,8 metros, grosso modo, compara-se a um prédio de 3 andares. A direta influência da precipitação na recarga do aquífero é evidente, com variações registradas no nível estático praticamente instantâneas após longos períodos chuvosos. Os resultados calculados para a cidade de Altônia estão disponibilizados no quadro 3.

Quadro 3: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Altônia.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
17.230	0,15	2.584,5	3.842	67,26%

A precipitação total do período em análise (01/01/2015 – 28/11/2016) foi de 3.842 mm. Com isso, a relação entre a recarga / precipitação é de 67,26%. A relação possui um valor extremamente alto, reafirmando assim a sua relação direta entre a variação do nível estático com a precipitação, podendo além disso, refletir um substrato poroso, com uma boa resposta à infiltração pluviométrica.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre o período 29/11/2016 – 10/03/2017.

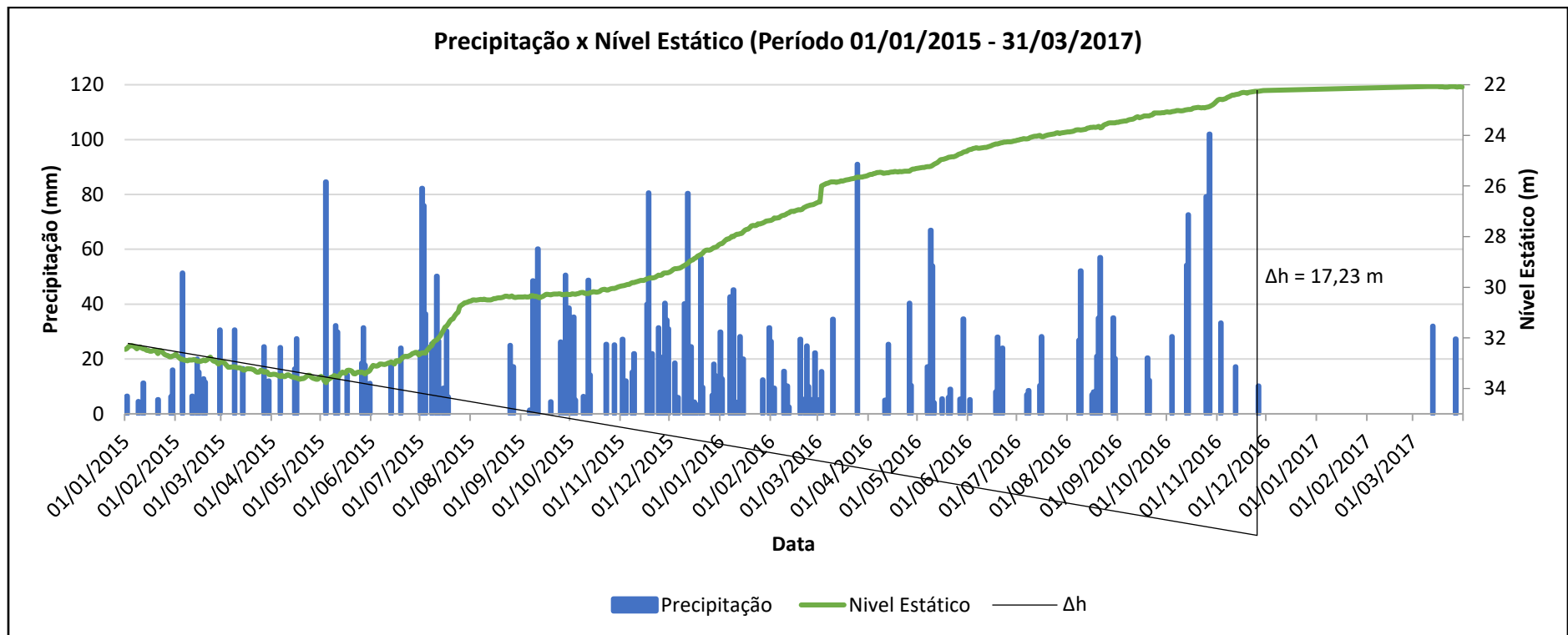


Gráfico 1: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Altônia.

3.2 CIANORTE

Na cidade de Cianorte, houve uma variação de aproximadamente 7,5 m na superfície do freático, passando de 12 metros de profundidade no início do período de monitoramento (01/01/2015) até atingir o seu nível mais raso de aproximadamente 4,3 metros em junho/2016 (Gráfico 2). No ano de 2015, assim como observado em outras cidades, houve vários dias chuvosos, e em grande volume, ultrapassando o valor de 150 mm em apenas um único dia.

Quadro 4: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Cianorte.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
9.935	0,15	1.490,26	4.474	33,3%

Através da análise do gráfico 2, é possível observar uma relação entre a precipitação e o nível estático, porém o tempo de resposta entre a precipitação e a variação do nível estático não é instantâneo. Após a precipitação, há uma subida contínua do nível estático durante dias, assim como nos períodos de estiagem, o rebaixamento continua durante dias até o próximo período chuvoso.

O valor total precipitado no período em análise foi de 4.474 mm, representando uma relação recarga / precipitação de 33,3%. No ano de 2015, assim como nas outras cidades, houve vários dias chuvosos, e em grande volume, ultrapassando o valor de 150 mm em apenas um único dia. Apesar disso, o aumento do nível estático do Aquífero Caiuá registrado no poço tubular da RIMAS ocorreu gradualmente durante dias, e não apenas um aumento súbito. *Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre o período 28/11/2016 – 07/03/2017.

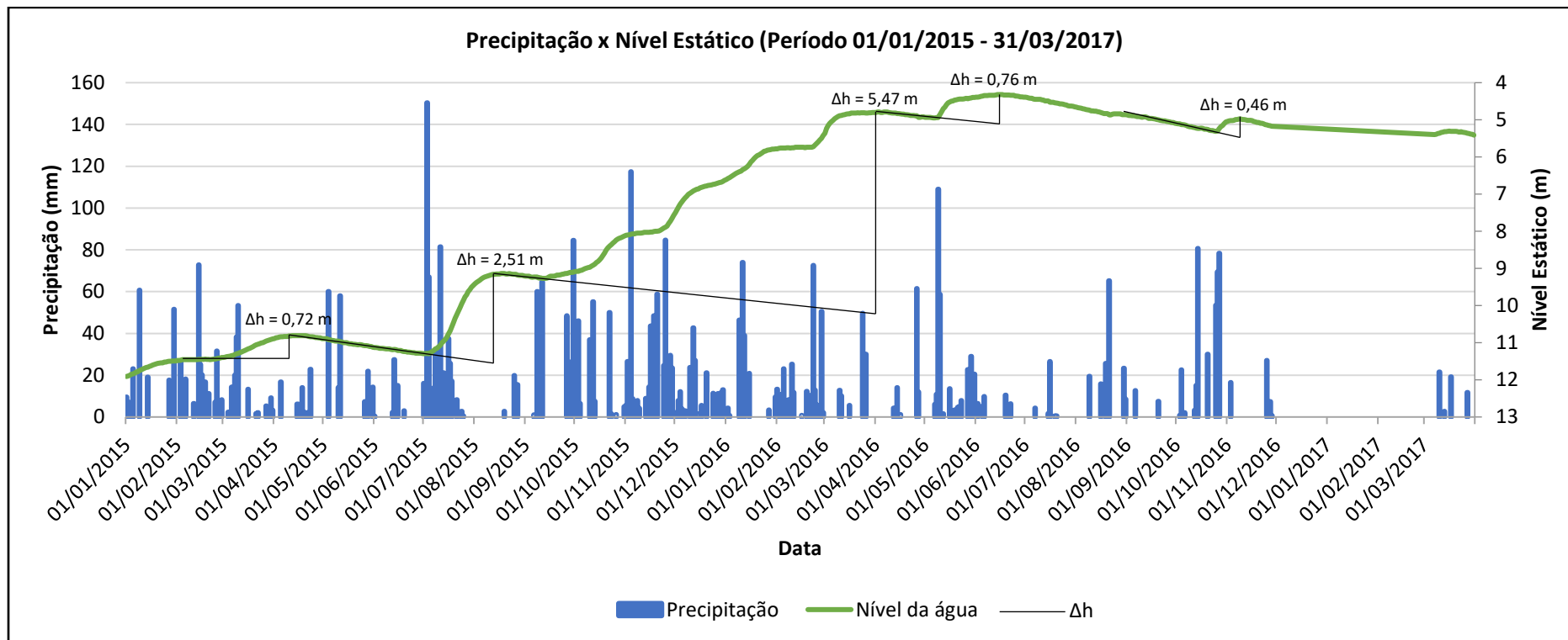


Gráfico 2: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Cianorte.

3.3 ITAÚNA DO SUL

O Aquífero Caiuá mostra um comportamento com tendência crescente no nível estático bem marcado a partir de novembro/2015, exibindo uma variação total no nível estático de aproximadamente 4 metros no período 2015 – 2017 (Gráfico 3), com os níveis de água atingindo 39,08 metros em seu menor nível, e 35,12 metros em seu nível máximo. É possível observar pequenas variações diárias no nível estático do aquífero em resposta às precipitações. Os resultados calculados para a cidade de Itaúna do Sul estão disponibilizados no quadro 5.

Quadro 5: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Itaúna do Sul.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
3.800	0,15	570	2.956	19,28%

A precipitação total no período utilizado para cálculo da recarga (01/01/2015 – 26/11/2016) na cidade de Itaúna do Sul foi de 2.956 mm. A relação entre a recarga/precipitação total é de 19,28%, sendo o menor valor desta relação dentre as cidades em estudo.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre o período 29/11/2016 – 09/03/2017.

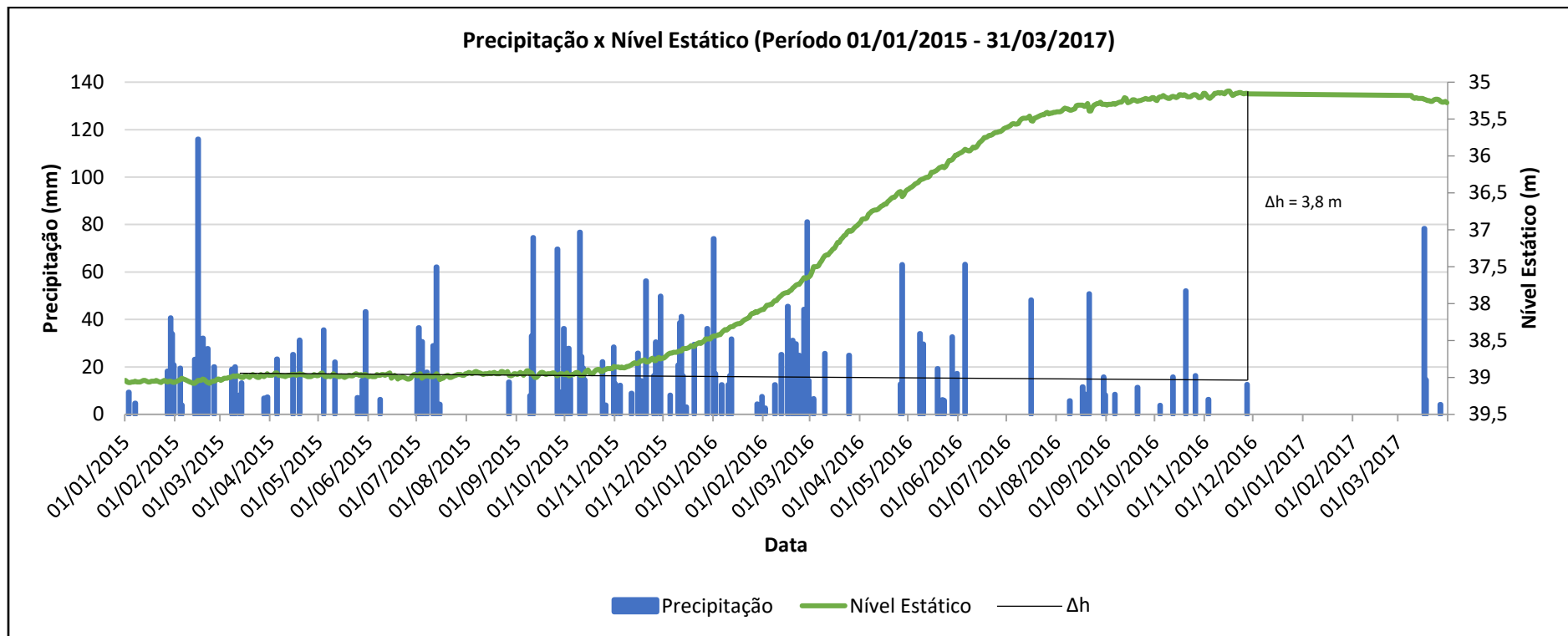


Gráfico 3: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Itaúna do Sul.

3.4 IVATÉ

O comportamento do Aquífero Caiuá na cidade de Ivaté (Gráfico 4) é caracterizado por um pico em seu nível estático durante o início de Junho/2016, com valores chegando a 19,39 metros de profundidade, contra aproximadamente 24,6 metros de profundidade em seu menor nível no período em análise, totalizando aproximadamente 5,2 metros de desnível entre seu maior e menor nível. Pode-se observar a tendência de aumento no nível estático até março/2015, coincidente com o período mais chuvoso, tendo posteriormente um declive no seu nível de água até o final do período estudado, com chuvas mais escassas se comparado ao período janeiro/2015 – março/2016. Os resultados calculados para a cidade de Ivaté estão disponibilizados no quadro 6.

Quadro 6: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Ivaté.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
6.125,8	0,15	918,87	2.568	34,57%

A precipitação total do período que compreende 01/01/2015 – 16/05/2016 é de 2568 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 34,57%. Esse valor se encontra na média das outras cidades contempladas neste estudo.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 02/03/2016 – 12/05/2016 e 28/11/2016 – 10/03/2017.

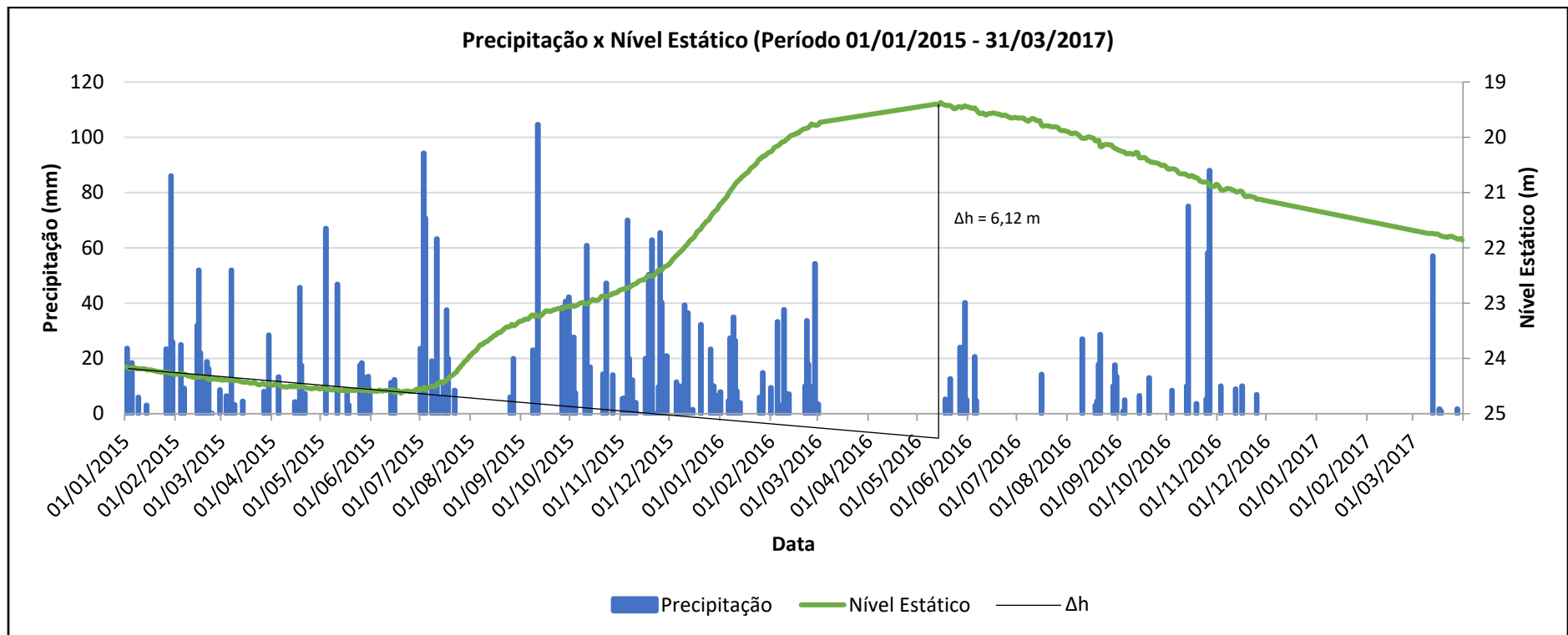


Gráfico 4: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Ivaté.

3.5 PARANACITY

O gráfico da precipitação x nível estático da cidade de Paranacity (Gráfico 5) possui um comportamento semelhante ao da cidade de Itaúna do Sul. O menor nível de água medido no período em análise foi de 45,33 metros de profundidade, enquanto o seu maior valor foi de 40,43 metros, com uma variação de aproximadamente 5 metros no nível estático. Há um aumento gradual no nível de água, assim como em Itaúna do Sul, a partir do final de 2015, atingindo o seu nível mais alto em novembro/2016. É possível observar pequenas variações no seu nível em resposta à volumes precipitados, porém, a maior parte do aumento do nível de água corresponde ao acúmulo de grandes volumes precipitados, e não oscilações instantâneas. Os resultados calculados para a cidade de Paranacity estão disponibilizados no quadro 7.

Quadro 7: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Paranacity.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
5.261,9	0,15	789,28	2.440	32,34%

A precipitação total do período que compreende 31/07/2015 – 20/11/2016 é de 2440 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 32,34%, correspondendo também a um valor próximo a média das cidades analisadas.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 01/01/2015 – 31/07/2015 e 30/11/2016 – 08/03/2017.

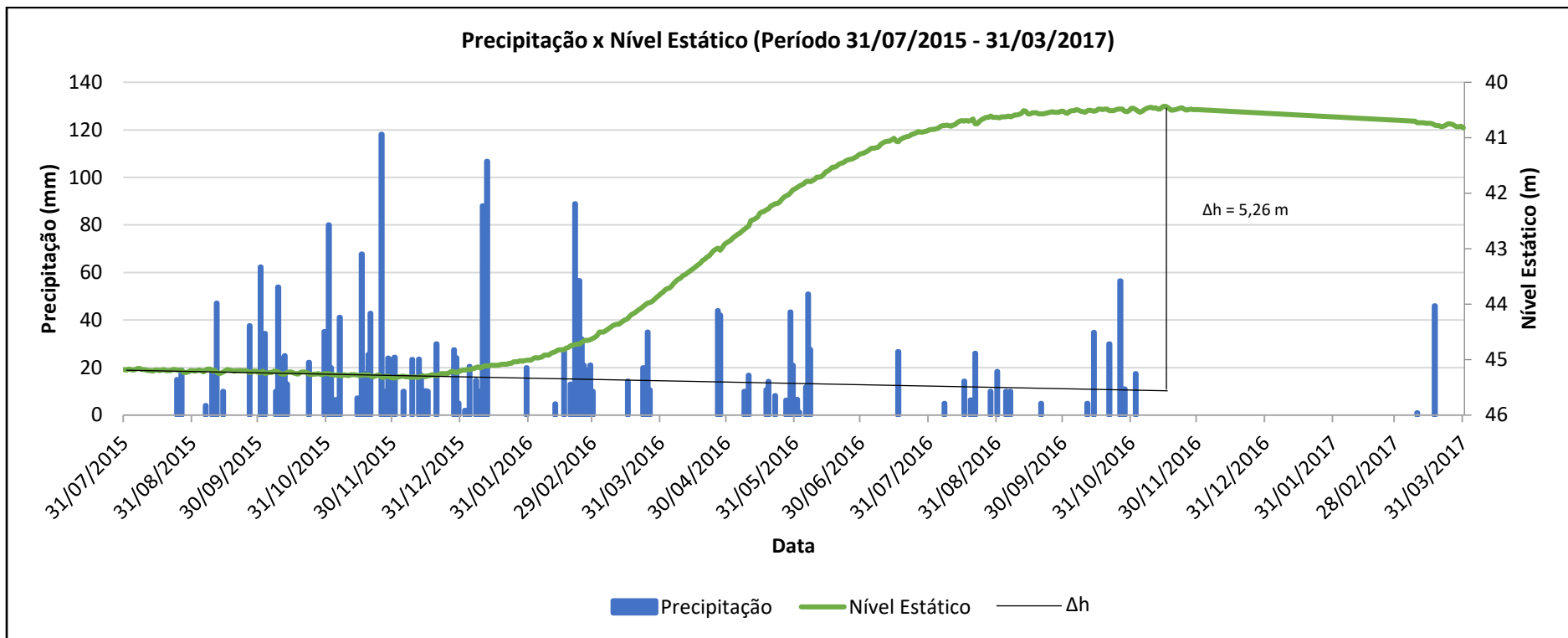


Gráfico 5: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jul/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Paracity.

3.6 PARANAÍ

No gráfico de precipitação x nível estático correspondente à cidade de Paranaíba (Gráfico 6), também é possível observar um padrão similar à Paranaíba e a Itaúna do Sul, com uma tendência a um aumento no nível de água a partir de julho/2015, devido ao grande acúmulo de precipitações. A variação entre o seu nível estático vai de um valor mínimo de 25,47 metros de profundidade até o seu nível máximo de 19,66 metros, com uma variação aproximada de 5,8 metros. Os resultados calculados para a cidade de Paranaíba estão disponibilizados no quadro 8.

Quadro 8: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Paranaíba.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
6.615,38	0,15	992,3	2.882	34,43%

A precipitação total do período que compreende 01/01/2015 – 10/05/2016 é de 2.882 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 34,43%, correspondendo a um valor próximo a média das cidades analisadas.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 29/11/2016 – 08/03/2017.

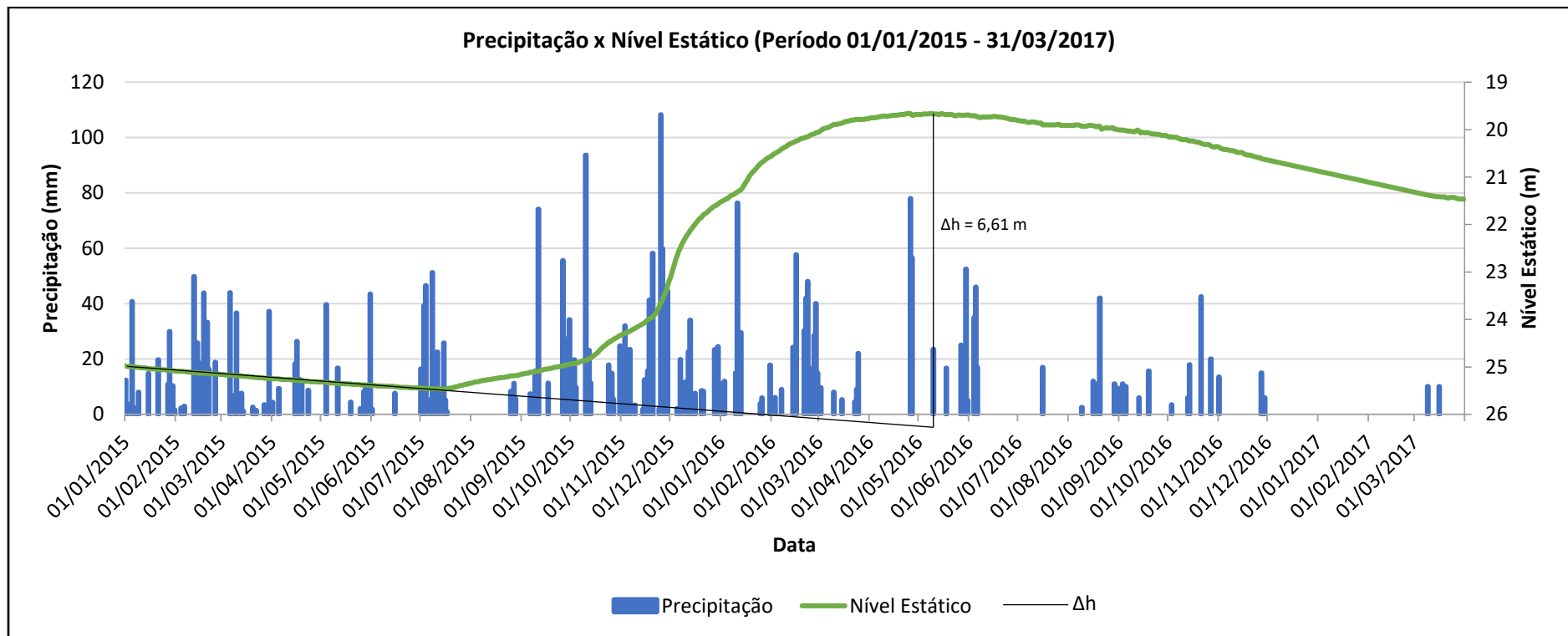


Gráfico 6: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Paranavaí.

3.7 PLANALTINA DO PARANÁ

O Aquífero Caiuá na cidade de Planaltina do Paraná oscila de 32,86 metros à 28,11 metros de profundidade, com uma variação máxima de aproximadamente 4,75 metros em seu nível estático. O pico de precipitação registrado no período analisado (01/01/2015 – 20/10/2016) foi de 137,5 mm, no dia 25/11/2015. É possível observar variações diárias em seu nível estático, porém, a tendência geral é de aumento no nível de água até novembro/2016, e após esse período o nível tende a decrescer (Gráfico 7). Os resultados calculados para a cidade de Planaltina do Paraná estão disponibilizados no quadro 9.

Quadro 9: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Planaltina do Paraná.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
6.993,3	0,15	1.049	3.413,1	30,73%

A precipitação total do período que compreende 01/01/2015 – 20/10/2016 é de 3.413,1 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 30,73%.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 23/12/2015 – 03/03/2016 e 29/11/2016 – 09/03/2017.

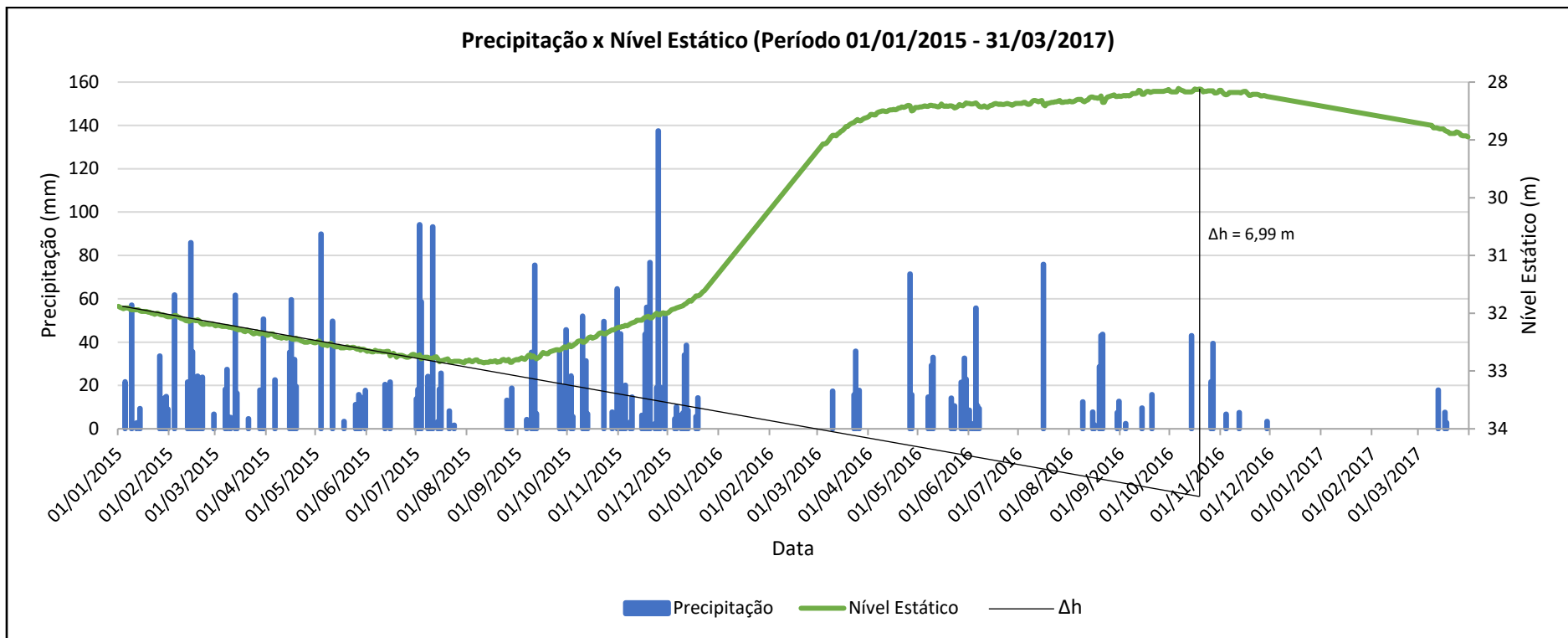


Gráfico 7: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Planaltina do Paraná.

3.8 PORTO RICO

Na cidade de Porto Rico ocorrem vários ciclos oscilatórios no nível estático (Gráfico 8). Isso mostra que a resposta do nível de água é muito rápida mediante a precipitação ou a um período de estiagem. A variação máxima do nível estático foi de 3,33 metros, com seu maior nível medido em 3,97 metros, e o menor nível de 7,3 metros. O seu maior pico de precipitação registrado foi de 112 mm no dia 10/09/2015. Apesar das oscilações registrados nos poços tubulares da RIMAS, a tendência geral foi de um aumento no nível de água até meados de 2016, e a partir disso um período de diminuição em seu nível. Os resultados calculados para a cidade de Porto Rico estão disponibilizados no quadro 10.

Quadro 10: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Porto Rico.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
2.938,05	0,15	440,71	1.786,3	24,67%

A precipitação total do período que compreende 01/01/2015 – 15/11/2016 é de 1.786,3 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 24,67%. O valor desta relação é muito baixo se comparado à média das cidades analisadas, que é de 34,50%.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 16/10/2015 – 03/03/2016 e 29/11/2016 – 09/03/2017.

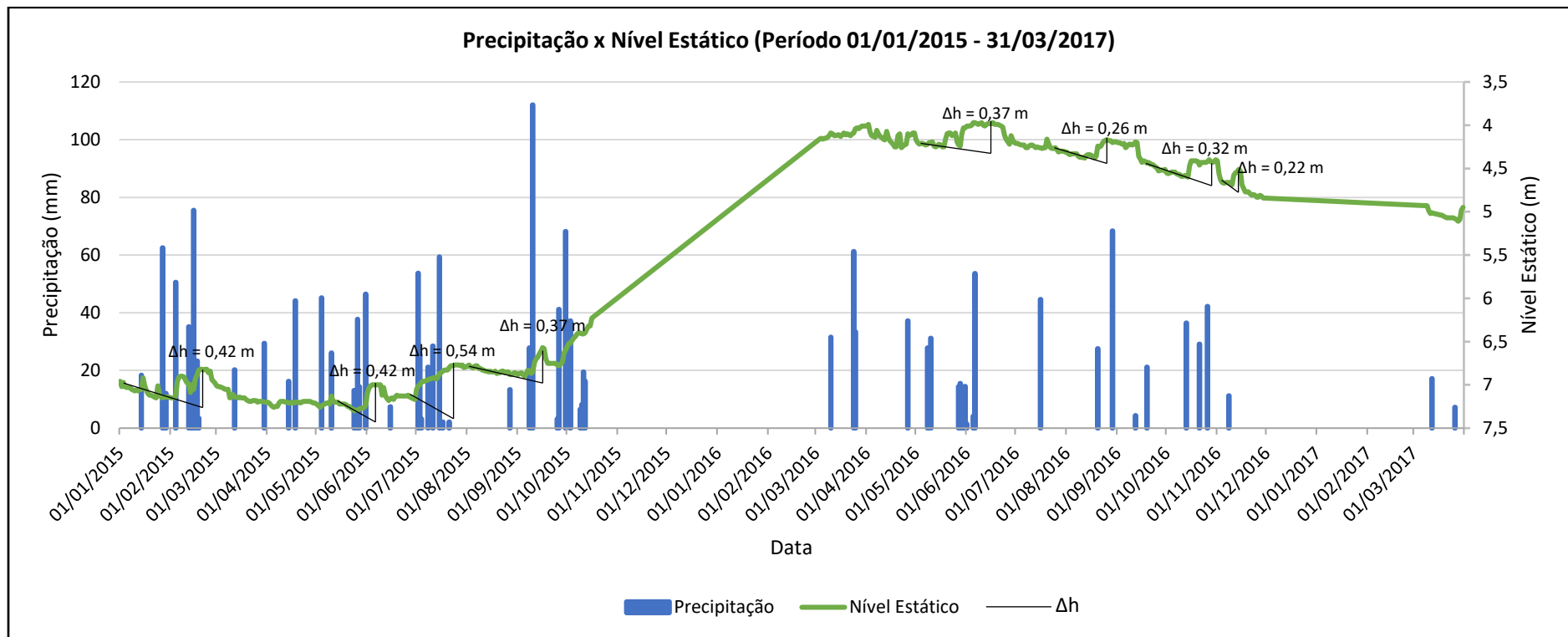


Gráfico 8: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Porto Rico.

3.9 TAPIRA

O comportamento do nível estático na cidade de Tapira é visivelmente afetado por um grande volume de precipitação recorrente até o início de 2016, e posteriormente há uma queda de seu nível, com poucas precipitações acumuladas a partir do ano de 2016 (Gráfico 9). O seu nível estático possui uma variação de aproximadamente 3,65 metros no período monitorado de estudo, variando do seu nível mínimo com 14,04 até 10,39 metros de profundidade. Os resultados calculados para a cidade de Tapira estão disponibilizados no quadro 11.

Quadro 11: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Tapira.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
4.869,6	0,15	730,43	3.846,1	18,99%

A precipitação total do período que compreende 01/01/2015 – 15/11/2016 é de 3.846,1 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 18,99%. Esse valor representa o menor valor dentre as cidades analisadas no presente estudo, ficando aproximadamente 15,5 pontos percentuais abaixo da média, que é de 34,50%.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 28/11/2016 – 10/03/2017.

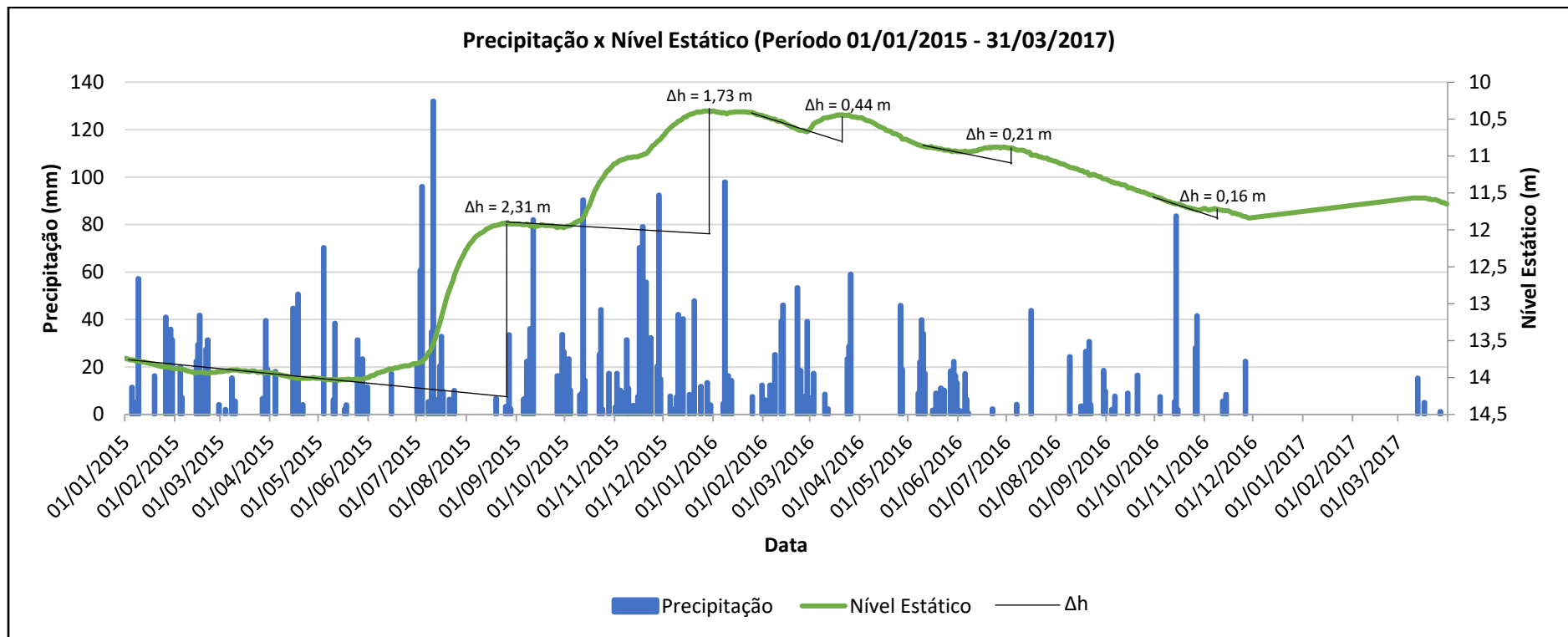


Gráfico 9: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Tapira.

3.10 TERRA RICA

Na cidade de Terra Rica é possível observar um comportamento semelhante aos das cidades de Paranaíba, Paranacity, Planaltina do Paraná, e Itaúna do Sul. Apresenta um significativo aumento em seu nível estático registrado a partir do início de seu monitoramento, variando de 31,99 metros de profundidade no dia 01/12/2015, até 27,06 metros em outubro/2016, onde atinge seu maior nível, e a partir desse período registra uma queda gradual em seu nível de água. A variação máxima do nível estático no período em análise chega a quase 5 metros. Os resultados calculados para a cidade de Terra Rica estão disponibilizados no quadro 12.

Quadro 12: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Terra Rica.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
5.224,6	0,15	786,69	1.803,9	43,61%

A precipitação total do período que compreende 28/07/2015 – 06/10/2016 é de 1.803,9 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 43,61%. Apesar de o valor da precipitação ser o segundo menor dentre as cidades analisadas, a relação entre a recarga e a precipitação é a segunda maior, demonstrando que o valor baixo da recarga reflete apenas um valor abaixo do esperado para a precipitação total.

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 29/11/2016 – 09/03/2017.

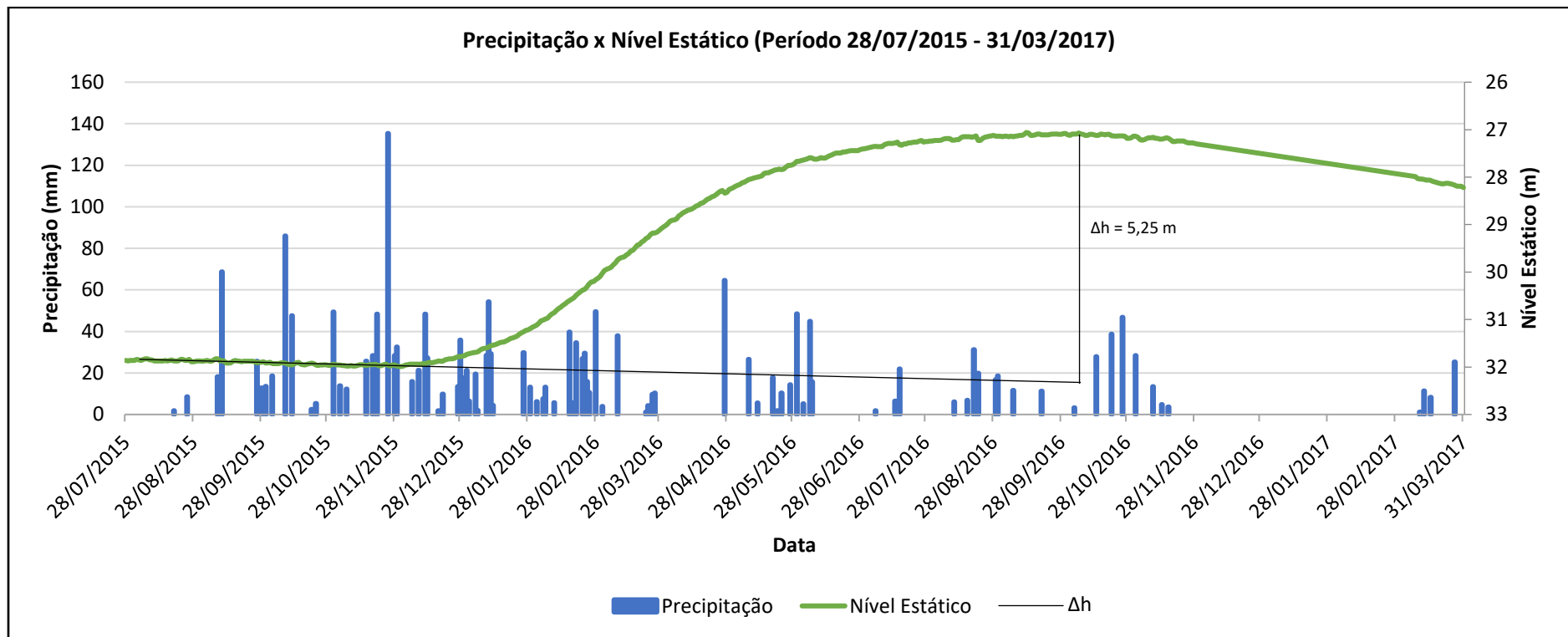


Gráfico 10: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jul/2015 – Mar/2017, com o correspondente Δh para a cidade de Terra Rica.

3.11 UMUARAMA

Na cidade de Umuarama, o nível estático do Aquífero Caiuá mostra uma tendência, assim como nas outras cidades, de um aumento significativo no seu nível estático durante o início de 2015, e extendendo-se até o início de fevereiro/2016, com uma queda no nível de água até o final do período em estudo. A variação máxima do nível estático observada em Umuarama foi de 7,45 metros, com o seu nível máximo atingindo 8,61 metros de profundidade, medido no dia 25/01/2016, e seu nível mínimo atingiu 16,06 metros, no dia 01/05/2015 (Gráfico 11). Os resultados calculados para a cidade de Umuarama estão disponibilizados no quadro 13.

Quadro 13: Identificação das variáveis calculadas entre o período estudado para a cidade de Umuarama.

Δh total (mm)	S_y	Recarga (mm)	Precipitação total (mm)	Relação Recarga (mm) / Precipitação total (mm)
11.770	0,15	1.765,50	4.382,7	40,28%

A precipitação total do período que compreende 01/01/2015 – 27/11/2016 é de 4.382,7 mm, com a relação entre a recarga/precipitação de 40,28%. Dentre as cidades analisadas, Umuarama possui a terceira maior relação entre recarga e precipitação, e o segundo maior valor de precipitação total para o período analisado. Esses números explicam o porquê do poço tubular localizado em Umuarama possuir a segunda maior recarga dentre os poços analisados (1.765,50 mm).

*Há *gaps* de informações nos poços tubulares da RIMAS entre os períodos 28/11/2016 – 10/03/2017.

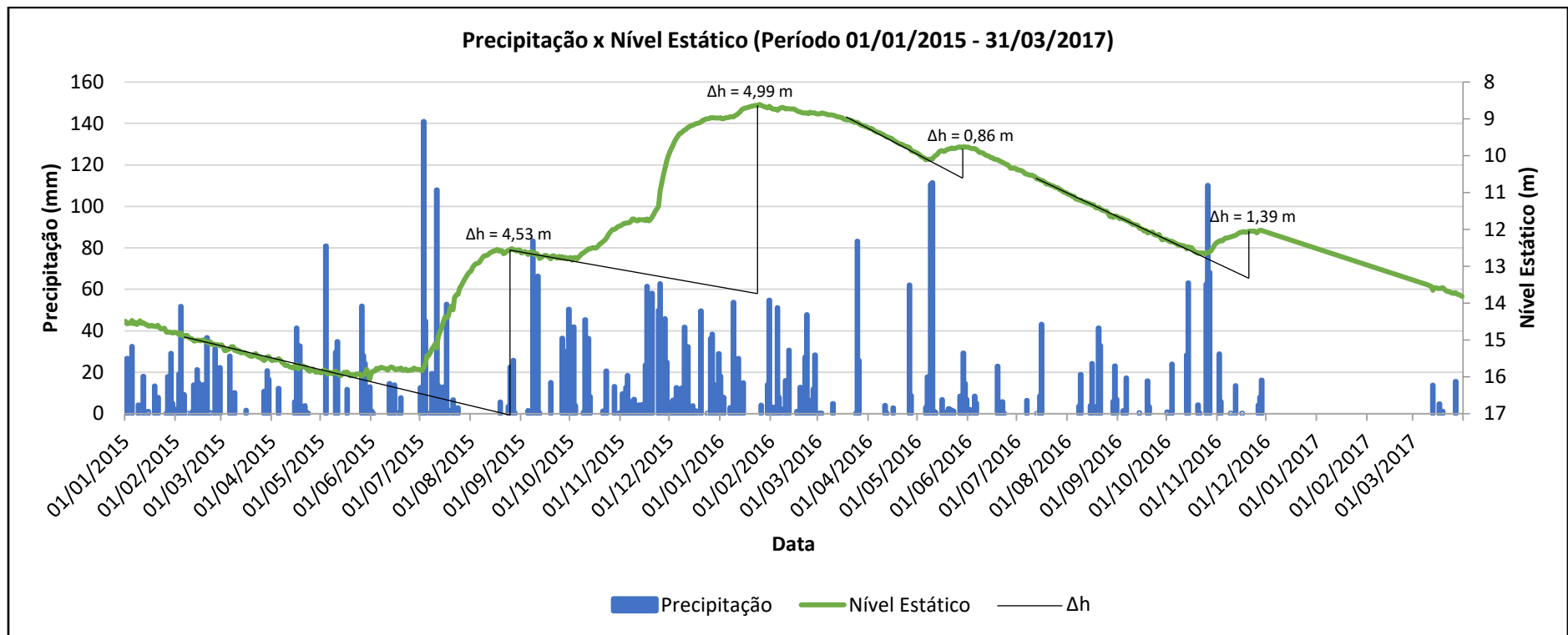


Gráfico 11: Gráfico da Precipitação x Nível Estático diários no período Jan/2015 – Mar/2017, com os correspondentes Δh para a cidade de Umuarama.

4. DISCUSSÃO

É possível afirmar, com base nos gráficos e nos dados obtidos, que o evento de maior recarga ocorreu durante o período compreendendo o início de 2015 até o início do segundo semestre de 2016. Associada à recarga, observa-se uma grande variação do nível estático principalmente no ano de 2015. Essa variação é constatada principalmente associada ao acentuado índice pluviométrico registrado neste ano. Em Cianorte, por exemplo, no ano de 2015 foram registrados 137 dias de chuva, contraposto a isso, no ano de 2016 foram registrado apenas 109 dias de chuva, totalizando praticamente 1 mês de defasagem em dias de chuva comparado a 2015. Na Figura 5 pode-se observar uma visão geral da precipitação total compreendendo o período total de estudo nas 11 diferentes cidades. É possível observar que a porção sul da área estudada obteve os maiores valores de precipitação, com a precipitação superando o dobro das cidades localizadas na região norte.

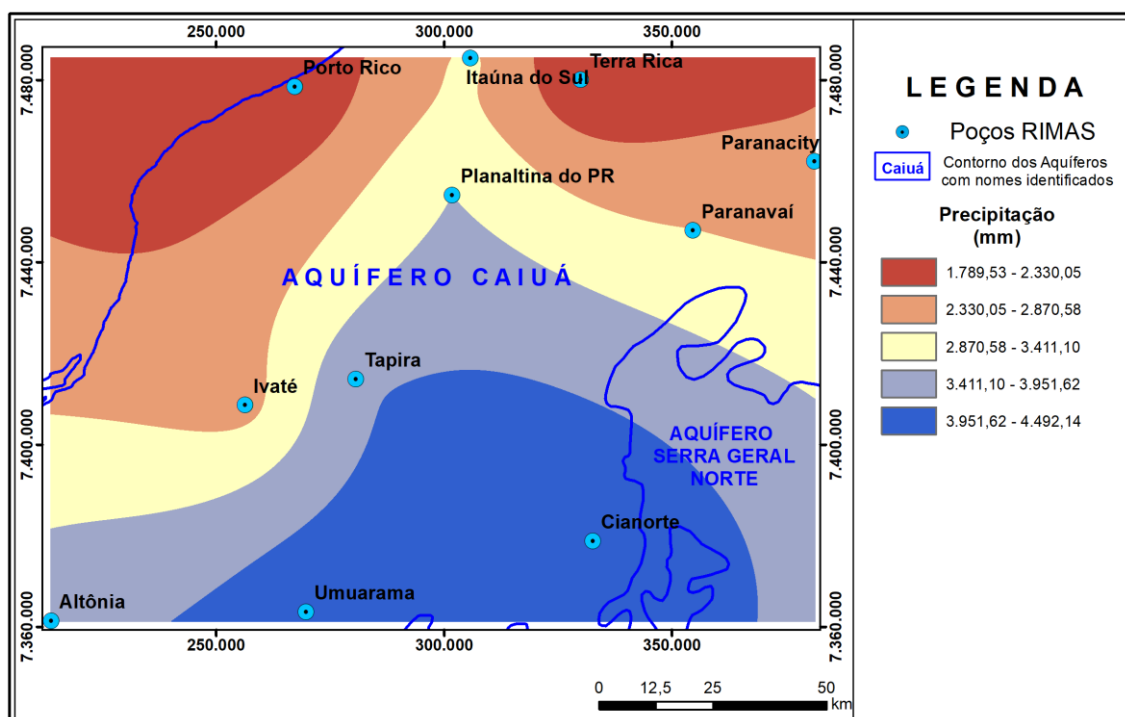


Figura 5: Mapa de interpoção pelo método de Krigagem, mostrando a precipitação total durante o período de análise do aquífero por cidade.

Através da comparação entre o gráfico 12 e a figura 5, é possível reafirmar a correlação de um menor valor de precipitação para as cidades localizadas mais ao norte da área de estudo. No município de Terra Rica não houve picos de precipitação consideráveis, sendo que o mês mais chuvoso foi novembro de 2015, onde o valor chegou a 324,5 mm, porém a média de todos os meses foi de 118 mm. Um outro município que chamou a atenção pelos baixos valores de precipitação se comparado ao resto das cidades analisadas foi Porto Rico, onde houve um pico de precipitação considerável, chegando a 421 mm no mês de dezembro/2015, porém a média total foi de 129 mm.

No gráfico 12 é possível observar essa elevada diferença da precipitação mensal entre o ano de 2015, onde houve picos de precipitação que ultrapassaram os 500 mm concentrados no segundo semestre de 2015, principalmente nos meses de julho e novembro. No período compreendendo 2016-2017, houve uma queda significativa no índice pluviométrico se comparado aos números de 2015. A média de precipitação mensal em 2015 para todas as cidades foi de 183 mm, enquanto em 2016 esse número reduz para 134 mm, uma defasagem de aproximadamente 50 mm mensais. Esses números comprovam que 2015 foi um ano onde os índices de precipitação foram elevados, e estão intimamente relacionados às variações nos níveis estáticos registrados no Aquífero Caiuá, que geram uma anomalia positiva no ano de 2015, sendo essas variações por vezes instantâneas (diárias, semanais), ou mais tardias (mensais), onde há um acúmulo de precipitações.

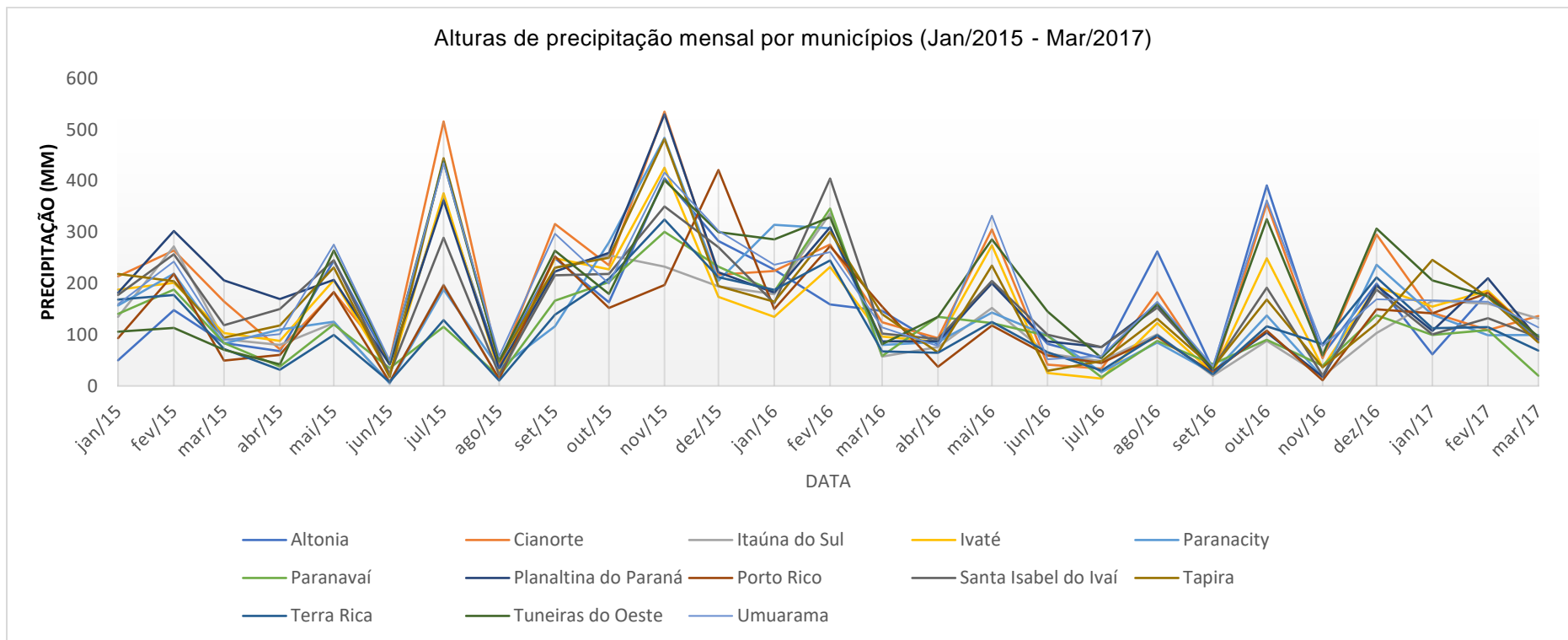


Gráfico 12: Gráfico da precipitação total mensal por município compreendendo o período jan/2015 – mar/2017.

Lazzarotto *et al.* (2017) realizaram um estudo recente no Aquífero Caiuá no Paraná utilizando dados da RIMAS, comparando dados de precipitação com as variações dos níveis estáticos dos poços compreendendo o período de setembro/2011 a agosto/2015, porém sem determinar o valor de recarga. Os autores citam que as variações temporais constatadas nesse período são bem marcadas, sendo que os poços de Umuarama e Cianorte tem uma frequência anual com recargas concentradas nos meses de junho e julho, e no resto do ano um rebaixamento do aquífero. O presente trabalho mostra uma tendência similar no comportamento do nível estático, sendo observados 3 tipos principais de comportamentos, ou o poço apresentou pequenas variações ao decorrer de 2015 com recargas e rebaixamentos pontuais, ou o nível estático se manteve com uma tendência constante até o final de 2015 e a partir de 2016 houve um período de recarga, ou houve uma recarga a partir dos meses de junho e julho, se estendendo até o início de 2016.

Alguns dados diferem do trabalho de Lazzarotto *et al.* (2017), com a recarga não apenas concentrada nos meses de junho e julho, e sim se estendendo até a primeira metade de 2016, com um rebaixamento ocorrendo a partir desse período, porém, em outros poços observa-se um comportamento constante até o final de 2015, com um evento de recarga a partir de 2016. Esse comportamento provavelmente está associado à anomalia positiva de precipitação observada no ano de 2015, com uma média mensal de precipitação no ano de 2015 aproximadamente 50 mm maior do que no ano de 2016.

A cidade que mais se destaca com um valor extremamente alto de recarga é a cidade de Altônia, chegando a 2.584,50 mm. Altônia também possui o maior valor da relação entre recarga/precipitação, onde aproximadamente 67,26% da precipitação recarrega o aquífero. Por outro lado, Porto Rico foi a cidade que apresentou a menor recarga se comparada as outras cidades analisadas no presente estudo, com um valor de recarga de 440,7 mm. Apesar de corresponder à menor recarga, não é a cidade que apresenta a menor relação entre recarga/precipitação. Duas cidades chamaram a atenção frente aos menores valores da relação entre recarga/precipitação, sendo elas Itaúna do Sul e Tapira, com valores de 19,28% e 18,99% respectivamente. O quadro 14 resume os valores adquiridos de precipitação total, Δh , recarga e a relação entre a recarga e precipitação das 11 cidades analisadas no presente estudo.

Quadro 14: Quadro simplificado contendo os dados calculados à partir dos gráficos de Precipitação x Nível Estático compreendendo o período jan/2015 – nov/2016 por município.

Município	Precipitação Total (mm)	Δh (mm)	Recarga (mm)	Recarga / Precipitação
Altônia	3.842,00	17.230,00	2.584,50	67,26%
Cianorte	4.474,10	9.935,00	1.490,26	33,30%
Itaúna do Sul	2.956,00	3.800,00	570,00	19,28%
Ivaté	2.658,00	6.125,83	918,87	34,57%
Paranacity	2.440,00	5.261,90	789,29	32,34%
Paranavaí	2.882,00	6.615,38	992,30	34,43%
Planaltina do Paraná	3.413,10	6.993,29	1.048,99	30,73%
Porto Rico	1.786,30	2.938,05	440,71	24,67%
Tapira	3.846,10	4.869,57	730,43	18,99%
Terra Rica	1.803,90	5.244,60	786,69	43,61%
Umuarama	4.382,70	11.770,00	1.765,50	40,28%
MÉDIA	3.134,93	7.343,97	1.101,59	34,50%

Além de possuir a maior recarga e maior relação recarga/precipitação, por estar associado à recarga, a subida do nível estático da cidade de Altônia é muito expressiva (Gráfico 1). A partir da observação dos gráficos observa-se que praticamente não houve queda do nível estático no período maio/2015 – dezembro/2017, apenas em períodos pontuais, porém a tendência geral foi de uma acentuada subida do nível de água. Considerando os dados da RIMAS, o período de monitoramento de Janeiro de 2015 a Março de 2017 mostrou um aumento total de aproximadamente 10 metros no nível estático, saltando de 32,45 m (01/01/2015) para 22,09 m (31/03/2017). A menor variação do nível estático durante o período estudado é de 3,33 metros, enquanto a variação média dentre todos os poços tubulares chega a aproximadamente 5,7 metros.

Constata-se no quadro 14 que o valor médio de recarga dentre todos os poços tubulares analisados no período de estudo foi de 1.101,59 mm. Porém, a média não é representativa do valor de recarga para todas as cidades, sendo que apenas 3 cidades apresentaram valores maiores à média, e esses valores são acentuados, como no caso citado de Altônia, interferindo assim no valor médio de todas as cidades. É importante ressaltar que os 3 poços que

apresentaram valores de recarga maiores do que a média possuem uma relação espacial, ambos estão localizados na região meridional da região de estudo, sendo elas as cidades de Altônia, Umuarama e Cianorte, cidades praticamente alinhadas, como pode ser visualizado na Figura 6. Também é possível observar uma tendência na diminuição da recarga conforme grada para a região norte/nordeste da área estudada. Essa tendência de recarga mais acentuada na região meridional é esperada, pois conforme observado na Figura 5, os maiores valores de precipitação também se concentram nessa região.

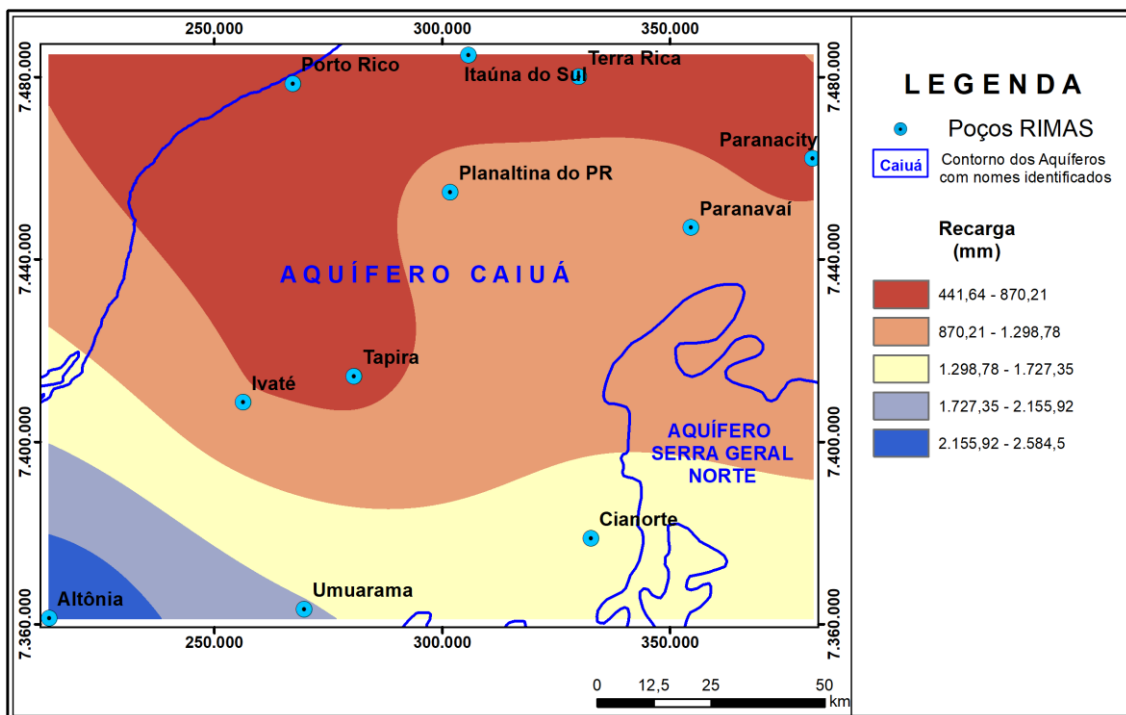


Figura 6: Mapa de interpolação da recarga utilizando o método de Krigagem, mostrando a relação espacial entre a recarga e as cidades.

Apesar de os valores de recarga e precipitação se concentrarem na região meridional, a relação entre a recarga e a precipitação não obedece a um padrão, mostrando uma tendência à irregularidade dessa relação, exibida na Figura 7. A principal causa dessa irregularidade é que há diversos fatores que podem influenciar na taxa da relação recarga/precipitação, tais como evapotranspiração, relevo, vegetação, composição do substrato, dentre outros fatores. É importante ressaltar que a cidade de Altônia apresenta um comportamento anômalo aos demais, com um valor de 67,26% conforme citado anteriormente, valor exorbitante se comparado à média das cidades, que é de 34,50%. Uma outra característica importante exibido na figura 7, é que apesar

da cidade de Cianorte apresentar a maior precipitação total dentre as 11 cidades analisadas, e um valor de recarga acima da média, a relação recarga/precipitação é de 33,3%, e portanto abaixo da média. Portanto, não é possível afirmar os reais motivos desse contraste expressivo, havendo a necessidade de um estudo específico para averiguar quais os fatores específicos responsáveis por essa diferença extrema de aproximadamente 50% entre os maiores e menores valores das relações de recarga/precipitação.

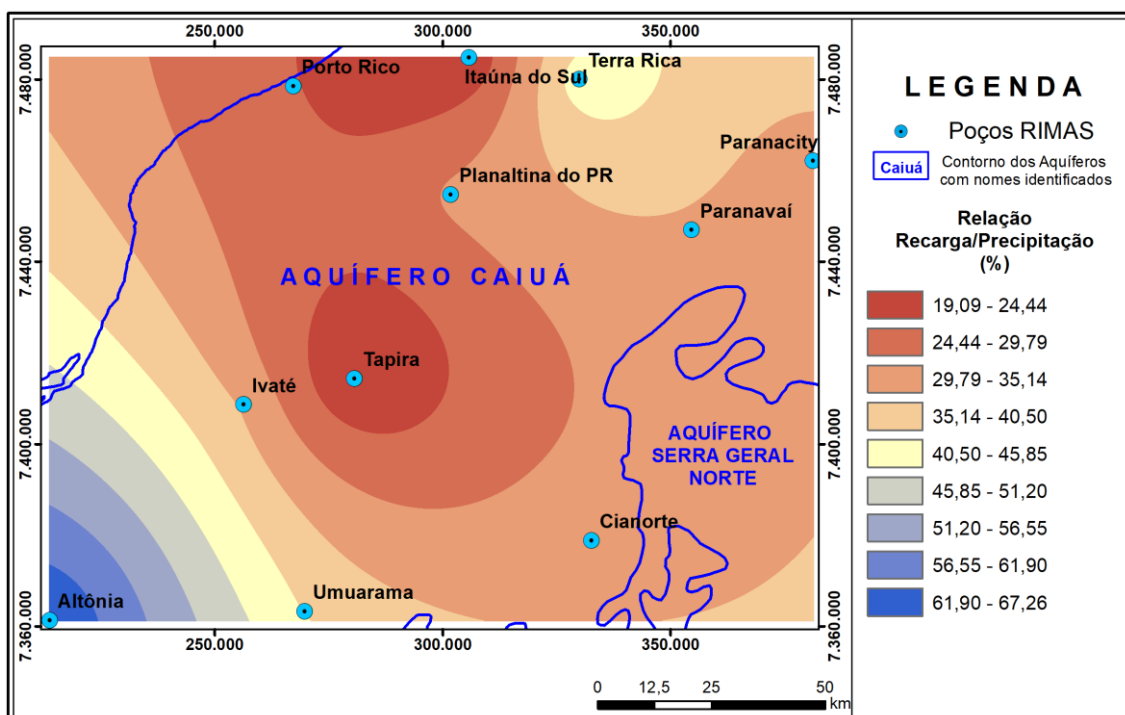


Figura 7: Mapa de interpolação da relação recarga / precipitação utilizando o método de Krigagem, mostrando a relação espacial entre as relações e as cidades.

Visando contribuir com a gestão das águas subterrâneas no Aquífero Caiuá, o gráfico 13 foi elaborado para melhor observar a distribuição geral dos poços tubulares quando à precipitação total e a recarga total no período estudado. Com ele pode-se estimar o valor da recarga em resposta à precipitação, e aproximar o comportamento esperado para o aquífero em determinado período chuvoso.

Há uma visível concentração dos pontos na região inferior do gráfico, porém, como observado nos mapas de interpolação da precipitação e da recarga, há uma tendência de maior recarga conforme o piezômetro se localiza mais ao sul da área, e nesse gráfico podemos observar as cidades de Altônia, Cianorte e Umuarama se destacando das demais.

A linha de *trend* observada no gráfico demonstra o comportamento médio do Aquífero Caiuá durante o período monitorado, compreendendo os 11 poços tubulares analisados. A partir dessa linha de tendência, observa-se que 4 pontos possuem um comportamento linear que se encontram na relação recarga/precipitação média, sendo eles as cidades de Porto Rico, Paranacity, Ivaté e Paranaíba. As cidades que se concentram abaixo dessa linha representam valores dessa relação abaixo da média, que correspondem às cidades de Itaúna do Sul, Tapira, Planaltina do Paraná e Cianorte. E as cidades que se encontram acima dessa linha têm uma relação acima da média (34,50%), que são as cidades de Altônia, Umuarama e Terra Rica.

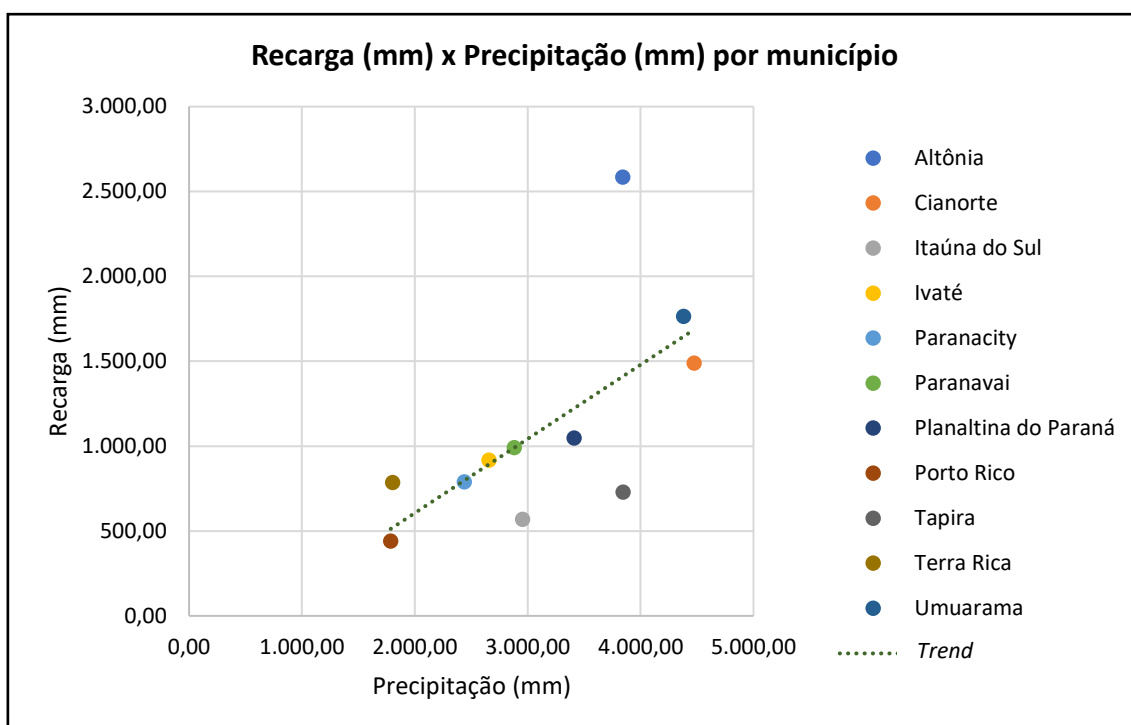


Gráfico 13: Gráfico da recarga total (mm) x precipitação total (mm) por município compreendendo o período total de estudo.

Esses números expressivos de mudança no comportamento do aquífero, que variam espacialmente e temporalmente, demonstram a importância de haver uma releitura da atual legislação sobre a exploração da água subterrânea. A legislação atual impõe uma outorga fixa para exploração do aquífero, ou seja, em períodos onde há uma acentuada disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos, como no caso da cidade de Altônia, não pode-se extrair um volume maior de água disponível no aquífero. O caminho inverso também é válido, ou seja, quando há uma menor disponibilidade da água subterrânea, em

períodos de estiagem, a outorga também define a extração da mesma forma como para períodos chuvosos onde a disponibilidade é abundante. A reavaliação da atual legislação é de extrema necessidade, porém com todo o controle necessário, pois possibilita que o aquífero possa beneficiar uma região em seu potencial máximo, ampliando o rendimento de áreas onde há uma extrema influência da água subterrânea para atividades de agropecuária, indústria, e até comercial.

Como os resultados apontam uma relação direta entre a recarga e precipitação, é necessário além do da exploração da água subterrânea, a implementação de estudos isotópicos para compreender o tempo de trânsito das águas no aquífero, e toda a complexidade envolvendo os fatores externos, envolvendo principalmente o uso do solo. Contaminantes tóxicos, como a utilização de pesticidas, contaminação por chorume, efluentes domésticos, dentre outros fatores, são fatores de extrema preocupação e necessitam ter a sua utilização controlada e dentro dos parâmetros de segurança para que o aquífero não seja afetado, e toda a reserva subterrânea possa ser utilizada para benefício da sociedade, porém, sem causar danos à um dos bens minerais mais preciosos presentes no nosso planeta, a água.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho visou estimar a recarga do Aquífero Caiuá no estado do Paraná utilizando os dados de 11 poços tubulares da rede RIMAS/CPRM, com a disponibilidade de dados diários da variação do nível estático nesses poços de monitoramento.

O método *Water Table Fluctuation* demonstrou-se eficiente e prático para a estimativa da recarga de 11 poços tubulares do Aquífero Caiuá no estado do Paraná, dentro das especificações necessárias para a aplicação do mesmo. Não foi possível a aplicação do método para 2 dos 13 poços tubulares, pois durante o período de estudo não foi observado uma recessão na curva do nível estático, e não foi possível determinar o Δh para a execução dos cálculos.

Durante o ano de 2015 houve uma acentuada elevação do nível estático detectadas em alguns dos poços tubulares estudados, associados à grandes períodos chuvosos e a picos de precipitação durante o segundo semestre desse ano.

A recarga média durante o período de estudo, para os 11 poços tubulares analisados, foi de 1.101,59 mm, onde o valor extremo foi no piezômetro localizado na cidade de Altônia, com um valor de recarga de 2.584,50 mm, e o valor mínimo na cidade de Porto Rico, com um valor de recarga de 440,71 mm.

O valor médio da relação entre a recarga / precipitação é de 34,50%. O piezômetro localizado na cidade de Altônia, além de possuir a maior recarga durante o período monitorado, também possui o maior valor dessa relação, no valor de 67,26%. O valor mínimo obtido para essa relação foi de 18,99%, também na cidade de Porto Rico.

Os resultados evidenciam uma relação direta entre a precipitação e a recarga, demonstrando a necessidade de disciplinar também o uso do solo, visando eliminar a possibilidade de fontes potenciais de contaminação poluírem o aquífero.

É possível observar uma tendência geral de diminuição no valor da recarga e da precipitação conforme grada para o norte da área de estudo. A relação recarga/precipitação possui uma distribuição mais irregular, demonstrando que há fatores externos que variam de cidade a cidade, tais como a taxa de evapotranspiração, relevo, vegetação, composição do substrato, dentre outros fatores.

É necessário a implementação de estudos isotópicos visando entender o tempo de transito das águas no aquífero.

REFERÊNCIAS

- ÁGUASPARANÁ – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental; SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Diagnóstico das disponibilidades hídricas subterrâneas. 2010. 142 p. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2017.
- Barreto C. E. A. G; Wendland E.; Gomes L. H. 2007. Definição de um modelo de balanço hídrico para uma bacia representativa localizada em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo/SP, 20p.
- Celligoi A. **Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná**. 95 f. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- Celligoi A.; Duarte U. 2002. Hidrogeoquímica do aquífero Caiuá no Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Paraná, n. 51, p. 19-32, 2002.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/> Acesso em 20 ago. 2017.
- Fernandes L. A.; Coimbra A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências. **Academia Brasileira de Ciências**, São Paulo, SP, v. 68, n. 2, p. 195-205, 1996.
- Freeze R. A.; Cherry, J. A. **Groundwater**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1979.
- Healy R. W.; Cook P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, v. 10, p. 91-109, 2002.
- Hirata R.; Zoby J. L. G.; Oliveira F.R. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In: Bicudo, C.E de M.; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo, SP: Academia Brasileira de Ciências e Instituto de Botânica, 2010. p. 149-160.
- Lazzarotto E. M.; Franzini A. S., Dos Santos G. N., Kuhn I. A. O Monitoramento do Aquífero Caiuá no Paraná pela Rede RIMAS/CPRM. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016, Campinas, SP. **Anais...** São Paulo: Águas Subterrâneas, 2016.
- Lerner D. N.; Issar A. S.; Simmers I. 1990. **Groundwater Recharge: A Guide to Understanding & Estimating Natural Recharge**. vol. 8 of International contributions to hydrogeology. Hannover: Heise, 1990.
- Maziero T. A.; Wendland E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2005.

Anais... Disponível em:

<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23197> Acesso em 2 nov. 2017.

Moon S.; Woo N. N.; Lee K. S. Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. In: **Journal of Hydrology**. v. 292. p. 198-209. 2004.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Carta das águas subterrâneas do Paraná: resumo executivo / Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 337p. Brasília, 2015.

Rebouças A. C.; Braga B.; Tudinisi, J.G. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

Rosa Filho E. F. **Uma análise sobre a produtividade dos poços tubulares no Aquífero Caiuá - região noroeste do estado do Paraná**. 394 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1982.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Dados de abastecimento de água do Estado do Paraná. 2015a. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br>. Acesso em: 02 nov. 2017.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Dados de poços utilizados pela Sanepar para abastecimento público em municípios paranaenses sob sua concessão. 2015b. Material fornecido em meio digital pela Diretoria de Hidrogeologia da SANEPAR, abril de 2015.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Dados de Outorgas do Estado do Paraná. 2014. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/>. Acesso em 10 out. 2017.

Scanlon B. R.; Healy R. W.; Cook P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. In: **Hydrogeology Journal**. v. 10, n. 1, p. 18-39. 2002.

White D. S. Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. In: **Journal of the North American Benthological Society**. v. 12, n. 1, p. 85-91. 1993.