

Artigos

Recarga de aquífero em Floresta Estacional Decidual nativa, Parque Estadual do Turvo (RS)

Aquifer recharge on a Native Deciduous Seasonal Forest, Turvo State Park (RS)

Fernando Pasiniⁱ 
Malva Andrea Mancusoⁱⁱ 
Patricia Rodrigues Fortesⁱⁱ 
Fábio Marcelo Breunigⁱⁱ 
Rafael Renato Fritzenⁱⁱ 

ⁱInstituto Água e Terra, Curitiba, PR, Brasil

ⁱⁱUniversidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil

RESUMO

Considerando a importância das florestas na retenção das águas oriundas da precipitação pluviométrica e a sua função estratégica na recarga de aquíferos, este estudo teve por objetivo estimar a recarga direta e natural do aquífero raso da zona de alteração dos basaltos da Formação Serra Geral, subjacente à Floresta Estacional Decidual nativa, bioma de Mata Atlântica. Para estimar a recarga do aquífero, foi aplicado o método *Water Table Fluctuation (WTF)*, com base na análise de séries temporais do nível freático e da precipitação, coletadas durante o período de 50 dias (de janeiro a março) no Parque Estadual do Turvo - PET (RS). Para a análise sistemática da variação do nível de água subterrânea (N.A.), foram coletados dados sub-horários com medidores de pressão automáticos (CTD), em três piezômetros localizados no PET. Em simultâneo (com igual periodicidade), foram coletados dados de precipitação pluviométrica no interior do PET, com uma estação experimental. A recarga média, direta e natural, estimada a partir de dados coletados durante o período de verão, foi de 23% da precipitação pluviométrica. O tempo médio de resposta do nível de água do aquífero livre foi de 8 a 10 horas.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Floresta subtropical; Hidrologia florestal; Aquífero fraturado

ABSTRACT

Considering the relevancy of the forests to retain rainfall waters and their strategic role to the recharge of subjacent aquifers, this study aimed to estimate the direct and natural recharge of the phreatic aquifer of the weathering zone from the Serra Geral Formation basalts. The studied aquifer is under a Native Deciduous Seasonal Forest from an Atlantic Forest biome. In order to estimate the recharge to the phreatic aquifer, the Water Table Fluctuation (WTF) method was applied based on the time series analysis of water table and rainfall. The data was collected in the State Park of Turvo – PET (RS) during a 50 days period (from January to March). Sub-hourly groundwater level data were collected with automatic pressure meters (CTD) from three piezometers, for the systematic analysis. At the same time, rainfall data were collected inside the PET, from an experimental pluviometric station. The direct and natural recharge to the phreatic aquifer was estimated in 23% of the rainfall, for summer time. Mean time for the water table initial response was 8 to 10 hours.

Keywords: Groundwater; Subtropical forest; Forest hydrology; Fractured aquifer

1 INTRODUÇÃO

Estudos recentes têm focado na quantificação da recarga de aquíferos em zonas de floresta, visando avaliar a função dessas áreas na captura e retenção de águas em subsolo (ILSTEDT *et al.*, 2016; PALAVRO, 2015; EVARISTO; JASECHKO; MC. DONNELL, 2015). Entretanto, os estudos também destacam que a elevada densidade de vegetação nas florestas mantém um ambiente úmido por longos períodos de tempo, pois retém parte do volume precipitado entre o solo e a copa das árvores, o que não resulta, necessariamente, em recarga (ILSTEDT *et al.*, 2016; EVARISTO; JASECHKO; MC. DONNELL, 2015). Além disso, outro importante fator que reduz a recarga efetiva por precipitação em zonas densamente florestadas é a elevada taxa de evapotranspiração. De acordo com Lucas e Wendland (2016), observa-se uma redução de até 66% da recarga em florestas de eucaliptos, quando comparada à das áreas com pastagens. Em florestas de *Pinus sylvestris L*, localizadas sobre aquíferos freáticos rasos, foi observado que as águas subterrâneas suprem 98,5% da água consumida pela vegetação durante longos períodos de estiagem, ocasionando a perda de recurso que drenaria para zonas mais profundas do aquífero (VINCK; THIRTY, 2008). Todavia,

variações no manejo dessas florestas podem resultar em diferenças significativas na recarga anual de aquíferos rasos (ALA-AHO; ROSSI; KLØVE, 2015). Destaca-se, também, a importância da investigação do clima local e do solo, pois são dois relevantes fatores que condicionam diretamente os volumes de água subterrânea que poderão ser acumulados pelo sistema (ALA-AHO; ROSSI; KLØVE, 2015).

No âmbito da quantificação da recarga de aquíferos, um dos desafios encontrados é a estimativa de taxas realistas (KING *et al.*, 2017). Em aquíferos não confinados, as estimativas de recarga podem ser realizadas a partir de medições de vazão *in loco*, quantificando os volumes de escoamento de base em zonas de descarga (GRAEPIN *et al.*, 2016); utilizando métodos de traçadores, ou a partir da aplicação de modelos numéricos e das leis de fluxo das zonas não saturadas e saturadas (SCANLON; HEALY; COOK, 2002).

Um dos métodos utilizados para quantificar a recarga em aquíferos livres é o *Water Table Fluctuation (WTF)*, que permite estimar o valor de recarga em um intervalo de tempo (Δt), a partir da variação da altura do nível de água (Δh) e o rendimento específico (S_y) (adimensional) da zona de percolação (HEALY; COOK, 2002). O método tem sido amplamente utilizado em zonas com cobertura florestal (VINCK; THIRTY, 2008; ALA-AHO; ROSSI; KLØVE, 2015), pois permite estimar taxas de evapotranspiração, transpiração e de recarga no caso de aquíferos com nível freático raso.

Considerando a importância das florestas na retenção das águas oriundas da precipitação pluviométrica, a sua função estratégica na recarga de aquíferos rasos subjacentes e, conseqüentemente, a sua contribuição para a recarga de aquíferos mais profundos, este estudo teve por objetivo estimar a recarga direta e natural do aquífero subjacente à Floresta Estacional Decidual nativa, bioma de Mata Atlântica. Para tal diagnóstico, foi utilizada como base a análise de séries temporais de flutuação do nível freático.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de estimar a recarga direta e natural do aquífero subjacente à uma Floresta Estacional Decidual nativa, o estudo hidrogeológico foi desenvolvido no Parque Estadual do Turvo, pelo fato de ser uma Unidade de Conservação de Proteção Integral.

Para quantificar a recarga da zona saturada, localizada no manto de intemperismo dos basaltos (rocha vulcânica) em ambiente de floresta nativa, foi utilizado o método *Water Table Fluctuation (WTF)*, que se baseia na análise de séries temporais de flutuação do nível freático. O método permite, a partir dos dados de precipitação pluviométrica do mesmo período, estimar o percentual de recarga do aquífero.

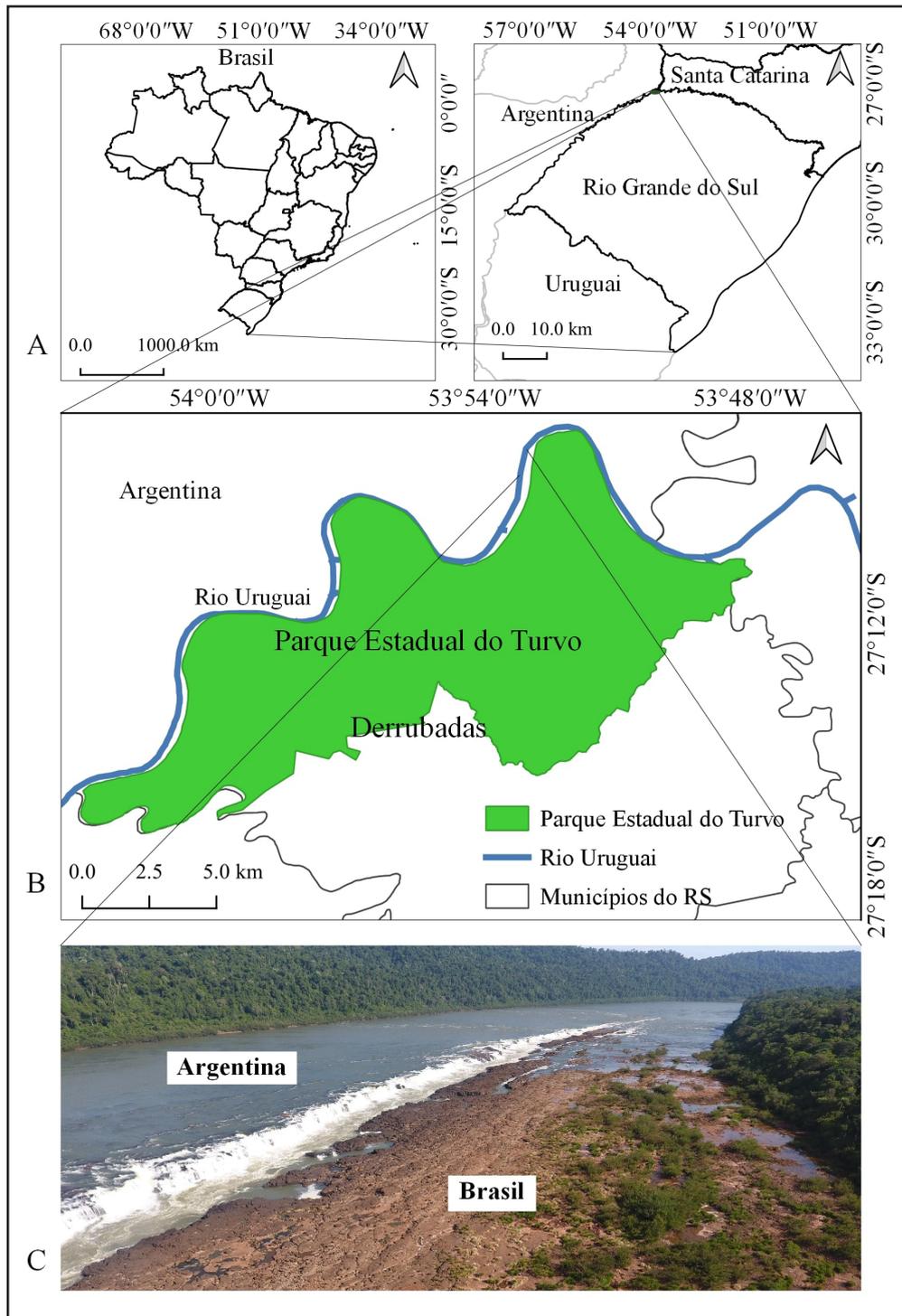
O monitoramento hidrogeológico (de flutuação do nível d'água) e o pluviométrico foram realizados em simultâneo, no interior do Parque Estadual do Turvo (PET), entre os dias 14/01/2015 a 05/03/2015.

A seguir, descreve-se detalhadamente a área de estudo, a metodologia utilizada para a quantificação de recarga e os procedimentos de coleta de dados hidrogeológicos e pluviométricos.

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo de recarga de aquífero em bioma de Mata Atlântica foi realizado no Parque Estadual do Turvo (PET), que apresenta ecossistema nativo característico de Floresta Estacional Decidual (Floresta Caducifólia) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012) (Figura 1). O PET é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral criada em 1947 e está localizado no município de Derrubadas (RS, Brasil) (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2005). É o maior remanescente de Floresta Subtropical Perenifolia do Rio Grande do Sul (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2005).

Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Turvo (PET).



Fonte: Autores (2020)

Em que: A. Localização do PET no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (zona de fronteira entre o Brasil e a Argentina); B. Zona de abrangência do PET no município de Derrubadas (RS); C. Imagem aérea adquirida com Phantom 4 (RGB) em 2017, mostrando a falha geológica do Salto do Yucumã, no Rio Uruguai, em zona de fronteira internacional do Parque Estadual do Turvo.

Regionalmente, o PET está inserido na bacia hidrográfica do Rio Uruguai (Figura 1), homônima ao rio principal, que constitui o limite N e NW do parque e apresenta uma vazão média de $1.652 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (dados da estação fluviométrica 74100000 - ANA, localizada 98 km à montante do PET, no município de Iraí, RS) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). Na área do parque, o Rio Uruguai recebe a contribuição de pequenos cursos d'água (denominados de lajeados, arroios e sangas), como o Arroio Parizinho, Arroio Bonifácio, Sanga do Portinho, Arroio Mairoso, Arroio do Meio, Arroio Calixto e o Lajeado Fábio (SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2005).

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Subtropical úmido (Cfa) (KUINCHTNER; BURIOL, 2001). As temperaturas médias do mês mais quente, janeiro, são próximas de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e do mês mais frio, julho, são da ordem de 14°C (Estação: IRAI - RS, OMM: 83881; período de análise: 1962-2018) (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2020). A temperatura média máxima do mês mais quente, janeiro, é de $36 \text{ }^\circ\text{C}$ aproximadamente, enquanto que no mês mais frio, julho, as mínimas atingem $5 \text{ }^\circ\text{C}$, em média (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2020). A precipitação pluviométrica média anual é de 1.871 mm aproximadamente, sendo as chuvas bem distribuídas ao longo do ano (entre 108 e $240 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$), totalizando 97 dias com chuvas em média (estação pluviométrica de Iraí nº 02753019, período de análise: 1995 e 2018) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). As precipitações diárias podem atingir máximas de 180 mm , entretanto, segundo Arboit, Mancuso e Fioreze (2017), vem ocorrendo um aumento das precipitações máximas diárias nos últimos anos.

O PET preserva o bioma de Mata Atlântica, com espécies características de Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012; SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2005), mas também ocorrem outras formações vegetais relacionadas às áreas de banhado, campo, córregos e locais de alteração antrópica (BALBINOT *et al.*, 2016; MIKHAILOVA; MULBEIER, 2008).

No contexto geológico, o PET está localizado sobre rochas vulcânicas que configuram regionalmente um aquífero com porosidade por fraturas, o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). O SASG possui elevada potencialidade devido ao seu condicionamento geológico (MACHADO; FREITAS, 2005). Apesar de ser predominantemente fraturado, observa-se uma zona de intemperismo saturada, na porção superior dos basaltos da Formação Serra Geral. Essa zona apresenta espessuras variáveis, com valores máximos observados de até 24 m (BAUM; MANCUSO; FRITZEN, 2018) e características hidrodinâmicas de aquífero livre (FRITZEN, 2016), configurando-se como zona potencial de recarga do SASG.

Próximo à superfície ocorrem os solos Chernosolo Argilúvico Férrico Típico (MTf) e o Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico (Rle1), de cor vermelho-escura, que se caracterizam pela presença de argilas, sendo pobres em quartzo e ricos em ferro e manganês, com profundidade média e drenagem rápida (MIKHAILOVA; MULBEIER, 2008). A granulometria média dos solos coletados na região indica predominância da fração de argila (46%), seguida pelo silte (33%) e, em menor proporção, pela areia (21%) (BAUM; MANCUSO; FRITZEN, 2018).

2.2 Método para quantificação e recarga

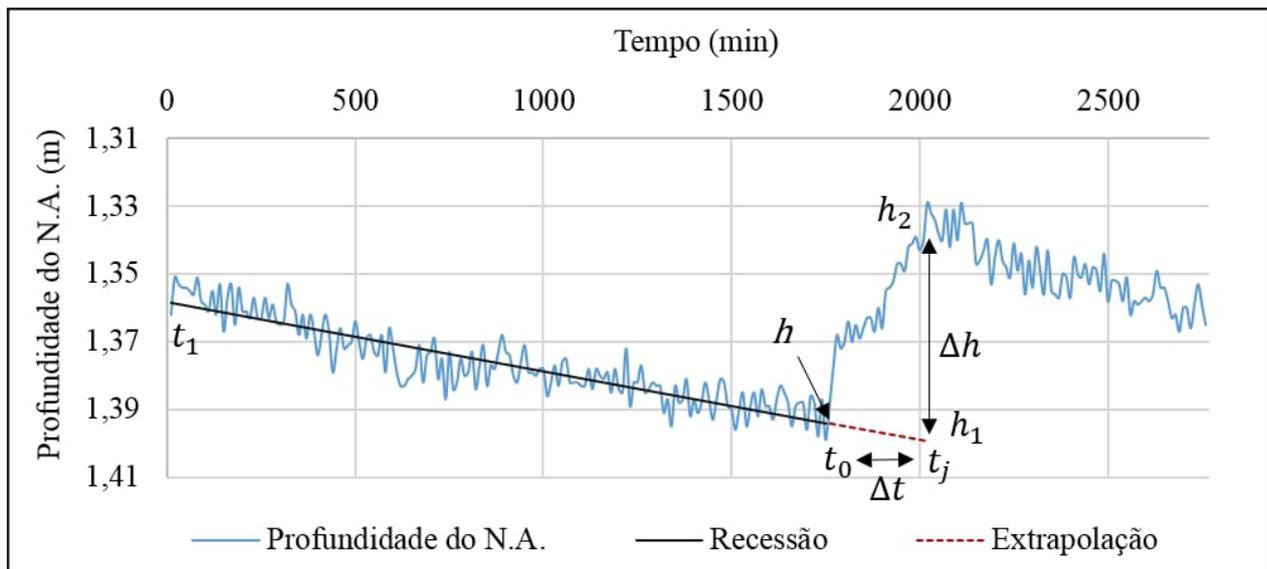
O método WTF permite estimar o valor de recarga (R) (mm), ocorrida entre os tempos t_0 e t_j (Δt), a partir da altura do nível de água (h), considerando o rendimento específico (S_y) (adimensional) e o período (Δt) em que ocorreu a recessão extrapolada (Δh) (Equação 1) (HEALY; COOK, 2002).

$$R = S_y \cdot \Delta h \cdot \Delta t^{-1} \quad (1)$$

Uma das dificuldades na utilização do método refere-se ao cálculo da variação da altura do nível de Δh , visto que o nível do aquífero está em constante recessão (pela descarga), e é alterado (eleva) conjuntamente quando ocorre um evento de precipitação,

resultando em um incremento pontual do nível d'água (Δh) por intervalo de tempo (Δt). Entende-se que, pelo fato do nível da água (N.A.) ser dinâmico (o aquífero continua a contribuir para as zonas de descarga, mesmo durante o período de recarga), a variação efetiva do nível (Δh) é superior à diferença entre o nível d'água máximo (h_2) observado durante a recarga e o mínimo (h), referente à recessão registrada imediatamente antes da elevação do nível freático (HEPPNER; NIMMO, 2005) (Figura 2).

Figura 2 – Hidrograma unitário, resultante de monitoramento hidrogeológico realizado no Parque Estadual do Turvo entre os dias 19 e 21 de janeiro de 2015



Fonte: Autores (2020)

Em que: O intervalo de tempo (Δt) é o tempo transcorrido ($t_0 - t_j$) entre o fim da recessão (h) e a elevação máxima do N.A. (h_2). A variação do N.A. (Δh) é obtida pela diferença entre a elevação máxima (h_2), medida no tempo (t_j) e a mínima (h_1), obtida pela extrapolação da recessão até o tempo (t_j).

Para considerar a continuidade de descarga do aquífero durante a recarga, optou-se pela extrapolação da curva de recessão pelo método gráfico, identificando o comportamento da recessão e acompanhando-a na mesma lei de função (NIMMO; HOROWITZ; MITCHELL, 2015; PALAVRO, 2015). Uma das dificuldades indicadas para aplicação do método gráfico é que a lei de tendência da extrapolação da recessão

é subjetiva ao hidrograma analisado, não havendo uma padronização para tal (BARRETO; GOMES; WENDLAND, 2010).

Neste estudo, a projeção da curva de recessão para obtenção de h_1 foi realizada a partir da aplicação das funções de regressão linear, quadrática e exponencial, obtidas com base na linha de tendência da curva de recessão (ferramenta de análise de gráficos do *software LibreOffice Calc*). Os resultados (h_1 em t_j), obtidos pela utilização dos três métodos de extrapolação, foram utilizados, de forma independente, para o cálculo da recarga (R) e os resultados foram analisados e comparados entre si.

A estimada de recarga (R) foi realizada considerando o rendimento específico (S_y) médio de 0,09, estimado com base na média granulométrica das frações de areia (21%), silte (33%) e argila (46%), obtidas a partir da análise de amostras de solo da região (BAUM; MANCUSO; FRITZEN, 2018).

2.3 Monitoramento hidrogeológico

Foram coletados dados de nível d'água subterrânea a partir de três piezômetros, instalados a aproximadamente 1 km da entrada do parque (Tabela 1), em área de floresta do PET. No interior de cada piezômetro (em zona saturada) foi colocada uma sonda CTD do tipo *Levellogger*, programada para a obtenção de dados de pressão da coluna de água (posteriormente convertidos em dados de profundidade do nível de água), com periodicidade de 10 min. Em simultâneo, foi igualmente programada uma sonda do tipo *Barologger*, para obtenção de dados de pressão atmosférica, que foi instalada no interior de um dos piezômetros (em zona não saturada). A metodologia de cálculo da profundidade do nível de água subterrânea por meio da medição de pressão (*Levellogger* e *Barologger*) encontra-se detalhada no manual de uso dos referidos instrumentos (SOLINST, 2019).

Tabela 1 – Poços de monitoramento instalados no Parque Estadual do Turvo (PET) (Derrubadas, RS) para realização do monitoramento hidrogeológico

Piezômetro	UTM 22S*		Cota (m)**	Profundidade média do N.E. (m)	Profundidade do Piezômetro (m)
	Latitude	Longitude			
Pz1	217544	6985510	401,15	0,56	1,31
Pz2	217551	6985511	401,85	1,10	1,91
Pz3	217548	6985513	401,89	1,08	1,89

Fonte: Autores (2020)

Em que: (*) UTM 22S: Sistema de projeção geográfica; (**) Cota aproximada calculada a partir da interpolação da base cartográfica vetorial e medições realizadas em campo (HASENACK; WEBER, 2010); N.E.: Nível Estático do Aquífero.

O piezômetro Pz1 foi instalado próximo à uma zona de afloramento de águas subterrâneas (nas proximidades de uma lagoa) e os Pz2 e Pz3 foram instalados a distância de 4 m entre si. As profundidades de instalação, entre 1,31 e 1,91 m, foram limitadas pela espessura da rocha alterada. Entre os fatores que influenciaram na seleção do local de instalação dos piezômetros, utilizados para o monitoramento hidrogeológico da zona alterada dos basaltos que compõem o SASG, destacam-se:

a – a seleção de área topograficamente elevada: os instrumentos foram instalados à cota altimétrica superior a 400 m (Figura 3), de forma a representar a recarga por precipitação com menor influência possível da concentração do fluxo das águas subterrâneas advindas de zonas de montante;

b – a instalação de acordo com uma configuração geométrica triangular: para facilitar a interpretação da direção de fluxo (definido pelo plano da superfície potenciométrica), a partir de três pontos com dados de N.A.;

c – a localização afastada e centralizada em relação às nascentes mais próximas;

d – a instalação em local com possibilidade de acesso de pessoas e equipamentos: para a realização das perfurações e facilidade de ingresso na floresta, de forma a viabilizar a instalação e a retirada das sondas, assim como a menor intervenção possível no meio;

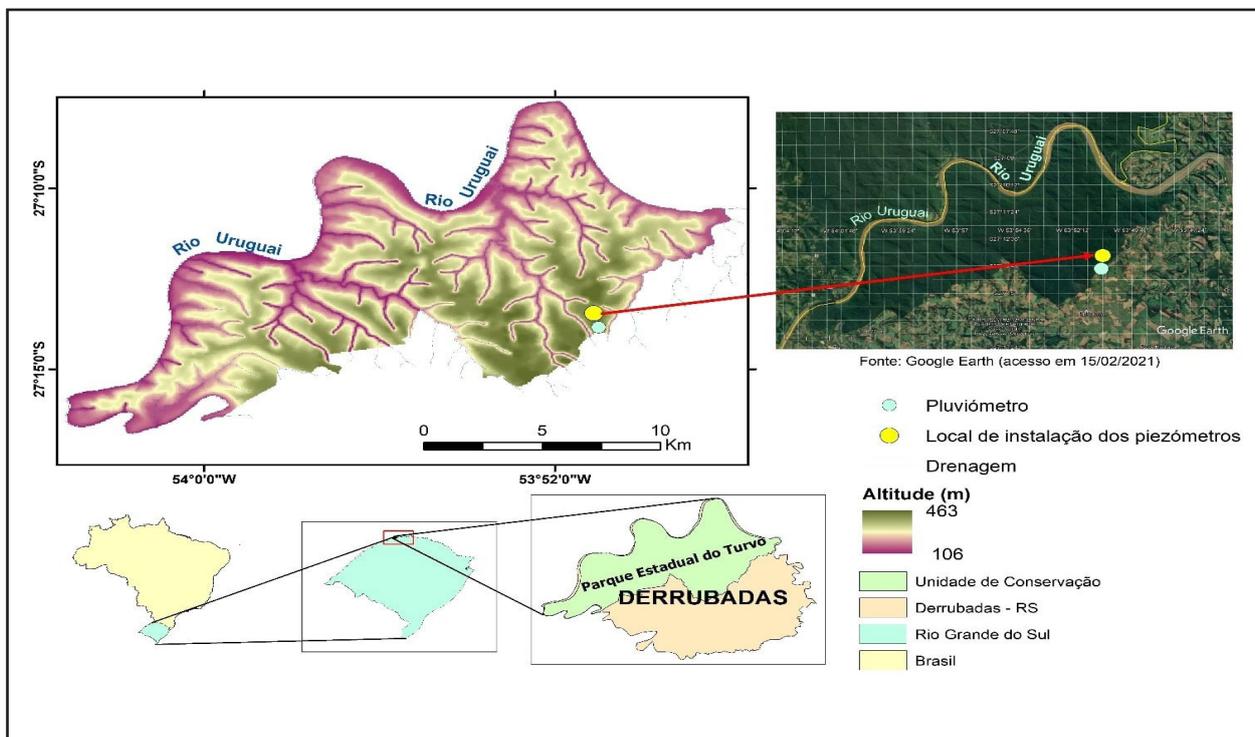
e – a seleção de local próximo à área de apoio do PET: por questões de segurança dos pesquisadores envolvidos;

f – a localização próxima de todos os instrumentos de medição: pluviômetro (instalado na entrada do PET) e piezômetros (distantes 1 km, aproximadamente) (Figura 3). Para garantir que os eventos de precipitação registrados no pluviômetro correspondem efetivamente aos registrados pelos sensores no aquífero, diminuindo o efeito da variabilidade espacial da precipitação no interior do parque.

As características hidrogeológicas do meio (e a consequente localização dos poços de monitoramento), que foram consideradas para avaliar a recarga da zona de intemperismo do SASG, estão de acordo com as constatações realizadas por Baum, Mancuso e Fritzen (2018), que utilizaram o método WTF para a estimativa da recarga da zona alterada dos basaltos, a partir de 13 poços monitorados numa área de 5,66 km² na cidade de Frederico Westphalen (distante 72 km do PET). Os autores constataram que os poços instalados em áreas topograficamente mais elevadas (como topos de morro) e afastadas das nascentes e das drenagens obtiveram oscilação de nível de água significativamente maior em relação aos outros. Portanto, a localização dos instrumentos de monitoramento também levou em consideração a variabilidade espacial da recarga do aquífero e a sua representatividade em relação à hidrodinâmica do sistema.

Como os sensores detectam a variação dos níveis de água na zona saturada (por pressão) e a recarga é calculada a partir dessas variações, os sensores precisam estar permanentemente em ambiente saturado (abaixo do N.A.), para que seja possível registrar a ascensão ou descenso das águas subterrâneas. A rocha na base do sistema permitiu o acúmulo dessa água e possibilita a existência de um meio com espessura saturada suficiente e necessária para o correto funcionamento dos sensores.

Figura 3 – Local de instalação dos piezômetros (Pz1, Pz2 e Pz3) e do pluviômetro, com as sondas de medição contínua de pressão atmosférica e da coluna de água, Parque Estadual do Turvo (PET), Rio Grande do Sul



Fonte: Autores (2021)

Os dados de nível de água subterrânea de cada piezômetro foram tratados em planilhas eletrônicas no *software Libre Office Calc* e, a partir delas, foram elaborados os respectivos hidrogramas. Os gráficos permitiram identificar os períodos de recessão prévios às recargas, e para cada um dos intervalos de recessão foram calculadas as linhas de tendência pelos métodos de regressão linear, quadrática e exponencial. As linhas de tendência foram extrapoladas até o instante (t_1), que é o instante em que ocorre a cota máxima de elevação do N.A. (h_2), subsequente ao evento de precipitação.

A fim de identificar a lei de tendência que melhor se ajusta ao rol dos dados obtidos, para cada uma delas foi aplicado o método dos mínimos quadrados.

2.4 Monitoramento pluviométrico

Instalou-se um pluviômetro experimental do tipo *Ville de Paris* na área interna do PET, a cerca de 1 km dos piezômetros. Acoplado ao pluviômetro instalou-se um receptáculo para coleta de água de chuva, dentro do qual posicionou-se uma sonda de registro automático de pressão (CTD *Levelogger*), programada para efetuar o registro da pressão da coluna de água de chuva acumulada no equipamento a cada 10 min., em simultâneo com os registros obtidos nos piezômetros pelo CTD *Levelogger* e pelo *Barologger*.

Os dados coletados pelo pluviômetro experimental foram analisados em conjunto com dados coletados em estações pluviométricas próximas ao Parque, sendo estas: 3443 Uruguay – Peperí Mini (Argentina) e 3441 Soberbio – San Vicente (Argentina) (obtidos na Base de Datos Hidrológicos Integrada – BDHI) e A854 Frederico Westphalen (Brasil) (base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET) (Tabela 2).

Tabela 2 – Estações pluviométricas instaladas no Parque Estadual do Turvo (Derrubadas, RS) e proximidades, com registro de dados pluviométricos entre 14/01/2015 a 03/05/2015

Estação	Coordenada UTM		País	Base de dados
	Latitude	Longitude		
3441 – Soberbio - São Vicente	7011094 ¹	747425 ¹	Argentina	BDHI
A854 – Frederico Westphalen	6967426 ²	259768 ²	Brasil	INMET
3443 – Uruguay - Peperí Mini	6993159 ²	209331 ²	Argentina	BDHI
PET – Estação Experimental	6984583 ²	217646 ²	Brasil	-

Fonte: BDHI (2020) e INMET (2020)

Em que: ¹ Sistema de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*), fuso 21S (meridiano central 57°); ² Sistema de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*), fuso 22S (meridiano central 51°).

Para fins de análise comparativa e de representatividade dos dados de precipitação coletados dentro do PET, em relação aos dados coletados pelas estações pluviométrica fora do PET. Outrossim, durante o período de estudo foram calculadas as precipitações diárias, o total precipitado por evento e o número de dias com precipitação por evento, para as quatro estações de medição pluviométrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrevem-se, inicialmente, os resultados do monitoramento hidrogeológico e pluviométrico, a partir dos quais é calculada, na sequência, a recarga da zona de intemperismo da Formação Serra Geral na Unidade de Conservação do Parque Estadual do Turvo - PET.

3.1 Monitoramento hidrogeológico

Durante o período de monitoramento, foram registrados seis eventos relevantes de recarga no poço Pz1, três no Pz2 e três no Pz3 (Pz). Os eventos de recarga (E) e os períodos de recessão (Dia-Hora) precedentes foram isolados no hidrograma. Dessa forma, foram registrados 6 eventos no piezômetro Pz1 (Pz1E1 a Pz1E6), 3 eventos no Pz2 (Pz2E1 a Pz2E3) e 2 eventos no Pz3 (Pz3E1 e Pz3E2) (Tabela 3) para posterior análise e obtenção do Δh , em concordância com o método WTF.

Tabela 3 – Período e duração dos eventos de recessão do nível freático, e período e duração da extrapolação da recessão, obtidos nos piezômetros instalados no PET (Derrubadas-RS) entre 14/01/2015 e 05/03/2015

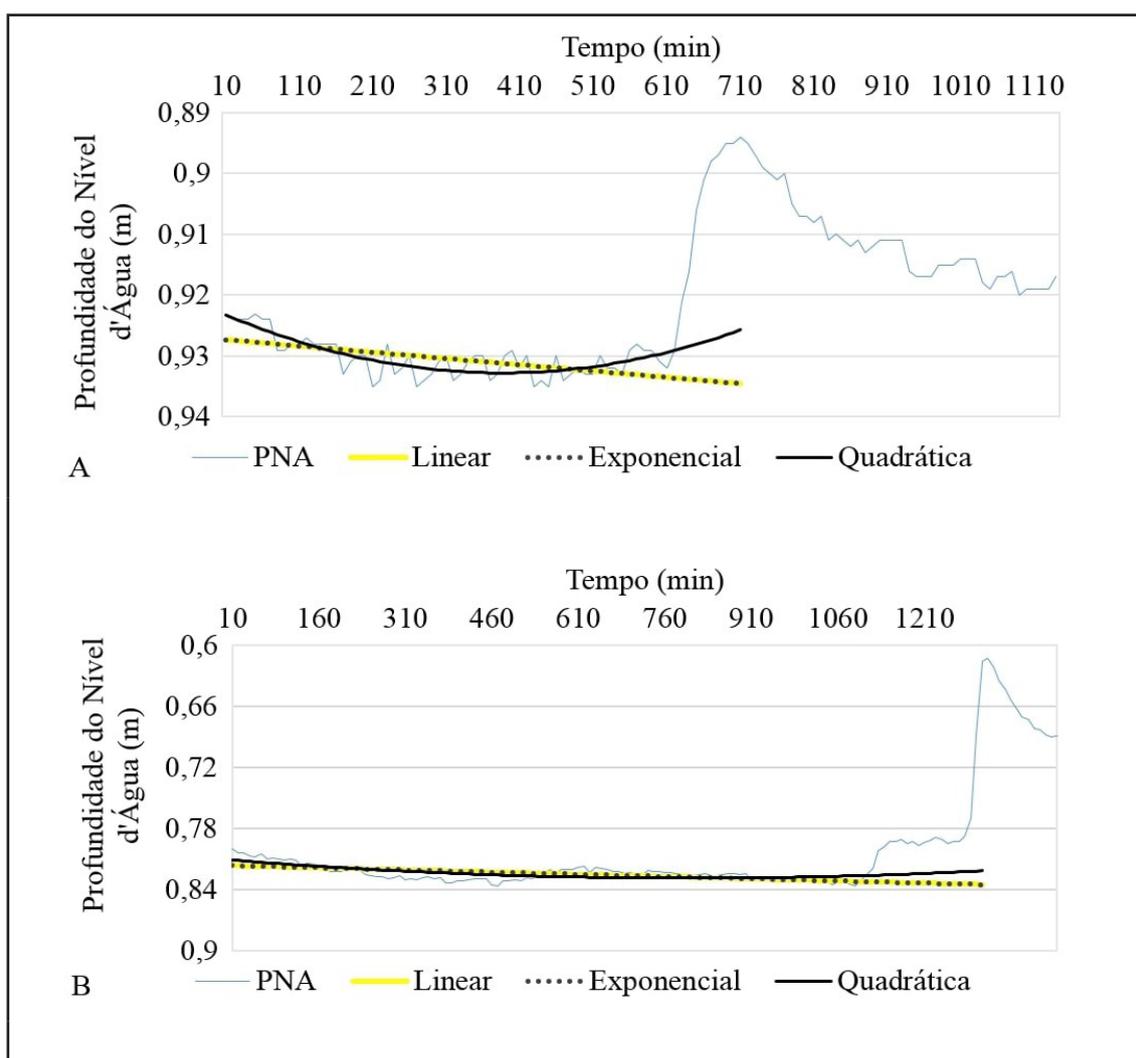
Piezômetro e Evento	Mês	Período de Recessão			Período de Extrapolação		
		(Dia - Hora)		Nº de Dias	(Dia - Hora)		Nº de Dias
		Início	Fim		Início	Fim	
Pz1E1	Jan	15 - 00:20	20 - 19:00	5,78	20 - 19:10	21 - 02:50	0,44
Pz1E2	Fev	10 - 20:50	11 - 18:00	0,88	11 - 18:10	11 - 20:00	0,08
Pz1E3	Fev	13 - 18:30	14 - 04:20	0,41	14 - 04:30	14 - 06:10	0,07
Pz1E4	Fev	21 - 16:00	22 - 03:10	0,47	22 - 03:20	22 - 03:50	0,02
Pz1E5	Fev	22 - 05:10	23 - 01:50	0,86	23 - 02:00	23 - 03:00	0,04
Pz1E6	Mar	03 - 02:00	04 - 22:50	1,87	04 - 23:00	05 - 01:40	0,11
Pz2E1	Jan	14 - 00:10	20 - 19:00	6,78	20 - 19:10	20 - 23:00	0,16
Pz2E2	Jan	22 - 02:40	25 - 01:00	2,93	25 - 01:10	25 - 02:00	0,03
Pz2E3	Fev	19 - 00:00	21 - 21:40	2,90	21 - 21:50	25 - 13:40	3,66
Pz3E1	Jan	18 - 13:30	20 - 10:20	1,87	20 - 10:30	20 - 15:50	0,22
Pz3E2	Fev	21 - 16:00	22 - 18:30	1,10	22 - 18:40	23 - 00:00	0,22

Fonte: Autores (2020)

Por meio das análises de regressão da linha de recessão do hidrograma de nível d'água subterrânea, considerando os distintos eventos de precipitação e de estiagem (períodos sem precipitação pluviométrica), foi possível obter, para cada evento, as respectivas equações linear, exponencial e quadrática.

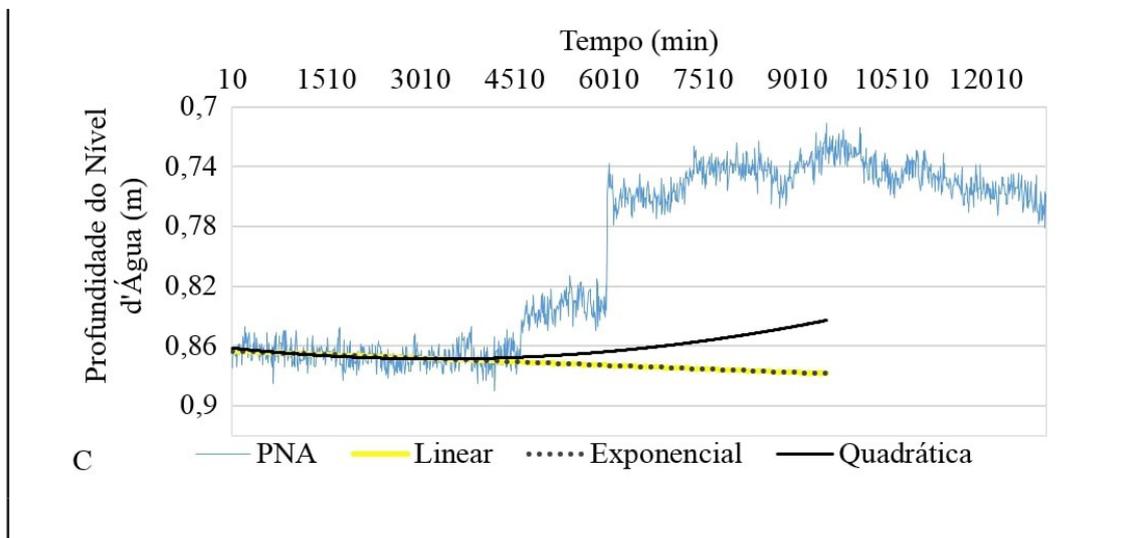
A análise gráfica das tendências de recessão resultantes da aplicação das referidas equações (Figura 4A, 4B e 4C) permite observar a incompatibilidade da função quadrática na representação da tendência de recessão do hidrograma (declínio do N.A.).

Figura 4 - Hidrograma e tendência linear, exponencial e quadrática do período de recessão anterior ao evento de recarga



Continua ...

Figura 4 – Conclusão



Fonte: Autores (2020)

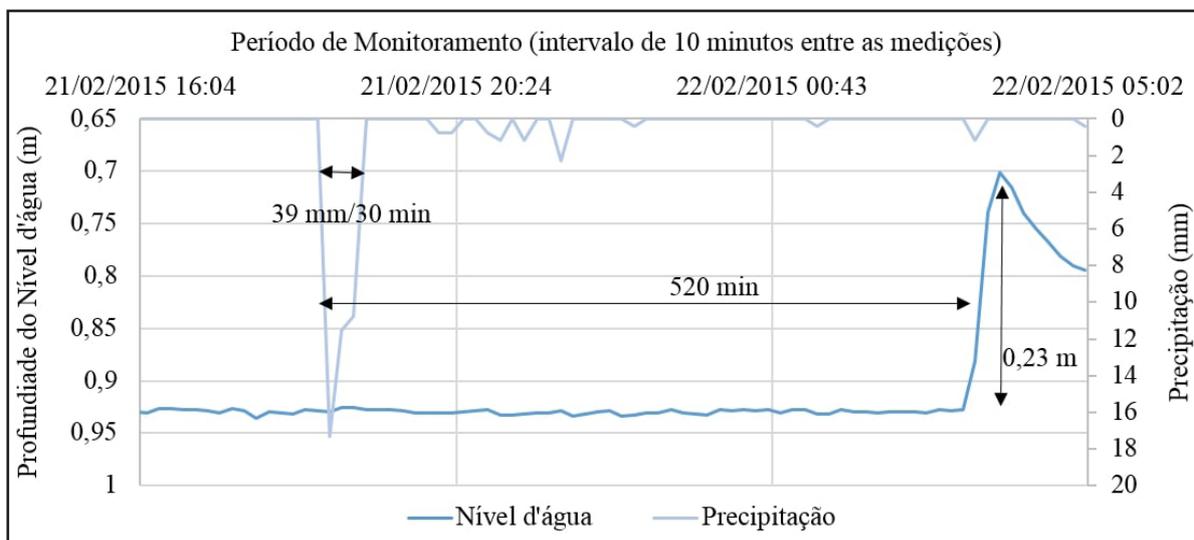
Em que: A. Hidrograma do terceiro evento (E3) observado no Pz1 (Pz1E3) (de 11/02/2015 às 22:10 a 12/02/2015 às 21:40); B. Hidrograma do quinto evento observado no Pz1 (Pz1E5) (de 22/02/2015 às 05:10 a 22/02/2015 às 23:10); C. Hidrograma do terceiro evento observado no Pz2, (Pz2E3) (de 19/02/2015 às 00:00 a 21/02/2015 às 21:40).

A partir dos hidrogramas constatou-se que, em todos os eventos, a função linear representa de forma satisfatória a sequência temporal do conjunto de dados de recessão, obtidos nos períodos de 0,41 a 6,78 dias. Essa constatação está de acordo com resultados obtidos para eventos de curta duração (NETO; KIANG, 2008). A função exponencial manteve, em todos hidrogramas, tendência similar ao da função linear, inclusive com sobreposição.

A análise hidrogeológica da recarga do aquífero, realizada em área urbana próxima ao PET, indicou que as diferentes recessões do hidrograma apresentavam similaridades entre elas, com rebaixamentos do nível freático inicialmente acentuados, indicando maior velocidade de descarga, seguidos, num segundo momento, por rebaixamentos consideravelmente retardados (FRITZEN, 2016). Quando comparadas com a presente pesquisa, nota-se que as recessões também apresentam similaridade entre si, com tendência de linearidade no comportamento, o que pode estar relacionado à baixa profundidade do N.A. e ao tipo de solo, permitindo respostas

rápidas de variação de nível de água, resultantes dos eventos de precipitação. O tempo de resposta do sistema varia de 480 a 600 minutos após o início das chuvas (Figura 5), nos casos em que o solo não estava previamente saturado (com período seco antes do evento de precipitação).

Figura 5 – Elevação do nível freático em 0,227 m em resposta a eventos prévios de precipitação (total de 48,5 mm) registrados no PZ1 entre os dias 21 e 22 de fevereiro de 2015



Fonte: Autores (2020)

Constata-se que a elevação do nível freático se comporta de distintas formas a depender das condições ambientais prévias (estiagem ou solo já saturado), da característica da precipitação (com alta ou baixa taxa pluviométrica) e da profundidade do nível freático. No caso exemplificado na Figura 5, verifica-se que a precipitação total acumulada, de 48,5 mm, iniciada por uma chuva torrencial de 39 mm em 30 min, demorou 520 min. (tempo de infiltração) para gerar uma resposta de elevação do nível de água subterrânea de 0,23 m. Esse tempo é reduzido quando o solo já encontra-se previamente saturado, podendo gerar uma resposta quase que instantânea (conforme verificado no PZ1E2) e também retardado em função da profundidade do nível da água, podendo demorar até 1450 min para infiltrar 0,96 m (conforme verificado no PZ3E2).

Neste estudo, a água da lagoa representa um receptor do fluxo do aquífero (por ser em área topograficamente elevada, zona de topo de morro, o acúmulo de águas ocorre, principalmente, por precipitação no interior da lagoa ou pela afluência de águas subterrâneas). A lagoa atua como nível de base para o fluxo subterrâneo do seu entorno. Os piezômetros constataram fluxo do aquífero para a lagoa (cotas de N.A. acima da cota da lagoa), mesmo durante o período de maior recarga do sistema.

Considerando a representatividade das equações de tendência de recessão do hidrograma em relação ao comportamento do N.A., foram selecionadas as funções linear e exponencial para a determinação do Δh , obtido a partir da extrapolação da recessão entre os tempos t_0 e t_j .

3.2 Monitoramento pluviométrico

Em geral, a região apresenta chuvas bem distribuídas durante o ano e a precipitação média anual registrada entre 1984 e 2018, pela estação Peperi Mini, que é a mais próxima do PET (12 km), é de 1.745,9 mm, com média para o período de monitoramento (de 14/01/2015 a 05/03/2015) de 216,2 mm em 22 dias (9,8 mm/d) (BDHI, 2020). Nesse mesmo período, a Estação Experimental do PET registrou precipitação pluviométrica de 265,3 mm em 32 dias, indicando 10 dias a mais de eventos e 49,1 mm a mais de chuvas, mas intensidade média (de 8,3 mm/d), ligeiramente inferior à registrada pela estação Peperi-Mirim (de 9,8 mm/d).

As estações pluviométricas de San Vicente (localizada 35 km a sudoeste do PET) e de Frederico Westphalen (localizada 45 km a sudeste do PET) apresentaram, no mesmo período, pluviometria de 301,5 mm e 199 mm respectivamente (Tabela 4). Esses valores indicam uma redução da precipitação de oeste (Misiones, Argentina) para leste (Rio Grande do Sul, Brasil) de 1,3 mm/km. Nesse contexto, o PET está localizado às margens do Rio Uruguai, entre as estações de San Vicente (3441-Soberbio) e de Frederico Westphalen (A854) sendo que a precipitação indicada pela Estação Experimental, de 265,3 mm, é semelhante ao valor de 256 mm aproximadamente, calculado com base na redução da precipitação média/km entre a estação de San Vicente e o PET.

Tabela 4 – Comparativo entre a precipitação observada durante o monitoramento pluviométrico do Parque Estadual do Turvo, Derrubadas/RS (14/01/15 – 05/03/15) e a precipitação registrada em estações próximas ao PET

Código - Nome da Estação	Precipitação Média diária (mm)	Total Precipitado (mm)	Dias com Precipitação
3441 – Soberbio - São Vicente	5,9	301,5	18
A854 – Frederico Westphalen	3,9	199,0	36
3443 – Uruguay - Pepirí Mini	4,2	216,2	22
PET – Estação Experimental	5,2	265,3	32

Fonte: Autores (2020)

A partir da análise comparativa entre a pluviometria registrada nas diferentes estações próximas ao parque e a Estação Experimental do PET, os dados coletados pela estação experimental na área de estudo foram considerados representativos para o cálculo de recarga da zona alterada da rocha basáltica, do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

Portanto, a precipitação (P) acumulada do período entre t_1 e t_j (Figura 2) obtida na Estação Experimental do PET foi utilizada para fins de estimativa de percentual de recarga (R) em função da precipitação total do período (Δt).

3.3 Quantificação da recarga

A partir da projeção da função exponencial e linear da linha de tendência da recessão do hidrograma, prévia ao evento de precipitação, foi obtida a elevação efetiva do N.A. (Δh) para cada caso (evento por piezômetro), que multiplicada pelo rendimento específico (S_y) médio permitiu estimar a recarga efetiva (R) em cada evento e piezômetro (Tabela 5).

Considerando a precipitação pluviométrica (P) do mesmo período (Δt) para o qual a recarga (R) foi estimada, obteve-se o percentual precipitado (% P) que atingiu o N.A. da zona de alteração da rocha em cada evento (Tabela 5).

Tabela 5 – Cálculo de recarga realizado a partir da aplicação do método WTF mediante a extrapolação linear e exponencial da tendência de recessão do hidrograma de nível d'água subterrânea observada nos piezômetros Pz1, Pz2 e Pz3

Piezômetro (Pz) e Evento (E)	Função	Elev. N.A. (Δh) (mm)	S_y	Recarga (R) (mm)	Precipitação (P) (mm)	Recarga (% P)	Tempo (Δt) (dias)
Pz1E1	Linear	60	0,09	5,4	31,2	17,3	6,10
	Exponencial	60	0,09	5,4	31,2	17,3	6,10
Pz1E2	Linear	70	0,09	6,3	13,1	48,1	0,96
	Exponencial	70	0,09	6,3	13,1	48,1	0,96
Pz1E3	Linear	40	0,09	3,6	10,4	34,6	0,49
	Exponencial	40	0,09	3,6	10,4	34,6	0,49
Pz1E4	Linear	230	0,09	20,7	48,5	42,7	0,49
	Exponencial	230	0,09	20,7	48,5	42,7	0,49
Pz1E5	Linear	220	0,09	19,8	55,4	35,7	0,90
	Exponencial	220	0,09	19,8	55,4	35,7	0,90
Pz1E6	Linear	70	0,09	6,3	6,5	96,9	1,97
	Exponencial	70	0,09	6,3	6,5	96,9	1,97
Pz2E1	Linear	60	0,09	5,4	43,5	12,4	6,95
	Exponencial	60	0,09	5,4	43,5	12,4	6,95
Pz2E2	Linear	40	0,09	3,6	5,0	72,0	2,90
	Exponencial	40	0,09	3,6	5,0	72,0	2,90
Pz2E3	Linear	170	0,09	15,3	142,7	10,7	6,56
	Exponencial	170	0,09	15,3	142,7	10,7	6,56
Pz3E1	Linear	70	0,09	6,3	26,9	23,4	2,05
	Exponencial	70	0,09	6,3	26,9	23,4	2,05
Pz3E2	Linear	200	0,09	18,0	131,2	13,7	1,33
	Exponencial	200	0,09	18,0	131,6	13,7	1,33

Fonte: Autores (2020)

Em que: Elev. N.A.: Elevação do Nível d'água; S_y : Rendimento Específico do Solo.

A quantificação de recarga em áreas de floresta possui elevada dificuldade, visto que uma parcela da precipitação pode ser interceptada e retida em folhas, tronco e serapilheira (camada acima do solo, formada a partir de materiais da própria vegetação), sendo parte dela perdida por evaporação e parte pode escoar até atingir a superfície do solo, infiltrando lentamente até o nível de água subterrânea. Em zona de mata atlântica, foi constatada uma taxa média de interceptação da precipitação de 16,47%, no Rio Grande do Sul (SARI; DIAS DE PAIVA; DIAS DE PAIVA, 2016) e 18,6% no estado de São Paulo (ARCOVA; CICCIO; ROCHA, 2003). Entretanto, a capacidade de retenção de umidade de serapilheira também é um importante fator de retenção da água em zona de floresta (MATEUS *et al.*, 2013).

Neste estudo, optou-se por utilizar um método que quantifica a recarga de forma direta, por meio da variabilidade do acúmulo de água que atinge de fato a zona saturada durante os eventos de precipitação.

Em relação ao método de extrapolação da linha de recessão do nível de água dos piezômetros para obtenção do Δh , as alternativas de extrapolação linear e exponencial apresentaram resultados equivalentes em todos os casos (Tabela 5).

A quantificação da recarga total foi realizada a partir da soma das recargas resultantes de cada evento (E) de precipitação pluviométrica, observadas em cada piezômetro (Pz) (Tabela 6).

No período de verão (de janeiro a março), a recarga média da zona alterada dos basaltos da Formação Serra Geral, na floresta nativa do Parque Estadual do Turvo, foi de 23% da precipitação pluviométrica. Os piezômetros indicaram variabilidade em relação ao percentual de recarga, com valores mais elevados (37%) próximo a zonas de descarga (Pz1) e valores médios de 16% em áreas mais elevadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Recarga total da zona alterada dos basaltos da formação Serra Geral calculada pelo método *Water Table Fluctuation – WTF*, Parque Estadual do Turvo (Unidade de Conservação de Mata Atlântica)

Piezômetro	Elev. N.A. (Δh) (mm)	Sy	Recarga (R) (mm)	Precipitação (P) (mm)	Recarga (% P)	Período (dias)
Pz1	691	0,09	62,2	165,1	37,7	11,15
Pz2	273	0,09	24,6	191,2	12,9	12,63
Pz3	270	0,09	24,3	131,6	18,5	3,38

Fonte: Autores (2020)

Em que: Elev. N.A.: Elevação do Nível d'água; Sy: Rendimento Específico do Solo.

A recarga média, calculada com dados sub-horários, a partir da variação do nível de água subterrânea por evento (E) é 3,6 vezes superior ao valor de recarga de 6,3% calculada, também pelo método *WTF*, por Palavro (2015) no mesmo período. No entanto, o autor utilizou as médias diárias do nível de água subterrânea para a elaboração dos hidrogramas e estimativa do Δh . A diferença significativa entre os resultados reflete a resposta sub-diária dos níveis de água da zona saturada do manto de intemperismo dos basaltos que, ao serem calculados para um valor médio diário, provavelmente subestimam a recarga do sistema.

O monitoramento sub-horário realizado neste estudo (utilizando medições de nível de água e de precipitação obtidas a cada 10 min.) permitiu definir com precisão o início e o fim de cada evento e identificar com facilidade a inflexão das linhas de recessão e recarga observadas em cada piezômetro.

O método *WTF* também foi aplicado para quantificar a recarga da zona de rocha alterada da Formação Serra Geral subjacente à cidade de Frederico Westphalen (RS), a 50 km do PET. O monitoramento hidrogeológico mensal foi realizado em 13 poços urbanos e os resultados indicam uma recarga média de 11,6% da precipitação (BAUM; MANCUSO; FRITZEN, 2018).

Nessa mesma área, o método *WTF* foi utilizado para estimar a recarga urbana a partir de monitoramento hidrogeológico contínuo (com dados coletados a cada

10 minutos) entre 2015 e 2016 (FRITZEN, 2016). O autor obteve uma recarga média de 31% da precipitação (que foi de 2.508,4 mm no mesmo período) em 366 dias de monitoramento. Nesse caso, a utilização de dados sub-horários de nível de água subterrânea resultou num valor de recarga 2,7 vezes maior do que a recarga estimada a partir de dados de monitoramento mensal por Baum, Mancuso e Fritzen (2018).

Os resultados indicam a importância da utilização de dados sub-diários na detecção de recarga da zona de alteração dos basaltos da Formação Serra Geral, numa região com elevados índices de precipitação.

Em duas bacias hidrográficas localizadas a 40 km do PET (com uso do solo agrícola, parcialmente cobertas por floresta nativa), foram obtidas taxas médias de recarga de 37% da precipitação (GRAEPIN *et al.*, 2016). A estimativa foi realizada pelo método do balanço hídrico, a partir da quantificação do escoamento de base, obtido por meio de medições de vazão. O percentual de recarga é semelhante ao obtido no Pz1, que está localizado próximo à zona de afloramento das águas subterrâneas.

4 CONCLUSÃO

A recarga média, direta e natural calculada a partir da oscilação do nível freático (medido durante o verão, entre janeiro e março), do aquífero livre da zona alterada dos basaltos da Formação Serra Geral, subjacentes à Floresta Estacional Decidual nativa, bioma de Mata Atlântica (Parque Estadual do Turvo, RS) foi de 23% da precipitação pluviométrica.

Em relação ao método *Water Table Fluctuation (WTF)*, utilizado para estimar a recarga em área com cobertura de floresta nativa, não foram observadas diferenças significativas entre as estimativas de variação do N.A., obtidas a partir da extrapolação das linhas de tendência de recessão do hidrograma do nível freático, com os métodos de função linear e função exponencial. Conclui-se, portanto, que ambos os métodos se aplicam às características de resposta do nível freático do aquífero livre estudado.

A utilização de dados sub-horários de monitoramento do nível freático da

zona alterada dos basaltos da Formação Serra Geral e da precipitação local permitiu identificar com precisão de minutos o início e o fim de cada evento de precipitação, medido na Estação Experimental do Parque Estadual do Turvo, e a respectiva resposta no nível freático, representada pela inflexão do hidrograma.

A partir do monitoramento contínuo do nível freático, pode-se concluir que a resposta de recarga do aquífero livre da zona alterada dos basaltos da Formação Serra Geral, subjacentes à Floresta Estacional Decidual nativa ocorre, aproximadamente, entre 8 e 10 horas após o evento de precipitação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/monitoramento/sala-de-situacao/rede-hidrometeorologica-nacional-1>. Acesso em: 22 março de 2019.

ALA-AHO, P.; ROSSI, P. M.; KLØVE, B. Estimation of temporal and spatial variations in groundwater recharge in unconfined sand aquifers using Scots pine inventories. **Hydrology and Earth System Science**, Munique, v. 19, n. 4, p. 1961-1976, jul. 2015.

ARBOIT, N. K. S.; MANCUSO, M. A.; FIOREZE, M. Adjustment of IDF Equation by Disaggregation of Daily Rainfall for Iraí County, RS. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p. 248 - 253. 2017.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por Floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262. 2003.

BALBINOT, R. *et al.* Análise Fitossociológica de Um Fragmento de Floresta Estacional Decidual: Parque Estadual Do Turvo, RS. **Pesquisa Florestal Brasileira - Brazilian Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 36, n. 86, p. 103-13. 2016.

BARRETO, C. E. A. G.; GOMES, L. H.; WENDLAND, E. C. Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. In: CONGRESSO

BAUM, C. A.; MANCUSO, M. A.; FRITZEN, R. R. Aplicação do método WTF no estudo da variabilidade da recarga em aquífero urbano. **Geociências- UNESP**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 85-98. 2018.

BDHI. **Base de datos hidrológicos** - República Argentina. 2020. Disponível em: <http://bdhi.hidricosargentina.gob.ar/>. Acesso em 5 mai. 2020.

BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2010, São Luiz. **Anais...**, São Luiz- Ma, ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas), 2010, p. 1 – 22. v. 1.

EVARISTO, J.; JASECHKO, S.; MC. DONNELL, J. J. Global separation of plant transpiration from groundwater and streamflow. **Nature**, Londres, v. 525, p. 91-107. set. 2015.

FRITZEN, R. R. **Análise comportamental e de recarga de aquífero livre na área urbana de Frederico Westphalen (RS)**. 2016. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. 2016.

GRAEPIN, C. *et al.* Estimativa de Recarga de Aquífero e Enquadramento dos Corpos de Água em Sub-Bacias Parcialmente Florestadas no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 3, p. 25-31. 2016.

HASENACK, H., WEBER, E. (org.). Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul. Escala: 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>. Acesso em: 02 junho 2020.

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

HEPPNER, C. S.; NIMMO, J. R. A **Computer Program for Predicting Recharge with a Master Recession Curve**. Scientific Investigations Report, U.S. Geological Survey, Stanford, v. 2005/5172, 10p. 2005.

ILSTEDT, U. *et al.* Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. **Scientific Reports**, Londres, v. 6: 21930. mar. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro. 272 p. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Dados Históricos**. 2020 Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 jan. 2020.

KING, A. C. *et al.* Comparison of groundwater recharge estimation techniques in an alluvial aquifer system with an intermittent/ephemeral stream (Queensland, Australia). **Journal of hydrogeology**, Storrs, v. 25, n. 6, p. 1759-1777. 2017.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do rio grande do sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182. 2001.

LUCAS, M.; WENDLAND, E. C. Recharge estimates for various land uses in the Guarani Aquifer System outcrop área. **Hydrological Sciences Journal**, Londres, v. 61, n. 7, p. 1253-1262. mar. 2016.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul**: escala 1:750.000: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005.

MATEUS, F.A. *et al.* Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica da Serrapilheira Acumulada na Restauração Florestal de Áreas Perturbadas na Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 336-343. ago. 2013.

MIKHAILOVA, I. E.; MULBEIER, J. Ecoturismo em unidades de conservação: um estudo de caso do Parque Estadual do Turvo, Derrubadas- RS. **Caderno Virtual de Turismo**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 1-21. 2008.

NETO, D. C.; KIANG, C. H. Aplicação do método de flutuação de nível da água para a estimativa de recarga - exemplo do Aquífero Rio Claro. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 39-48. 2008.

NIMMO, J. R.; HOROWITZ, C.; MITCHELL, L. Discrete-Storm Water-Table Fluctuation Method to Estimate Episodic Recharge. **Groundwater**, Rockville, v. 53, n. 2, p. 282-292. mar. 2015.

PALAVRO, N. **Avaliação do potencial de recarga do aquífero poroso em zona de floresta de mata atlântica do Parque Florestal Estadual do Turvo**. 2015. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. 2015.

SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 65-79. jan. 2016.

SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, Storrs, v. 10, n. 1, p. 18-39. jan. 2002.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (Rio Grande do Sul). **Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo**. Porto Alegre: Divisão de Unidades de Conservação do Estado do Rio Grande do Sul. 348p. 2005.

SOLINST. **Levellogger Series User Guide**. Software Version 4.4.0 Solinst Canada Ltd. 77 p. 2019.

VINCK, C.; THIRTY, Y. Water table is a relevant source for water uptake by a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand: Evidences from continuous evapotranspiration and water table monitoring. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, n. 10, p. 1419-1432. set. 2008.

Contribuição de Autoria

1 – Fernando Pasini

Engenheiro Ambiental Sanitarista, Me., Residente Técnico

<https://orcid.org/0000-0003-0806-8344> • eng.fpasini@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Validação, Escrita – revisão e edição

2 – Malva Andrea Mancuso

Geógrafa, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0002-8252-534X> • malvamancuso@ufsm.br

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Escrita – revisão e edição

3 – Patricia Rodrigues Fortes

Matemática, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0001-7963-867X> • patricia@ufsm.br

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Visualização de dados, Escrita – revisão e edição

4 – Fábio Marcelo Breunig

Geógrafo, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-0405-9603> • breunig@ufsm.br

Contribuição: Análise Formal, Visualização de dados, Escrita – revisão e edição

5 – Rafael Renato Fritzen

Engenheiro Ambiental Sanitarista, Me., Pesquisador Autônomo

<https://orcid.org/0000-0002-8087-276X> • rrfritzen@gmail.com

Contribuição: Análise Formal, Investigação, Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

Pasini, F.; Mancuso, M. A.; Fortes, P. R.; Breunig, F. M.; Fritzen, R. R. Recarga de aquífero em Floresta Estacional Decidual nativa, Parque Estadual do Turvo (RS). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 206-232, 2022. DOI 10.5902/1980509847112. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509847112>.