

IX-047 - ESTIMATIVA DA RECARGA NATURAL DO AQUIFERO LIVRE NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ENTORNO DO ATERRO SANITÁRIO DE MARITUBA/PA

Rubens Takeji Aoki Araujo Martins ⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Moisés Marçal Gonçalves ⁽²⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Gabriel Lisboa Brito ⁽³⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Giovanni Chaves Penner ⁽⁴⁾

Engenheiro sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará.

Hélio da Silva Almeida ⁽⁵⁾

Engenheiro sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestrado em Engenharia Civil- Hidráulica e Saneamento, pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo-EESC-USP (2000) e Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais pelo PRODERNA/UFPA (2015). Professor adjunto I da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental - FAESA, da Universidade Federal do Pará-UFPA. É oficial combatente da reserva do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Pará

Endereço⁽¹⁾: Conjunto Cidade Nova VI, Travessa WE 66, 511 – Cidade Nova, CEP: 67140-080, Ananindeua - PA, Brasil – Tel: (91) 3263-4366 - E-mail: rubensmartins10@gmail.com;

RESUMO

Trata-se de uma avaliação da recarga natural do aquífero livre no entorno do Aterro Sanitário do município de Marituba, no estado do Pará. A área está inserida na bacia hidrográfica do Igarapé Uriboquinha, com uma área de drenagem de 5 km². A estimativa da Recarga Potencial Direta - RPD foi realizada com base na metodologia utilizada pela Agência Nacional de Águas (2017) no estudo hidrogeológico realizado na Região Metropolitana de Belém no ano 2017. A partir de séries históricas de precipitação e escoamento de base do igarapé, obteve-se uma recarga potencial direta de 6%, variando de 214 mm em 2017 a 158 mm no período de janeiro a julho de 2018. O método utilizado, em comparação aos demais disponíveis, apresentou dados de entrada mais acessíveis, e que apesar de serem simples, precisaram ser estimados para a bacia de estudo, devido à escassez de informações. Deve-se ressaltar também, que a regionalização de vazão e a coleta de dados de precipitação da estação em Belém incrementaram erros aos resultados, mas que para os objetivos propostos mostraram satisfatórios. Além disso, o método é indicado para estimativas anuais, sendo limitado para estimativas mensais.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea, Recarga Natural, Igarapé Uriboquinha, Aterro sanitário de Marituba/PA.

INTRODUÇÃO

A gradativa poluição dos corpos hídricos superficiais somada as crescentes demandas por água e crises hídricas que ocorreram nos últimos anos, fizeram com que uma outra fonte de água ganhasse cada vez mais espaço como alternativa para o abastecimento, os reservatórios subterrâneos. Segundo a ANA (2017), em 2008 haviam cadastrados cerca de 145 mil fontes de abastecimento de água subterrânea no Brasil, já em 2016 este número quase dobrou, passando para mais de 278 mil poços tubulares cadastrados, e uma nova projeção indica que este número já chega em quase 1,2 milhões de poços existentes. Segundo Martelli (2012), o aumento significativo de exploração de água subterrânea se faz possível devido a quatro fatores principais: econômico, tecnológico, segurança e institucional. Segundo o mesmo autor, a água subterrânea geralmente possui menor custo e apresenta elevado benefício, possui maior segurança sanitária e menor necessidade de tratamento. Adicionalmente, os reservatórios subterrâneos também possibilitam maior resiliência frente as variabilidades da precipitação e enfrentamento as crises hídricas; podendo pertencer a usuários individuais, indústrias ou

pequenos municípios. Todavia, a crescente exploração deste recurso exige maior controle, visando a sustentabilidade dos seus usos. Apesar da crescente demanda, o reabastecimento destes reservatórios subterrâneos, denominados de aquíferos, não segue o mesmo ritmo, podendo chegar em determinado momento, a ser superado pelo ritmo de exploração, gerando um déficit.

A superexploração dos aquíferos gera grandes problemas como: rebaixamento exagerado do nível de água nos poços; colapso dos terrenos (recalque do solo devido ao bombeamento excessivo de água); aumento na intrusão salina em regiões litorâneas, entre outros. Em países como Estados Unidos, China e Índia, a superexploração devido as atividades agrícolas e industriais vem provocando impactos irreversíveis nos aquíferos locais, causando um declínio acelerado nas reservas subterrâneas permanentes. Este uso insustentável, pode agravar ainda mais uma possível futura crise hídrica, exaurindo a principal reserva estratégica de água.

A principal forma de se evitar o uso excessivo da água subterrânea, é através da gestão e planejamento adequados do uso dos recursos hídricos, permitindo somente a exploração de vazões inferiores a capacidade de renovação dos aquíferos. No entanto, a principal dificuldade encontrada no planejamento e tomadas de decisões está na escassez de informações confiáveis a respeito das próprias características físicas dos mesmos. Segundo Healy & Cook (2002) uma estimativa precisa da recarga natural dos aquíferos é extremamente importante para a devida gestão dos sistemas subterrâneos, além de fornecerem os subsídios necessários para o aproveitamento racional e sustentável da água subterrânea (MAZIERO & WENDLAND, 2017). Neste contexto, é importante se conhecer qual o comportamento natural do aquífero, quanto a sua capacidade de renovação ou recarga. A partir dela, é possível se estimar a capacidade de exploração máxima que este consegue suportar sem comprometer sua reserva estratégica.

A recarga é, portanto, o processo de renovação da água subterrânea, por meio da percolação da água da zona não-saturada até a zona saturada, contribuindo assim para o reabastecimento do aquífero livre. Este processo, pode ocorrer de forma direta, indireta e até mesmo de forma induzida. A recarga direta pode ser definida como a parcela da precipitação atmosférica que efetivamente alcança a zona saturada, ou seja, durante o processo de infiltração e percolação, parte da água da chuva é perdida por meio de processos de absorção, adsorção, evaporação, transpiração e até mesmo escoamento em subsuperfície, fazendo com que somente uma pequena parcela chegue ao nível d'água subterrâneo (recarga). A recarga indireta corresponde às contribuições de volumes de água oriundas de corpos d'água superficiais, como rios e lagos. Isto ocorre em situações onde há uma conexão hidráulica sob condição influente entre o corpo hídrico e o aquífero ou até mesmo quando ambos estão hidráulicamente desconectados, assim o fluxo da água fica no sentido corpo hídrico/aquífero. Alguns autores, como Hirata et al (2002) Wahnfried & Hirata (2005), defendem que em áreas urbanas o processo de recarga é ainda mais complexo que em áreas rurais, apresentando um maior número de fontes e caminhos, como é o caso das contribuições de fontes antrópicas não-intencionais, como as perdas em redes públicas de água e esgoto, estas são chamadas de recarga induzidas (ANA, 2017). Entre todos os três tipos de recarga, a principal é a recarga direta, a qual é alvo do presente trabalho.

Existem diversos métodos disponíveis para a quantificação da recarga subterrânea, e cada um destes apresentam diferentes complexidades e custos, e suas aplicações dependem principalmente dos dados disponíveis para uso. Para Risser et al. (2005) e Healy & Cook (2002) é altamente recomendável a utilização de mais de um método na estimativa da recarga, no entanto, nem sempre os dados estão disponíveis ou apresentam fácil acesso. Entre os métodos mais conhecidos estão:

- Balanço hídrico ou Water Budget;
- Método da variação dos níveis d'água (VNA) ou Water Table Fluctuation (WTF);
- Equação de Darcy ou Darcy's Law;
- Traçadores ou Tracers;
- Escoamento de base ou Baseflow discharge;
- Modelos numéricos.

A Agência Nacional de Águas (2017) aplicou o método do Escoamento de Base nos estudos hidrogeológicos realizados na Região Metropolitana de Belém entre 2017 e 2018. Este método permite calcular a Recarga Potencial Direta (RPD) de aquíferos livres por meio de dados de vazão e precipitação atmosférica. A recarga natural do aquífero, portanto, pode ser representada pelo escoamento de base médio do curso d'água. Risser et

al. (2005), ao comparar vários métodos de estimativa de recarga para bacias no leste do Estados Unidos, verificou que os resultados obtidos são comparáveis ao escoamento básico a longo prazo, e quase sempre, este último fornece as melhores estimativas de recarga anuais. No Brasil, pode-se citar os trabalhos realizados por Mattiuzi (2013) e Maluta (2014), nas bacias do rio Ibicuí/RS e Rio Claro/SP; os autores chegaram a valores entre 13% a 47% e 9,22% a 14,4% respectivamente.

Segundo a ANA (2013), as vazões mínimas de um corpo hídrico são formadas em grande maioria por contribuição de água subterrânea, podendo-se admitir, que em alguns casos, as vazões de referência, como a Q95 e a Q7,10, possam representar esta parcela. Isto indica que, a longo prazo, a Q95 pode ser representativa do escoamento básico do curso d'água. Por este motivo, muitos autores admitem a aproximação da recarga natural com a vazão Q95.

Especificamente, o presente estudo visou a estimativa da recarga potencial direta anual da microbacia hidrográfica do igarapé Uriboquinha/Pau Grande (existe uma duplicidade de informação quanto ao nome do curso d'água), localizado no município de Marituba, Estado do Pará. O objetivo do trabalho é fornecer informações importantes quanto a capacidade de recarga do aquífero com o intuito de servir como base para futuros estudos, além de auxiliar na gestão e planejamento da bacia, fornecendo informações importantes para a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos locais. Adicionalmente na mesma região está inserida a Central de Processamento e Tratamento de Resíduos, onde está inserido o Aterro Sanitário que recebe os resíduos sólidos domiciliares da Região Metropolitana de Belém.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho utilizou-se a mesma metodologia que foi aplicada por ANA (2017), nos estudos hidrogeológicos realizados na Região Metropolitana de Belém entre 2017 e 2018. Este método permite calcular a Recarga Potencial Direta (RPD) de aquíferos livres por meio de dados de precipitação anual e escoamento de base do rio principal de uma bacia.

Em um primeiro momento foi realizada a caracterização da área da microbacia, para em seguida serem coletados os dados de entrada do modelo. Os dados necessários foram: precipitação média da área de estudo e valor médio do escoamento de base do curso d'água. Os dados de precipitação atmosférica foram coletados do Banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). E o escoamento de base foi obtido por meio da regionalização de vazão, através do método da vazão específica, obtida a partir de um curso d'água dentro da mesma região hidrográfica. Este último procedimento foi necessário devido à escassez de dados de vazão do curso d'água, impossibilitando a construção da curva de permanência.

DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Os dados de precipitação foram obtidos a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a estação meteorológica convencional de código 82191, localizada em Belém, nas coordenadas Latitude: -1.433333° e Longitude: -48.433333°. Esta estação foi selecionada, devido a sua proximidade com a área de estudo e por apresentar extensão de séries de dados superior a 30 anos, configurando uma boa representatividade para a finalidade do presente estudo. Nela foram obtidos dados mensais de precipitação no período de janeiro de 1962 a julho de 2018. A organização e tratamento estatístico dos dados foram realizados em planilha eletrônica *Microsoft Excel*, obtendo-se a média aritmética da precipitação mensal e anual, durante período supracitado.

ESCOAMENTO DE BASE DO IGARAPÉ URIBOQUINHA

O escoamento de base é a parcela de contribuição do escoamento superficial de rios e lagos de origem subterrânea. Esta parcela é responsável pela manutenção dos corpos hídricos durante períodos de estiagem. Isto é possível a partir conexão existente entre rio-aquífero. Segundo Martelli (2012), muitos sedimentos próximos à borda de lagos e às margens de rios são altamente permeáveis, assim a água pode infiltrar e/ou percolar facilmente para o sistema aquífero ou vice-versa. Segundo ANA (2017), em alguns rios brasileiros a contribuição da água subterrânea pode representar em média 30% da vazão do rio, podendo atingir até 90% nos períodos de estiagem, como é o caso do rio São Francisco.

Com relação ao escoamento de base do igarapé Uriboquinha, em função da inexistência de estações fluviométricas no curso d'água e a escassez de dados de vazão, fez-se necessária a utilização da regionalização de vazão para uma estimativa inicial da vazão de base do referido igarapé. Para tanto, utilizou-se uma bacia hidrográfica próxima a área de estudo, com características similares, e que apresentasse pelo menos dois anos de dados de monitoramento diário. A estação selecionada foi a Porto de Minas, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas – ANA, cujo código é 31850000, no qual monitora o rio Carapucu em Santa Isabel do Pará. Os dados foram obtidos a partir da opção de série histórica da plataforma Hidroweb da ANA. Em seguida, construiu-se a curva de permanência do curso d'água para a obtenção da Q_{95} e em posse da área de drenagem da estação, calculou-se a vazão específica da bacia a partir da seguinte equação:

$$q_e = Q'_{95}/A \quad (1)$$

Onde:

q_e – Vazão específica (L/s.km²);

Q'_{95} – Vazão de referência do rio Carapucu (L/s);

A – Área de drenagem até o ponto de monitoramento (km²).

Em posse da vazão específica, calculou-se a Q_{95} do igarapé Uriboquinha a partir da sua área de drenagem:

$$Q_{95} = q_e \cdot A_u \quad (2)$$

Onde:

A_u – Área de drenagem do igarapé Uriboquinha (km²);

q_e – Vazão específica (L/s.km²);

Q_{95} – Vazão de referência do igarapé Uriboquinha (L/s).

ESTIMATIVA DA RECARGA POTENCIAL DIRETA

Segundo ANA (2013), a Recarga Potencial Direta – RPD é a parcela da precipitação média anual que se infiltra no solo e alcança os aquíferos livres, contribuindo para a renovação da reserva reguladora. Para este método a RPD pode ser obtida a partir da seguinte equação matemática:

$$RPD = C_i \cdot P \quad (3)$$

Onde:

RPD = recarga potencial direta (m³/s);

C_i = coeficiente de infiltração (%);

P = precipitação média total do período de estudo (m³/s).

A precipitação média em metros cúbicos por segundo é obtida a partir multiplicação da precipitação média anual com a área da microbacia, adotando as conversões necessárias. O coeficiente de infiltração (C_i) utilizado no método representa, em termos percentuais médios, a parcela da chuva que efetivamente irá contribuir para a recarga do aquífero. Deve-se diferenciá-lo, portanto, da taxa de infiltração do solo, pois esta última indica somente a parcela da chuva que irá infiltrar, não significando necessariamente que a água chegará ao aquífero. Ao longo do processo de percolação no solo, a água pode ficar retida na zona não-saturada; escoar subsuperficialmente ou até mesmo sofrer evapotranspiração. O coeficiente de infiltração pode ser obtido pela seguinte expressão (ANA, 2017):

$$C_i = Q_b/P \quad (4)$$

Onde:

Q_b = escoamento de base, Q_{95} (m³/s);

P = precipitação média total anual obtida de séries históricas da bacia hidrográfica (m³/s).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do igarapé Uriboquinha/Pau Grande até a sua interseção com a PA-483 que dá acesso à Alça Viária. A bacia está localizada no município de Marituba, Região Metropolitana de Belém, e apresenta cerca de 5 km² de área até o exutório considerado. Além disso, o curso d'água está próximo ao Aterro Sanitário de Marituba chegando a cruzar o empreendimento em determinado ponto. Na Figura 1 é apresentado o mapa de localização do igarapé e do exutório considerado no estudo, nela também é possível verificar a proximidade do curso d'água com o empreendimento. O ponto do exutório foi escolhido devido a sua facilidade de acesso, o que possibilitou o desenvolvimento de outras atividades dentro do projeto, como medições de vazão. A partir da figura é possível verificar também que grande parte da área do Aterro Sanitário está inserida dentro da drenagem do igarapé, o que implica em dizer que quaisquer incidentes, como

vazamentos de chorume ou até mesmo eventuais carreamentos de solo, podem afetar diretamente a qualidade da água do mesmo.

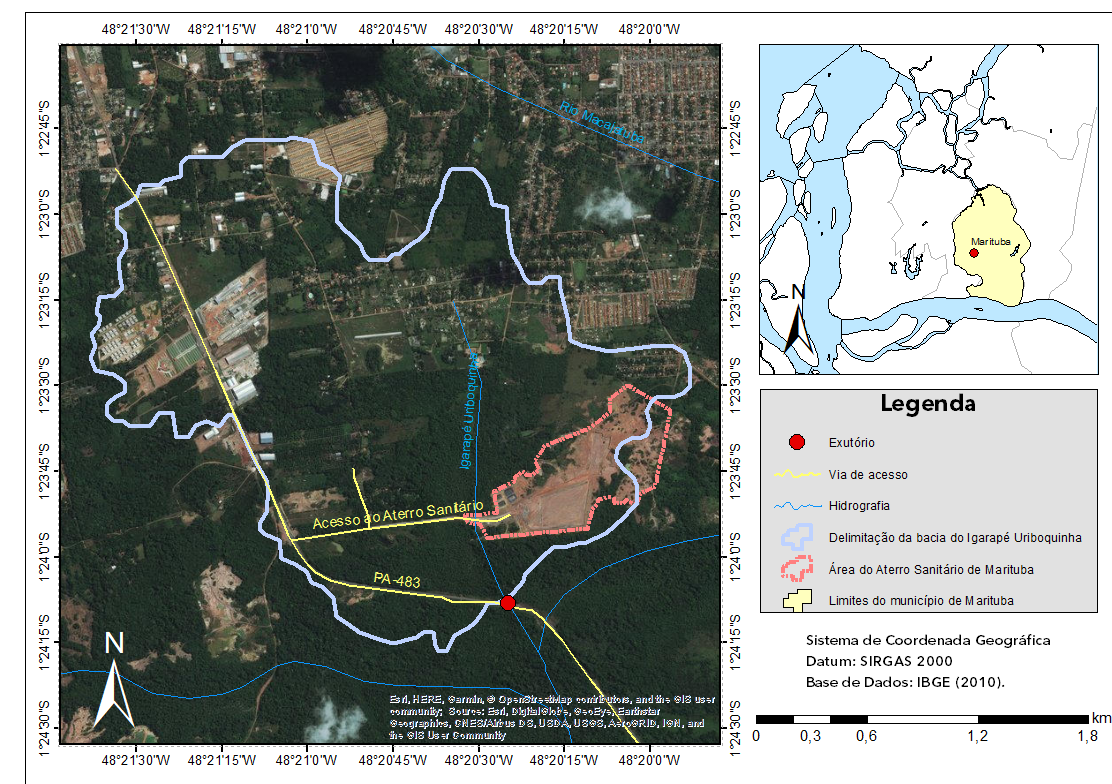


Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Igarapé Uriboquinha/Pau Grande.

Hidrogeologia

Estudos hidrogeológicos realizados pela ANA (2017) na Região Metropolitana de Belém indicam a existência de dois principais sistemas de aquíferos na região, sendo eles: Sistema aquífero Barreiras, composto por rochas reservatório da Formação Barreiras, unidade Pós-Barreiras e sedimentos aluvionares e Sistema aquífero Pirabas, composto pelos aquíferos Pirabas superior e inferior.

Sistema aquífero Barreiras: O primeiro é composto principalmente pela formação barreiras e pós-barreiras. Este último é do tipo poroso, constituído pelos sedimentos da cobertura detrítico laterítica. A água, em alguns casos e dependendo da profundidade, pode não ser potável devido ao alto teor de ferro. A sua recarga se dá diretamente pela precipitação pluviométrica, enquanto que a descarga ocorre através dos rios, nascentes, evapotranspiração e poços de captação.

O aquífero Barreiras apresenta litotipo heterogêneo, predominando argilitos intercalados com arenitos grosseiros e níveis de lateritos e níveis argilosos caulinizados (CPRM, 2002). Esta camada possui cerca de 59 metros de espessura média e seus aquíferos não permitem grandes vazões, com sua capacidade específica de 2,68 m³/h.m.

Sistema aquífero Pirabas: Segundo estudo realizado pela CPRM (2002), este é formado por dois sistemas aquíferos do tipo multicamadas, que são denominados de Pirabas superior e inferior, respectivamente. O primeiro é caracterizado por sedimentos marinhos, fossilíferos, composto por argila calcífera cinza-esverdeada e leitos de calcário duro cinza-esbranquiçado, que se alternam com camadas de arenito calcífero, siltitos e areias existentes entre as profundidades de 80 a 180 m. O sistema aquífero Pirabas Inferior, constitui-se, predominantemente, de camadas repetitivas de arenitos cinza-esbranquiçado, granulação fina à conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos esverdeados. De acordo com estudo realizado pela ANA (2017), a mediana da capacidade específica do sistema aquífero é de 13,48 m³/h.m, com espessura média de

186 metros. Este sistema está localizado abaixo de 180 m e se apresentam como excelentes aquíferos, com excelentes vazões e boa potabilidade e teores de ferro baixíssimos ou mesmo ausentes na maioria das vezes.

Precipitação

Como mencionado anteriormente, em função da ausência de estações meteorológicas no município de Marituba, considerou-se a estação existente em Belém como sendo representativa para a Região Metropolitana, incluindo a área de estudo. No entanto, deve-se ressaltar que o ideal seria a utilização de no mínimo três estações próximas, para a utilização de técnicas para o cálculo da chuva média na bacia, como por exemplo, método das isoietas ou polígono de Thiessen. Na Tabela 1 é apresentado o resultado do tratamento estatístico dos dados coletados na estação 82191 para uma série histórica de 56 anos.

Tabela 1 – Precipitação média anual da Região Metropolitana de Belém (série histórica de Jan/1962 a Jul/2018)

Meses	Precipitação média (mm)
Janeiro	385
Fevereiro	425
Março	464
Abril	408
Maió	305
Junho	182
Julho	156
Agosto	128
Setembro	128
Outubro	122
Novembro	122
Dezembro	246
Média mensal	255,8
Média anual	3070

Fonte: Adaptado da base de dados INMET (2018)

A partir da Tabela 1 é possível verificar que o mês de março é o mês com maior precipitação, com altura de 464 mm/mês, enquanto que outubro e novembro são os meses com menores alturas pluviométricas, com 122 mm/mês cada.

Na Figura 2 é possível identificar o período chuvoso e o seco a partir da média mensal da série histórica de janeiro de 1962 a julho de 2018. Sendo o primeiro período composto pelos meses de janeiro a maio e o segundo de junho a dezembro.

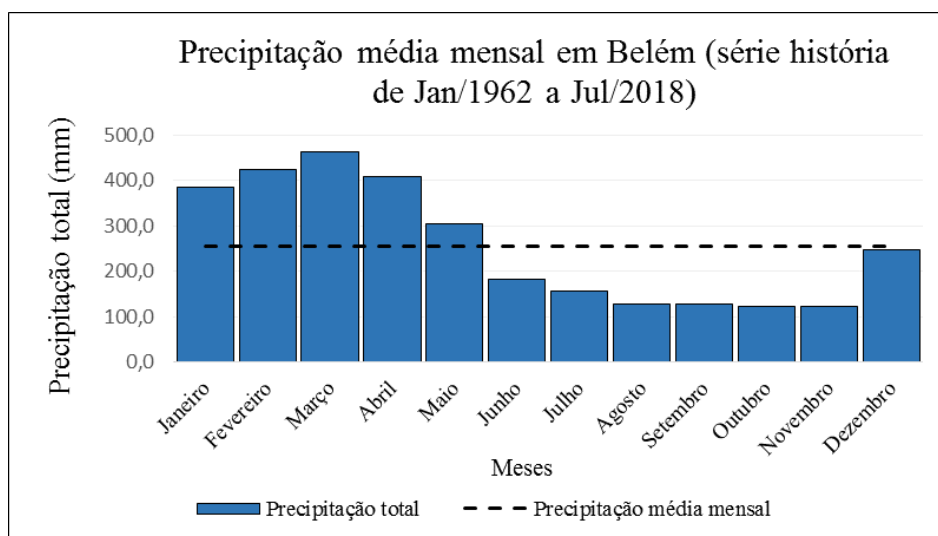


Figura 2: Precipitações médias mensais em Belém

Escoamento de base

A estação fluviométrica utilizada como referência para a estimativa inicial do escoamento básico do igarapé Uriboquinha/Pau Grande foi a Porto de Minas cujos dados são apresentados na Tabela 2 a seguir. Ao todo foram utilizados 1017 dados diários de vazão ao longo dos mais de dois anos de funcionamento da mesma. A estação monitorava o rio Carapucu localizado no município de Santa Isabel do Pará.

Tabela 2 – Informações da estação fluviométrica utilizada na regionalização da vazão

Código da estação	31850000
Nome da estação	Porto de Minas
Tipo	Fluviométrica
Código do rio	31665000
Curso d'água	Rio Carapucu
UF	Pará
Entidade	Agência Nacional de Águas – ANA
Latitude	-01 21 00
Longitude	-48 08 00
Área (km²)	162
Início do monitoramento	01/07/1965
Fim do monitoramento	01/05/1968
Q95 (m³/s)	0,94
Q90 (m³/s)	1,04
Q50 (m³/s)	1,70
Vazão específica – Q95 (l/s.km²)	5,80

Fonte: Adaptado. ANA (2009)

Após tratamento estatístico dos dados, construiu-se a curva de permanência (Figura 3) do rio para a obtenção da vazão de referência Q95, apresentada na Tabela 2. Em seguida, dividiu-se a mesma pela área de drenagem do rio até o ponto de monitoramento, para a obtenção da vazão específica.

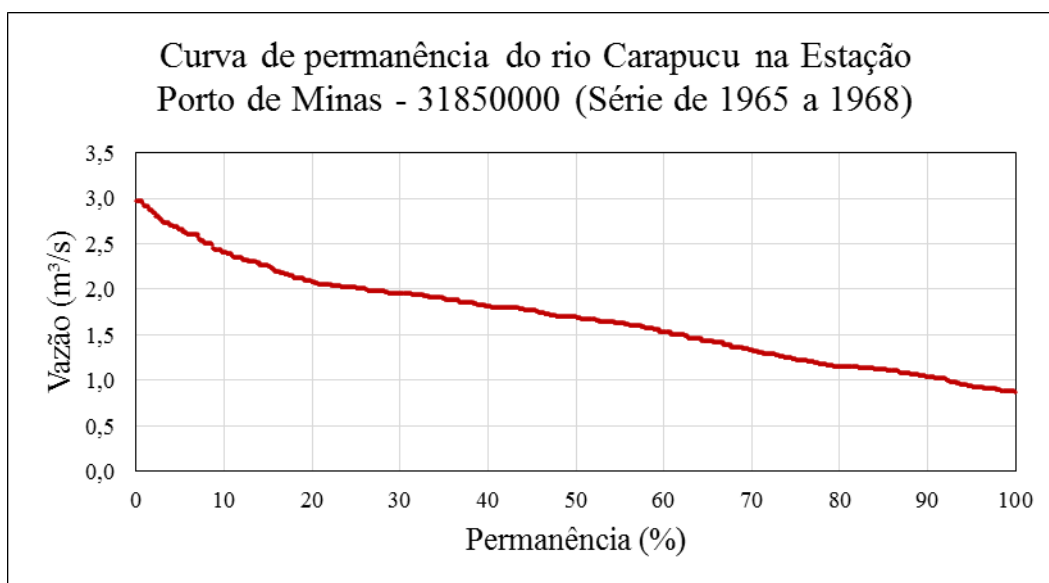


Figura 3: Curva de permanência do rio Carapucu, Santa Isabel/PA

A vazão específica obtida no presente estudo, mostrou-se coerente com o valor apresentado pela ANA (2009, p. 192) para Unidade de Planejamento Acará-Guamá, onde igarapé Uriboquinha está inserido. Segundo o estudo, a vazão específica estimada no período de estiagem para a Unidade de Planejamento foi de 5,59 l/s.km², valor este muito próximo do obtido no rio Carapucu, com valor de 5,80 l/s.km².

Com relação a curva de permanência apresentada na Figura 3, verificou-se que a mesma apresenta uma baixa inclinação, o que indica que a bacia possui uma boa regularização natural e grande influência de contribuições subterrâneas, ou seja, uma boa parcela da vazão do rio é de origem subterrânea, além de apresentar boa resposta a cheias naturais.

A partir da equação (1), obteve-se o escoamento de base, utilizando a vazão específica de 5,80 l/s.km² e a área de drenagem do Igarapé Uriboquinha/Pau Grande de 5,0 km²:

$$Q_b = 5,80 \frac{l}{s.km^2} \cdot 5,0 km^2 = 29,0 \frac{l}{s} \quad (6)$$

Recarga Potencial Direta - RPD

A partir do escoamento básico (Q_b), foi possível estimar o valor do coeficiente de infiltração (C_i) médio, utilizado no cálculo da recarga potencial direta. A precipitação média anual precisou ser convertida de milímetro por ano para metros cúbicos por segundo. A conversão foi realizada pela equação a seguir:

$$P \left(\frac{m^3}{s} \right) = P \left(\frac{m}{ano} \right) \times A (m^2) \times \frac{1 ano}{31536000 s} \quad (7)$$

Onde:

A = Área da bacia hidrográfica do igarapé Uriboquinha.

$$P = 3,07 \frac{m}{ano} \times 5 \times 10^6 m^2 \times \frac{1 ano}{31536000 s} = 0,487 m^3/s \quad (8)$$

$$C_i = \frac{0,029 m^3/s}{0,487 m^3/s} = 0,06 \text{ ou } 6,0 \% \quad (9)$$

Em seguida, substituindo o valor na equação (3), tem-se:

$$RPD = 0,06 \times \frac{P \times A}{31536000 \times 1000} \quad (10)$$

Onde:

RPD = Recarga potencial direta (m³/s);

P = Precipitação média (mm);

A = Área da bacia hidrográfica (m²).

$$RPD = 0,06 \times \frac{P \times 5 \times 10^6}{31536000 \times 1000} \quad (11)$$

$$RPD = 0,06 \times \frac{P}{6307,2} \quad (12)$$

A partir da equação 12, é possível estimar a Recarga Potencial Direta anual na bacia desejada.

Tabela 3 – Precipitação média anual, escoamento de base, coeficiente de infiltração e Recarga Potencial Direta estimados para a bacia do igarapé Uriboquinha para os anos de 2017 e 2018

Ano	Área (km²)	Precip. média Total (mm)	Eb = Q95 (m³/s)	Ci (%)	RPD (m³/s)
2017	5,00	3564	0,029	6	0,034
2018*	5,00	2654	0,029	6	0,025

Fonte: Autor, 2018.

* O cálculo da recarga foi estimado no período de janeiro até julho.

A partir do método apresentado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), estima-se que em 2017 houve uma recarga de 0,034 m³/s ou 214 mm, o equivalente a 6 % da precipitação do mesmo período. E de janeiro a julho de 2018 estima-se que a recarga foi de 0,025 m³/s.

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que apenas 6% da precipitação anual é efetivamente incorporada às reservas aquíferas reguladoras, e que 94% são convertidos em: escoamento superficial e subsuperficial; humidade do solo; evaporação ou transpiração devido vegetação. O valor obtido é considerado baixo em comparação aos encontrados na literatura pertinente. Mattiuzi (2013) e Maluta (2014), nas bacias do rio Ibicuí/RS e rio Claro/SP; chegaram a valores entre 13% a 47% e 9,22% a 14,4% respectivamente. Outros trabalhos como Barreto (2006) e Gomes (2008) apresentaram recarga de 29% a 31% e 14% a 38% respectivamente, utilizando o método da variação dos níveis d'água.

Este fato pode estar relacionado a utilização de muitos dados de entrada estimados para a bacia de estudo, devido à escassez de informações. Além disso, o método também possui muitas imprecisões, como por exemplo, assumir que a vazão Q95 do curso d'água seja representativa do escoamento de base. A regionalização da vazão utilizada no trabalho também incrementa erros na estimativa, no entanto, os resultados apresentaram coerência com os estudos realizados pela ANA (2017) para a mesma região. O procedimento ideal seria analisar o hidrograma da bacia para a separação do escoamento de base e do escoamento direto, por meio de técnicas adequadas.

Uma limitação do modelo é quanto a sua utilização, sendo indicado somente para estimativas anuais da recarga, diferente de outros modelos como o VNA e Balanço Hídrico que podem fornecer resultados mensais. Além do mais, os resultados obtidos podem estar sendo subestimados, devido desconsiderarem outros componentes do ciclo hidrológico, como evapotranspiração, variação do armazenamento em subsuperfície, recarga profunda, circulação lateral.

Na literatura pertinente é comumente recomendado que a estimativa da recarga seja feita por meio da comparação dos resultados de diferentes métodos (RISSER et al, 2005; HEALEY & COOK, 2002). No entanto, este procedimento muitas vezes não é possível devido à escassez de dados de entrada confiáveis.

CONCLUSÕES

Uma das grandes dificuldades encontradas na gestão e planejamento do uso dos recursos hídricos na Amazônia, está na escassez de informações confiáveis e que auxiliem na tomada de decisões. Com relação a gestão das águas subterrânea, é de fundamental importância o conhecimento da capacidade máxima de exploração que um determinado aquífero tem, visando o estabelecimento de valores limites de exploração, para o uso sustentável do recurso. A recarga natural é uma importante ferramenta que deve ser utilizada na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, e é em cima dela que são estabelecidas as vazões sustentáveis.

Após o estudo da recarga natural da bacia hidrográfica do igarapé Uriboquinha, verificou-se, por meio do método utilizado pela Agência Nacional de Águas, que cerca de 6% da precipitação anual contribui diretamente para a recarga do aquífero livre. Em termos percentuais, 6% está abaixo do valor usualmente encontrado na literatura, o qual gira entorno de 9 a 30% em média. No entanto, em comparação com o resultado apresentado pelo estudo realizado pela ANA (2017) na Região Metropolitana de Belém, os valores obtidos mostraram-se coerentes. Em valores absolutos, a recarga estimada para o ano de 2017 foi de 214 mm/ano e para o período de janeiro a julho de 2018 de 159 mm, o equivalente a uma vazão de 34 e 25 l/s respectivamente.

O método utilizado, em comparação aos demais disponíveis, apresentou dados de entrada mais acessíveis, e que apesar de serem simples, precisaram ser estimados para a bacia de estudo, devido à escassez de informações. Deve-se ressaltar também, que a regionalização de vazão e a coleta de dados de precipitação da estação em Belém incrementaram erros aos resultados, mas que para os objetivos propostos mostraram satisfatórios. Além disso, o método é indicado para estimativas anuais, sendo limitado para estimativas mensais.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização de novos métodos para a comparação dos resultados, como o método da variação dos níveis d'água e balanço hídrico, assim as estimativas de recarga apresentarão maior consistência e confiabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2009. Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia. Relatório Síntese/Agência Nacional de Águas
2. – Brasília, DF.
3. _____. 2009. Inventário das estações fluviométricas – 2 ed. Brasília: ANA; SGH, 2009.
4. _____. 2013. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasil. ANA. 432 p.
5. _____. 2017. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: relatório pleno. ANA. Brasília: ANA, 2017. 117 p.
6. _____. 2017. Estudos Hidrogeológicos para a Definição de Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas da Cidade de Belém/PA e Municípios Adjacentes. Relatório Parcial RP 06. Brasília, DF. 112 p. No Prelo.
7. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2002. Projeto estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10744/1/rel_hidro_belem_adj2002.pdf> Acesso em 15 ago 2018.
8. CRH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos. 1999. Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos, 128 p.
9. MARTELLI, G. V. Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do sistema aquífero Guarani em Cacequi - RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2012.
10. MALUTA, M. C. Estimativa da recarga natural do aquífero Rio Claro: uma abordagem da regionalização hidrológica através da vazão de permanência. Dissertação (Mestrado em geociências e meio ambiente), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2014.
11. MATTIUZI, C. D. P. Estimativa de recarga a partir da separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí/RS. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2013.

12. MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. Variabilidade Espacial da Recarga em Área Urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 12, Número 3, Jul/Set 2008. p. 35- 46.
13. RISSER, D. W.; GBUREK, W. J.; FOLMAR, G. J. Comparison of methods for estimating ground-water recharge and base flow at a small watershed underlain by fractured bedrock in the eastern United States: U.S. Geological Survey Scientific Investigation Report, 2005. 35 p.
14. WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 10, Número 2, Abr/Jun 2005. p.15- 25.