

## IV-064 – ESTIMATIVA DE POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO PARANÁ

### **Maurício Marchand Krüger<sup>(1)</sup>**

Geólogo pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Geologia Ambiental e Doutorando em Geologia Ambiental (UFPR). Consultor da Cobrape – Cia. Brasileira de Projeto se Empreendimentos. e-mail: [mauricio.kruger@gmail.com](mailto:mauricio.kruger@gmail.com)

### **Cláudio Marchand Krüger**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Hidráulica (PPGERHA) e Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia (PPGMNE) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheiro da Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. e-mail: [claudiokruger@cobrape.com.br](mailto:claudiokruger@cobrape.com.br)

### **Rodrigo Pinheiro Pacheco**

Engenheiro de Produção Civil pela Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UFTPR). Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheiro da Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. e-mail: [rodrigopacheco@cobrape.com.br](mailto:rodrigopacheco@cobrape.com.br)

### **Marcos Cesar Santos da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade Santa Úrsula (USU-RJ). Coordenador de Projetos da Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar. e-mail: [mcesar@sanepar.com.br](mailto:mcesar@sanepar.com.br)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Cobrape – Rua Prefeito Ângelo Ferrario Lopes, 1590 – Curitiba - PR - CEP: 80040-252 – Brasil.

### **RESUMO**

O estudo tem por objetivo apresentar uma metodologia para o cálculo das reservas ativas subterrâneas – em especial para a parcela renovável – considerada como adequada à gestão dos recursos hídricos, com destaque para integração entre as suas componentes superficiais e subterrâneas – além de apresentar os resultados do cálculo da reserva ativa dos sistemas aquíferos da região Norte do Estado do Paraná, os quais foram comparados com aqueles apresentados pela ANA – Agência Nacional de Águas, mais especificamente na Avaliação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Rio Paranapanema (ANA, 2014), já que uma parcela das áreas se sobrepõe e são compostas dos mesmos litotipos geológicos analisados.

A seleção da metodologia apresentada se baseou na sua relativa facilidade de obtenção e interpretação, mas também por poder já considerar – senão em toda, mas em grande parte - a parcela da reserva ativa que é explorada de forma não conhecida, através de poços mais superficiais não outorgados, uma vez que se baseia em dados da descarga de base dos rios, fator este fundamental no seu correto dimensionamento.

Também se destaca por permitir análises pormenorizadas das variações que determinados sistemas aquíferos apresentam em distintas bacias hidrográficas, o que pode ser mascarado pelas outras metodologias, que em geral apresentam médias mais regionais das reservas ativas. Tal avaliação permitiu concluir que os resultados obtidos por ambas as metodologias são próximos e coerentes, sofrendo apenas variações mais significativas em aquíferos não tão relevantes, como nos aquíferos, ou em áreas mais complexas como o Sistema Aquífero Carste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Potencial Hídrico Subterrâneo, Reserva Ativa, Água Subterrânea, Disponibilidade Hídrica Subterrânea.

### **INTRODUÇÃO**

O presente artigo tem por objetivo apresentar um método para o cálculo das reservas ativas subterrâneas - com destaque para a sua parcela renovável – e que pode ser considerada como a mais adequada para a gestão dos recursos hídricos, em especial no âmbito da integração entre as componentes superficiais e subterrâneas - bem como demonstrar os resultados da reserva ativa e, conseqüentemente, da disponibilidade hídrica de sistemas aquíferos da região Norte do Estado do Paraná. Os resultados foram comparados com aqueles apresentados pela ANA – Agência Nacional de Águas, mais especificamente na Avaliação da Disponibilidade Hídrica na

Bacia do Rio Paranapanema (ANA, 2014), já que uma parcela das áreas se sobrepõe e são compostas dos mesmos litotipos geológicos analisados.

O estudo integra o Plano de Recursos Hídricos para a Região Norte do Estado do Paraná – PDRH, desenvolvido pela Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, com uma visão de longo prazo (até 2065) e, valendo-se de um amplo estudo que abrangeu mais de 250 municípios do norte do estado, permitiu prever as demandas atuais e futuras para o adequado abastecimento de água da população da região.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A relativa imprecisão e heterogeneidade dos ambientes geológicos subterrâneos sempre dificultou a geração de resultados precisos no que diz respeito ao dimensionamento das reservas hídricas subterrâneas. Partindo dessa premissa, buscou-se o desenvolvimento de uma metodologia que propiciasse resultados confiáveis e que pudesse da mesma forma serem particularizados para as bacias hidrográficas de interesse, ou até mesmo parcelas menores destas.

Para tanto buscou-se a realização de uma metodologia que partisse de dados hídricos superficiais, uma vez que é de conhecimento que o escoamento de base dos rios é mantido pela porção mais superficial dos aquíferos em épocas de estiagem.

Dessa forma, chamaremos a presente metodologia utilizada neste artigo como “Metodologia Cobrape”, em contraposição à chamada “Metodologia ANA”, desenvolvida pela Agência Nacional de Águas, e que se baseia em dados de precipitação e respectivos coeficientes de infiltração de diversos sistemas aquíferos existentes na área de estudo, a qual foi utilizada somente como fonte de comparação de resultados.

### Metodologia Cobrape

Quando se fala em reservas hídricas subterrâneas, é sempre importante reforçar que estas estão armazenadas em sistemas aquíferos, que são por sua vez formações geológicas que possuem a capacidade para acumular e transmitir a água subterrânea através de sua permeabilidade primária, como seus poros, ou via permeabilidade secundária, como falhas, fissuras, diáclases ou em espaços provenientes da dissolução química, como no ambiente cárstico. Também é fundamental se destacar que estas reservas são cruciais para a manutenção das vazões de base dos cursos d’água superficiais, em especial nos períodos de estiagem, bem como para o abastecimento público de municípios, indústrias e propriedades rurais.

Concomitante não ser proibida a utilização nos cálculos de disponibilidade hídrica subterrânea a utilização de uma parcela da reserva permanente ou secular - localizada geograficamente abaixo da reserva ativa – diversos estudos tem sugerido a utilização de apenas uma parcela da reserva ativa, de forma a se preservar o balanço hídrico local e garantir a sustentabilidade dos processos de outorga, tanto subterrânea, quanto superficial.

Neste caminho, a metodologia utilizada neste estudo para o cálculo da reserva ativa dos sistemas aquíferos presentes na área de projeto é lastreada nos hidrogramas dos rios existentes na região de interesse, e cuja respectiva área de ocorrência em superfície se encontra total ou parcialmente inserida nos domínios físicos dos aquíferos subjacentes em estudo; bem como também pode ser proveniente de métodos de regionalização, desde que se possa ter ao menos algum controle sobre a qualidade e coerência dos dados utilizados.

No presente estudo, optou-se pela utilização dos dados de vazões (com destaque para a vazão mínima de referência -  $Q_{7,10}$  e vazão média de longo período -  $Q_{mlp}$ ) provenientes do modelo de regionalização de vazões Regionaliza (contratado pela Sanepar junto ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec), já que eram poucas as estações fluviométricas que geograficamente estavam inseridas em bacias hidrográficas que de fato representassem apenas um sistema aquífero em particular. Quanto às premissas para a utilização do modelo Regionaliza, vale destacar a sua capacidade de se obter dados de vazão superficial diretamente nos pontos localizados nos exutórios de bacias hidrográficas que sejam representativas de um determinado sistema aquífero predominante, ponto este que em geral é marcado pela mudança das formações geológicas subjacentes.

Na metodologia “Cobrape”, a “reserva ativa” subterrânea, compreende então uma parcela da vazão total superficial, representada pelo escoamento de base dos rios ( $Q_b$ ), do qual ainda é subtraída a vazão de referência chamada de  $Q_{7,10}$ , que é uma informação estatística, e que corresponde à menor média anual das vazões mínimas em 7 dias consecutivos, para um período de recorrência de 10 anos, como abaixo descrito.

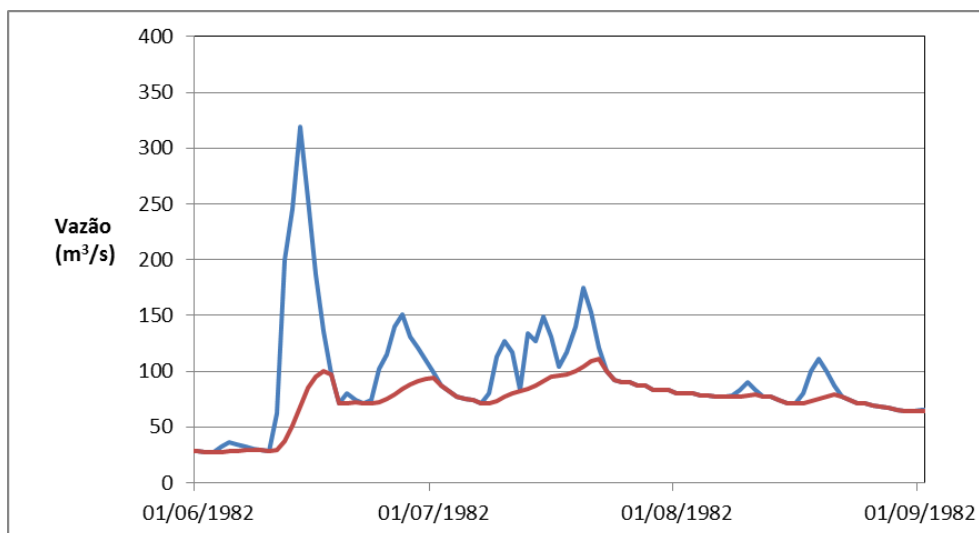
$$Ra = Q_b - Q_{(7,10)} \quad (\text{Equação 1})$$

Pode-se ainda assegurar que esta forma cálculo da reserva ativa pode ser considerada relativamente segura, ambientalmente falando, já que extrai da vazão de base a menor vazão de estiagem existente dentro deste período de recorrência de dez anos, não interferindo, portanto, nas outorgas superficiais, além de também já considerar, ao menos em parte, as vazões de exploração subterrâneas desconhecidas e não outorgadas, o que é de valia no correto dimensionamento das disponibilidades subterrâneas.

Um parêntese pode ser feito quanto ao cálculo da chamada vazão de base ( $Q_b$ ) utilizada nos cálculos - e que é crucial na geração de resultados finais mais confiáveis para a reserva ativa - já que a mesma pode ser obtida de diversas maneiras e pode ser sinteticamente descrita como sendo representativa do intervalo de recessão entre dois eventos pluviais distintos registrados no hidrograma.

Uma das formas para se obter a vazão de base ( $Q_b$ ) é separar o escoamento de base, da vazão total observada ao longo da série de vazões diárias, para então se realizar o cálculo da média histórica de todas as vazões de base. Esta maneira de se calcular a vazão de base não deixa de ser coerente, já que isola de forma clara no hidrograma o escoamento de base do escoamento superficial - como pode ser observado no exemplo abaixo (Figura 1), obtido para uma estação fluviométrica na bacia do Rio Ivaí - PR - entretanto, resulta em geral em valores de  $Q_b$  elevados, bem como numa relação  $Q_{b\text{média}}/Q_{\text{média}}$  da ordem de 80% ou mais, o que poderia levar a super estimativas da reserva ativa.

Pode-se observar no gráfico abaixo que a vazão de base média - representada pela linha vermelha e obtida através dessa forma de cálculo - se individualiza de forma clara da vazão diária observada - representada pela linha azul - entretanto, em séries compostas por um grande número de registros de vazão, a “vazão média” calculada pela média aritmética de todas as vazões (linha azul), acaba sendo de uma ordem de grandeza relativamente similar à da vazão de base média (linha vermelha), já que as cheias são eventos que possuem curta duração de pico em relação à extensão da série de observações registradas.



**Figura 1 – Comparativo entre vazões observadas (azul) e vazões de base (vermelha)**

Por este motivo em especial, optou-se pela busca de uma equação que resultasse em valores mais coerentes para a vazão de base ( $Q_b$ ) - em especial do posto de vista do potencial explotável - do que aqueles calculados através da utilização da simples média aritmética dos registros de escoamento de base.

Numa premissa inicial, sabendo-se que haviam dados disponíveis das vazões de base para o Estado de São Paulo, descritos em Planos de Gerenciamento de Recursos Hídricos já realizados (2004/2007) e, partindo-se do fato de que as formações geológicas do Estado de São Paulo são muito similares às encontradas na região de estudo no norte do Paraná - o que conseqüentemente permite concluir que os sistemas aquíferos sejam também em parte coincidentes e relativamente contínuos - partiu-se para a busca de uma solução que levasse todos estes dados em conta.

Tal prerrogativa permitiria que os resultados da  $Q_b$  advindos desta equação pudessem ser comparados com aqueles já calculados para o estado de São Paulo, bem como com os valores também já fornecidos pela ANA, para a bacia hidrográfica do Rio Paranapanema (ANA, 2014), em estudo que se valeu de metodologia distinta, embasada em dados pluviométricos e em respectivos coeficientes de infiltração do solo, sobre os quais ainda se aplica um coeficiente de sustentabilidade, que varia de 0,2 a 0,4 dependendo do tipo das curvas de recessão e geologia locais.

Para a geração desta nova equação, utilizou-se então de uma análise de regressão, que é uma válida ferramenta de avaliação, quando se pode estabelecer relações entre distintas variáveis diretamente correlacionáveis, como as diferentes vazões utilizadas nas equações do projeto.

Desta forma, o estudo iniciou-se com a organização dos dados disponíveis de vazões de base ( $Q_b$ ); vazões médias de longo período ( $Q_{mlp}$ ) e vazões mínimas de sete dias, com dez anos de recorrência ( $Q_{7,10}$ ), para todas as unidades de gestão de recursos hídricos (UGRHIs) listadas para o Estado de São Paulo pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo (2004/2007), já que estes dados não se encontravam completamente disponíveis para o Paraná, especialmente tratando-se da vazão de base, como supracitado.

Inicialmente e para não se incorrer no erro de se correlacionar dados de ambientes hidrogeológicos diferentes daqueles existentes no projeto da Sanepar, optou-se pela exclusão dos dados de vazão das bacias litorâneas de São Paulo (03-Litoral Norte; 07-Baixada Santista; 11-Ribeira do Iguape).

Na seqüência e visando a verificação dos dados utilizados, calcularam-se as vazões superficiais específicas para cada bacia, e devido ao fato da UGRHI 01-Mantiqueira (SP) também ter apresentado - assim como as bacias litorâneas excluídas - dados de vazão específica fora da média, optou-se também pela sua exclusão da análise de regressão (Tabela 1).

Num segundo momento, partindo-se dos dados restantes foram calculadas as relações  $Q_b/Q_{mlt}$  e  $Q_{7,10}/Q_{mlp}$  (Tabela 2) que, ao serem dispostas sobre a forma de gráfico, permitiram o cálculo da regressão entre a  $Q_b$  e a  $Q_{7,10}$  normalizadas pela  $Q_{mlp}$ , bem como da linha de tendência (Figura 2).

**Tabela 1 – Dados de vazão das bacias do Estado de São Paulo**

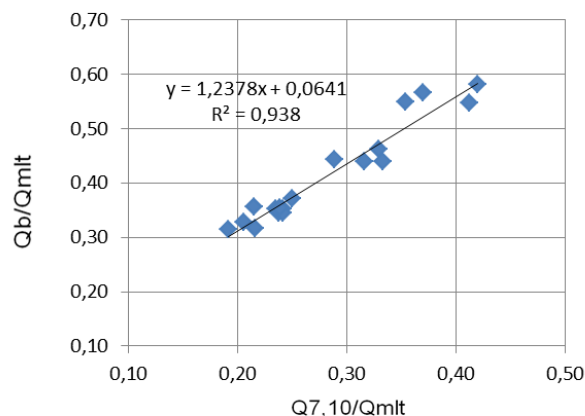
NºUGRHIs - NOME	A (km2)	VAZÕES DE REFERÊNCIA m <sup>3</sup> /s			VAZÕES ESPECÍFICAS m <sup>3</sup> /s		
		Q7,10	Qmlp	Qb	q7,10	qmlp	qb
<b>1-Mantiqueira</b>	<b>675</b>	<b>7</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>10,4</b>	<b>32,6</b>	<b>14,8</b>
2-Paraíba do Sul	14444	72	216	95	5,0	15,0	6,6
<b>3-Litoral Norte</b>	<b>1948</b>	<b>27</b>	<b>107</b>	<b>37</b>	<b>13,9</b>	<b>54,9</b>	<b>19,0</b>
4-Pardo	8993	30	139	44	3,3	15,5	4,9
5-Piracicaba/Capivari/Jundiaí	14178	43	172	64	3,0	12,1	4,5
6-Alto Tietê	5868	20	84	29	3,4	14,3	4,9
<b>7-Baixada Santista</b>	<b>2818</b>	<b>38</b>	<b>155</b>	<b>54</b>	<b>13,5</b>	<b>55,0</b>	<b>19,2</b>
8-Sapucaí/Grande	9125	28	146	46	3,1	16,0	5,0
9-Mogi-Guaçu	15004	48	199	70	3,2	13,3	4,7
10-Tietê/Sorocaba	11829	22	107	35	1,9	9,0	3,0
<b>11-Ribeira do Iguape/Lit. Sul</b>	<b>17068</b>	<b>161</b>	<b>525</b>	<b>227</b>	<b>9,4</b>	<b>30,8</b>	<b>13,3</b>
12-Baixo Pardo/Grande	7239	21	87	30	2,9	12,0	4,1
13-Tietê/Jacaré	11779	40	97	53	3,4	8,2	4,5
14-Alto Paranapanema	22688	84	255	118	3,7	11,2	5,2
15-Turvo/Grande	15925	26	121	43	1,6	7,6	2,7
16-Tietê/Batalha	13149	31	98	43	2,4	7,5	3,3
17-Médio Paranapanema	16748	65	155	90	3,9	9,3	5,4
18-São José dos Dourados	6783	12	51	18	1,8	7,5	2,7
19-Baixo Tietê	15588	27	113	40	1,7	7,2	2,6
20-Aguapeí	13196	28	97	43	2,1	7,4	3,3
21-Peixe	10769	29	82	45	2,7	7,6	4,2
22-Pontal do Paranapanema	12395	34	92	52	2,7	7,4	4,2

Fonte: COBRAPE, 2015.

**Tabela 2 – Relações entre vazões das bacias hidrográficas selecionadas**

NºUGRHIs - NOME	A (km <sup>2</sup> )	VAZÕES DE REFERÊNCIA m <sup>3</sup> /s			RELAÇÕES ENTRE VAZÕES m <sup>3</sup> /s	
		Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>mlp</sub>	Q <sub>b</sub>	Q <sub>7,10</sub> /Q <sub>mlp</sub>	Q <sub>b</sub> /Q <sub>mlp</sub>
2-Parafba do Sul	14444	72	216	95	0,33	0,44
4-Pardo	8993	30	139	44	0,22	0,32
5-Piracicaba/Capivari/Jundiaí	14178	43	172	64	0,25	0,37
6-Alto Tietê	5868	20	84	29	0,24	0,35
8-Sapucaí/Grande	9125	28	146	46	0,19	0,32
9-Mogi-Guaçu	15004	48	199	70	0,24	0,35
10-Tietê/Sorocaba	11829	22	107	35	0,21	0,33
12-Baixo Pardo/Grande	7239	21	87	30	0,24	0,34
13-Tietê/Jacaré	11779	40	97	53	0,41	0,55
14-Alto Paranapanema	22688	84	255	118	0,33	0,46
15-Turvo/Grande	15925	26	121	43	0,21	0,36
16-Tietê/Batalha	13149	31	98	43	0,32	0,44
17-Médio Paranapanema	16748	65	155	90	0,42	0,58
18-São José dos Dourados	6783	12	51	18	0,24	0,35
19-Baixo Tietê	15588	27	113	40	0,24	0,35
20-Aguapeí	13196	28	97	43	0,29	0,44
21-Peixe	10769	29	82	45	0,35	0,55
22-Pontal do Paranapanema	12395	34	92	52	0,37	0,57

Fonte: COBRAPE, 2015.



**Figura 2 - Regressão entre a Q<sub>b</sub> e Q<sub>7,10</sub> normalizadas pela Q<sub>mlp</sub>**

A equação resultante - conforme pode ser observada abaixo - demonstrou um grau de correlação de cerca de R<sup>2</sup>=0,94, o que pode ser considerado como resultante de um ajuste consistente.

$$Q_b \text{ (m}^3\text{/s)} = Q_{mlp} (1,2378 (Q_{7,10}/Q_{mlp}) + 0,064) \quad \text{(Equação 2)}$$

Cabe destacar que, por fim, esta equação, quando aplicada sobre os valores de Q<sub>7,10</sub> e Q<sub>mlp</sub> utilizados no presente projeto, resultaram em valores de Q<sub>b</sub> mais coerentes do ponto de vista do potencial explorável, do que aqueles calculados através da média aritmética de dados de vazão de base, resultando também em valores muito similares aos já calculados para o Estado de São Paulo (Liazi, et al, 2007), além de que, quando

utilizados na equação utilizada para o cálculo da reserva ativa – melhor detalhada adiante - culminaram em valores de contribuição específica (CE) da Ra (reserva ativa) próximos daqueles apresentados pela ANA (lá denominados de RPE esp. = reserva potencial explotável específica) para os sistemas aquíferos existentes na área abrangida pela bacia hidrográfica do Rio Paranapanema, e que faz divisa entre os estados de São Paulo e Paraná (ANA, 2014).

Em continuidade, e como já anteriormente destacado, também é crucial que os dados de vazões superficiais sejam relativos a trechos de drenagens superficiais coincidentes - senão em todo, mas ao menos em grande parte – com os sistemas aquíferos subjacentes de interesse.

Neste sentido, optou-se pela utilização das chamadas vazões incrementais, que representam os dados de vazão exclusivamente de um determinado trecho de um curso hídrico superficial que está por sobre a área de ocorrência de um sistema aquífero principal.

Para tanto, mediante uma análise prévia da conformação dos rios existentes na área de estudo, bem como da localização espacial dos sistemas aquíferos aflorantes, selecionaram-se um total de trinta e quatro pontos para a obtenção dos dados de vazão superficial; e que se localizavam relativamente próximos ou por sobre as zonas de contato aflorante entre dois sistemas aquíferos distintos, conforme Figura 3.

Esta seleção também levou em conta que os pontos deveriam possuir zonas de contribuição superficial a montante com ao menos 83% de recobrimento de um sistema aquífero em particular, de forma que suas características de vazão fossem resultantes em sua grande maioria de apenas um litotipo geológico. A utilização do referencial de 83% se deveu pelo fato de ter sido já utilizado pela ANA nos estudos do Paranapanema (2014), visando sobretudo a padronização dos critérios de corte, com fins à melhor comparação dos resultados finais.

O cálculo das vazões incrementais nos pontos pertencentes ao estudo, localizados nos principais rios existentes na área do projeto, foi então realizado pela diferença das vazões de jusante para montante. Os pontos localizados mais a montante (cabecceiras) dos rios, com sentido a trechos de jusante (exutórios) tiveram seus cálculos de incrementais definidos pelo exemplo demonstrado pela Figura 4.

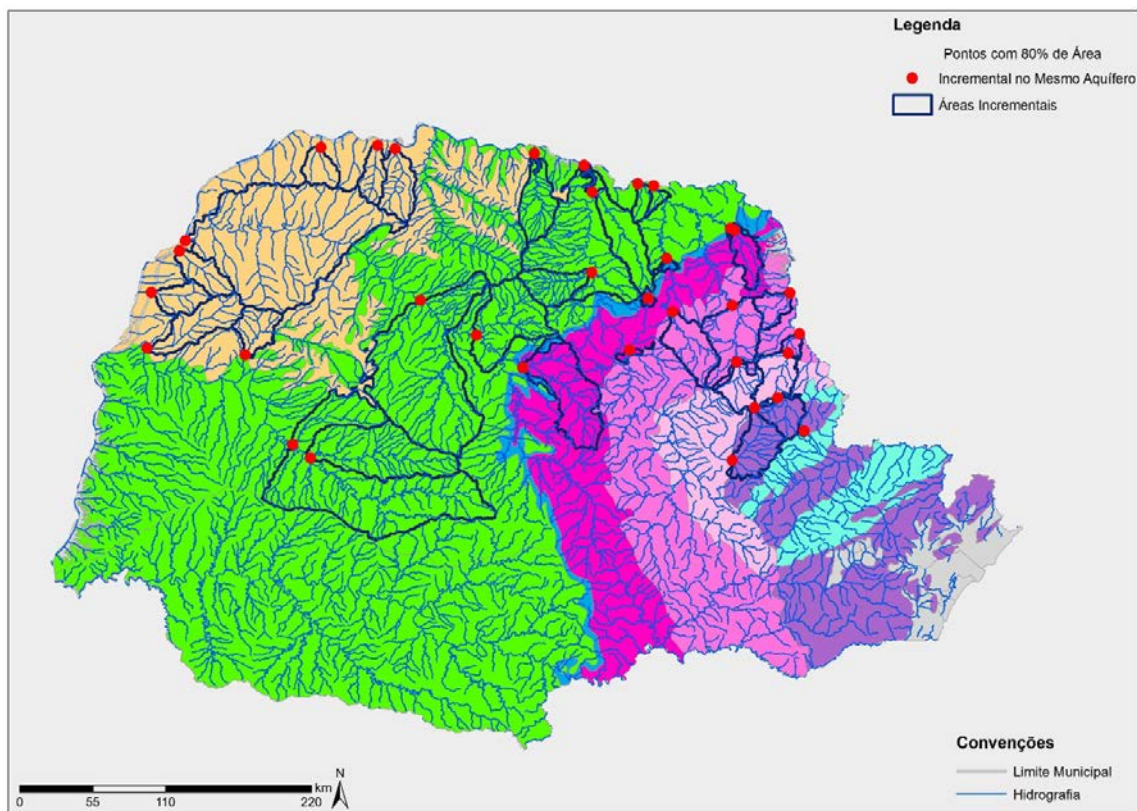
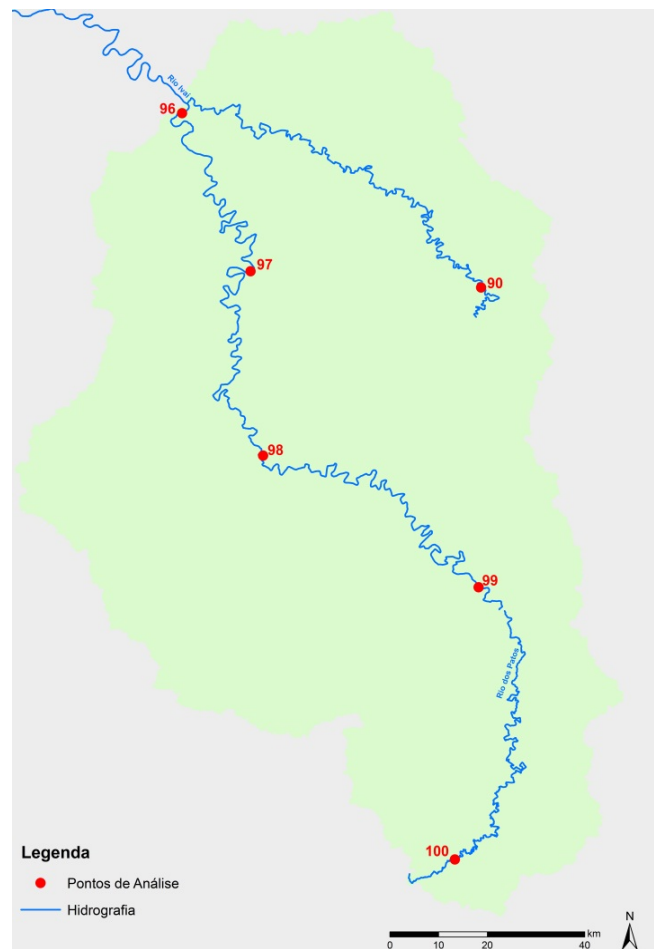


Figura 3 – Exemplo de uso de áreas incrementais de drenagem utilizadas



**Figura 4 – Exemplo de uso de áreas incrementais**

Detalhando esta simples forma de obtenção da vazão incremental, os pontos 100 e 90, localizados na nascente do rio, possuem seus valores de vazão incremental igual a seu valor de vazão. Já o ponto 99, tem seu valor de incremental definido pela diferença de seu valor de vazão com o ponto localizado a montante, sendo assim calculado.

Para os demais pontos localizados a jusante do ponto 99, os valores de incremental são calculados utilizando a mesma lógica. As equações abaixo demonstram como se obteve os valores de vazão incremental ( $m^3/s$ ) para os pontos 98, 97 e 96.

$$\text{Incremental}_{98}(m^3/s) = Q_{98} - Q_{99}$$

$$\text{Incremental}_{97}(m^3/s) = Q_{97} - Q_{98}$$

$$\text{Incremental}_{96}(m^3/s) = Q_{96} - Q_{97}$$

Portanto, a partir do embasamento da metodologia e das formas e equações utilizadas para a obtenção das vazões denominadas de  $Q_b$  e da  $Q_{7,10}$ , anteriormente descrito, pode-se, por fim, seguir para o cálculo da “reserva ativa” (Ra) propriamente dita, que é obtida por sua vez através da seguinte equação e procedimentos abaixo elencados:



$$Ra = Q_b - Q_{(7,10)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Ra = reserva ativa ( $m^3/s$ )

$Q_b$  = escoamento de base ( $m^3/s$ )

$Q_{7,10}$  = vazão mínima de 7 dias consecutivos e período de recorrência de 10 anos ( $m^3/s$ )

Cabe salientar que o escoamento de base  $Q_b$  - proveniente da equação anteriormente construída neste estudo em particular - foi obtido de dados de vazão ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{mlp}$ ) provenientes de pontos desejados e específicos de determinados cursos hídricos, através do modelo Regionaliza (Sanepar), conforme detalhado anteriormente. Já a  $Q_{7,10}$  é uma informação estatística, obtida através da menor média anual correspondente a um período de 7 dias de medição contínua, durante um intervalo de dez anos, através de dados também fornecidos pelo Regionaliza.

Os procedimentos para cálculo da  $Ra$  são portanto:

1. Determinação do escoamento básico ( $Q_b$ ) de bacias representativas e vinculadas aos pontos de interesse, inseridos no contexto geológico dos aquíferos estudados. Para cálculo destes valores há necessidade de obtenção de hidrógrafas de recessão;
2. Determinação da vazão mínima de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) para os pontos selecionados. Para cálculo destes valores há necessidade de obtenção de séries históricas de vazão;
3. A diferença  $Q_b - Q_{7,10}$  representa a reserva ativa ( $Ra$ ) em  $m^3/s$ , que foi neste caso calculada para cada um dos trinta e quatro pontos de interesse;
4. Calcular a contribuição específica (CE) relativa à  $Ra$ , para cada sistema aquífero em particular, em  $L/s.Km^2$ :

$$CE = Ra / A_b \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Ra = reserva ativa (em  $L/s$ )

$A_b$  = área da bacia de drenagem incremental em  $km^2$  (a montante do ponto de interesse)

### Metodologia ANA

A citada Metodologia ANA se baseia em sistemática utilizada pela Agência Nacional de Águas para a avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea na Bacia do Rio Paranapanema, realizada em 2014.

A mesma foi efetivada para a parcela renovável da recarga e para todos os aquíferos que afloram na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema, sendo denominada pela ANA de RPE., que é análoga à CE (contribuição específica) citada na Metodologia Cobrape.

O cálculo da RPE – Reserva Potencial Explotável - é realizado através da seguinte equação:

$$RPE = RPD \times CS$$

(Equação 4)

Onde:

RPE = Reserva Potencial Explotável ( $m^3/s$ )

RPD = Recarga Potencial Direta ( $m^3/s$ )

CS = Coeficiente de Sustentabilidade

A RPE – Reserva Potencial Explotável é tida como a parcela da RPD - Recarga Potencial Direta da chuva, que pode ser utilizada, de forma a não interferir nas vazões mínimas ambientais superficiais e de referência para outorga.

A metodologia proposta pela ANA para a Bacia do Rio Paranapanema, parte portanto dos dados de precipitação e de qual parcela da chuva infiltra no solo e chega aos aquíferos livres, através da definição do chamado Coeficiente de Infiltração (CI), sendo o restante não contabilizado caracterizado como o escoamento superficial direto. Nesta metodologia, os valores de CI não são calculados pontualmente, sendo obtidos de dados disponibilizados na literatura técnica.

Esta parcela da pluviosidade que de fato infiltra-se no subsolo, passa então a compor a chamada RPD, que conforme descrita no próprio texto do relatório da ANA, é composta então por quatro sub-parcelas, a saber:  $Q_b$  (escoamento de base);  $Q_p$  (extração dos poços);  $R_p$  (recarga profunda) e  $CL$  (contribuição lateral), sendo estas últimas não consideradas no cálculo, por exigirem avaliações hidrogeológicas específicas e fora do alcance do estudo, podendo então ser resumida conforme equação a seguir.

$$RPD = Q_b + Q_p$$

(Equação 5)

Onde:

RPD = Recarga Potencial Direta ( $m^3/s$ )

$Q_b$  = escoamento de base ( $m^3/s$ )

$Q_p$  = vazão extraída dos poços ( $m^3/s$ )

O Coeficiente de Sustentabilidade (CS) por sua vez é quem define este percentual máximo da RPD que pode ser explotado sem efeitos adversos nos aquíferos e na redução significativa das vazões de base, de forma a não comprometer a disponibilidade hídrica superficial nos períodos de estiagem.

Nesta metodologia, os aquíferos com uma elevada contribuição no fluxo de base, demandam um CS inferior àqueles onde essa participação é menor. Por sua vez, a definição do CS (coeficiente de sustentabilidade) parte da relação  $Q_{90}/Q_{50}$ , sendo este considerado um bom parâmetro para o seu estabelecimento, já que mostra a participação do escoamento subterrâneo ( $Q_{90}$  = vazão que é excedida em 90% do tempo) no escoamento superficial ( $Q_{50}$  = vazão que é excedida em 50% do tempo). Desta forma a metodologia sugere adotar a seguinte relação:

Sugere-se pelo estudo da ANA a utilização de um CS médio de 0,4, considerando que 40% dos cenários são favoráveis. Em aquíferos com transmissividade elevada, portanto onde boa parte do fluxo de base é mantida pelo aquífero, recomenda-se um CS de 0,2; e por fim, nos aquíferos cársticos, pode-se utilizar um CS de 0,3 (30%), conforme esquema abaixo.

- Para  $Q_{90}/Q_{50} \geq 0,6 \rightarrow$  usar CS = 0,2;
- Para  $Q_{90}/Q_{50} < 0,6 \rightarrow$  usar CS = 0,4;
- Para aquíferos cársticos  $\rightarrow$  usar CS = 0,3

Cabe destacar que no presente estudo, optou-se somente pelo cálculo da RPE específica, visando a sua comparação com a análoga CE (contribuição específica) gerada pela metodologia 1 da Cobrape, e para tanto, trabalhou-se sobre os dados disponíveis de chuva existentes no Estado do Paraná.

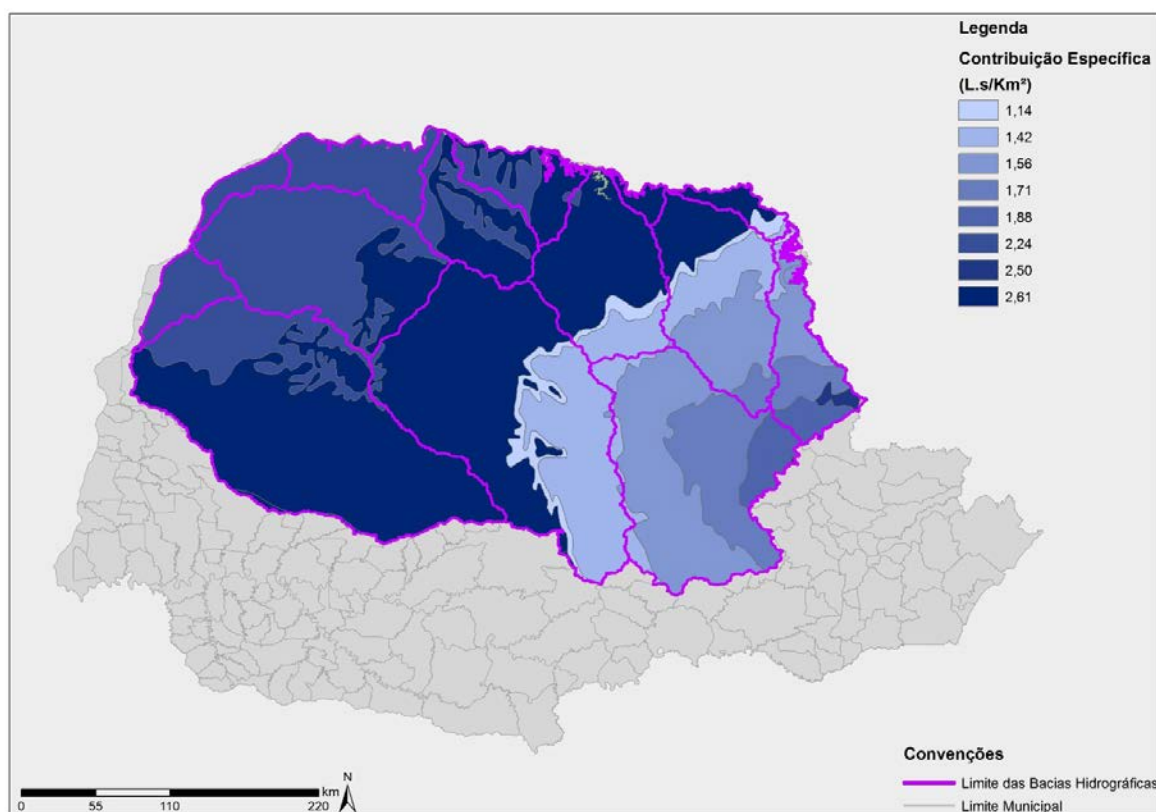
A tabela a seguir apresenta o resumo comparativo para a reserva ativa, neste caso retratada como CE (contribuição específica) através da equação utilizada pela Cobrape, com os resultados da RPE (reserva potencial explotável), determinados pela ANA (2014).

<b>UNIDADE AQUÍFERA ANA</b>	<b>UNIDADE AQUÍFERA COBRAPE</b>	<b>MÉDIA RPE ANA PARANAPANEMA (=CE) L/s/km<sup>2</sup></b>	<b>MÉDIA CE COBRAPE L/s/km<sup>2</sup></b>	<b>DIF (%) ENTRE ANA X COBRAPE</b>
BAURU - CAIUÁ	CAIUÁ	<b>2,25*</b>	<b>2,24</b>	-0,44
GUARANI	GUARANI	<b>1,54</b>	<b>1,14</b>	-25,9
CARSTE	CARSTE	<b>3,14</b>	<b>2,50</b>	-20,4
FURNAS	PALEOZÓICA INFERIOR	<b>1,86</b>	<b>1,71</b>	-8,07
PONTA GROSSA				
ITARARÉ	PALEOZÓICA MÉDIA SUPERIOR	<b>1,60</b>	<b>1,56</b>	-2,50
RIO BONITO				
PALERMO				
PASSA DOIS	PALEOZÓICA SUPERIOR	<b>0,74</b>	<b>1,42</b>	+91,9
FRATURADO	PRÉ CAMBRIANO	<b>2,24</b>	<b>1,88</b>	-16,1
SERRA GERAL	SERRA GERAL	<b>2,60</b>	<b>2,61</b>	-0,39

**Tabela 3 – Resultados Comparativos entre Metodologias**

\*Cabe destacar que unicamente para o sistema aquífero Caiuá – denominado de Bauru-Caiuá pela ANA – optou-se pela demonstração comparativa valendo-se da utilização de um CS de 0,3 (deferentemente do utilizado pela ANA, no trabalho do Paranapanema, que foi de 0,2) e que empiricamente se demonstrou ser mais aderente aos valores de CE estipulados pela Metodologia 1 para este sistema aquífero.

A figura 5 a seguir retrata sob a forma de mapa, os valores da Reserva Ativa, aqui representados como CE – contribuição específica, para todos os aquíferos do Paraná.



**Figura 5 – CE (contribuição específica) média por aquífero - Metodologia 1 - Cobrape**

## COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS

A Tabela 3 anteriormente descrita retrata todos os valores de disponibilidade hídrica subterrânea obtidos pelas duas metodologias citadas, de maneira a melhor facilitar a comparação entre ambas, bem como faz uma correlação entre as formas de classificação dos sistemas aquíferos utilizados nas metodologias da Cobrape e da ANA. Como se pode observar, as grandezas de valores são coerentes em ambas as metodologias, apesar das duas chegarem ao mesmo produto final por vias muito distintas.

Com relação ao Sistema Aquífero Caiuá, os valores de RPE só se mantiveram aderentes entre os apresentados pela ANA no Paranapanema e os calculados na área do presente projeto, utilizando-se um CS (coeficiente de sustentabilidade) de 0,3 ao invés de 0,2 como sugerido pela ANA.

Com relação ao Sistema Aquífero Guarani, observou-se uma pequena diminuição da CE calculada pela Cobrape, em comparação aos valores de RPE, calculados pela ANA, muito provavelmente decorrente da sua pequena área superficial de afloramento, o que poderia influenciar nos cálculos de vazões incrementais, bem como pela seu maior coeficiente de infiltração (CI) - em torno de 17% - que da mesma forma poderia sobrelevar os resultados via precipitação.

O mesmo poderia ser sinalizado para o Sistema Aquífero Carste, já que este compartimento também possui uma pequena área aflorante no projeto, bem como um coeficiente de infiltração de 23%.

Quanto aos sistemas aquíferos Paleozóicos Inferior e Médio Superior, os valores médios obtidos são coerentes e de mesma magnitude, sendo apenas individualizáveis quando analisados por sob a classificação de formações hidrogeológicas utilizadas pela ANA, que subdivide respectivamente as unidades Paleozóica Inferior e Paleozóica Média Superior utilizadas pela Cobrape, em unidades distintas (Furnas e Ponta Grossa / Itararé, Rio Bonito e Palermo), nitidamente possuidoras de coeficientes de infiltração diferenciados.

A única unidade que demonstra uma grande variação entre o RPE calculado pela ANA e o CE calculado pela metodologia Cobrape é o sistema aquífero Paleozóico Superior, denominado no relatório da ANA Paranapanema de Passa Dois. Por se tratar de um aquífero, possui um baixo coeficiente de infiltração (4%), o que resulta em baixos valores de RPE quando calculados pela metodologia da ANA, em comparação à metodologia Cobrape, que se vale dos dados de vazões observadas e que provavelmente são influenciadas por algum efeito fisiográfico que propicia tal acréscimo.

Quanto ao sistema aquífero Pré-Cambriano, os valores de CE diminuem cerca de 16% em relação aos calculados para a RPE para a área do Paranapanema da ANA, o que pode estar relacionado às diferenças entre os ambientes geológicos presentes em ambos os estados, mais especificadamente no que diz respeito a sua estrutural e tectônica pretérita. Também é de se esperar que não seja relativamente precisa a utilização de um único valor para o coeficiente de infiltração, pelos mesmos motivos supracitados, o que faz com que os valores calculados pela metodologia Cobrape possam vir a ser mais confiáveis.

Por fim, com relação ao sistema aquífero Serra Geral, os valores calculados para o CE pela metodologia da Cobrape são iguais aos calculados para a RPE pela ANA para a região do Paranapanema, Entretanto também é importante frizar que o valor apresentado na tabela para o Serra Geral representa uma média entre os compartimentos norte e sul, sendo que a porção norte demonstra valores menores em relação ao bloco sul

## CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados constata-se que os valores sugeridos pela Cobrape podem ser considerados adequados e até de certa forma conservativos, já que são levemente inferiores em muitos aquíferos aos calculados pela metodologia da ANA, e se ancoram por sua vez na vazão de base ( $Q_b$ ) dos cursos hídricos superficiais, o que representaria a possibilidade do não comprometimento das vazões ecológicas e de outorga superficial, uma vez que dela também se subtrai a vazão  $Q_{7,10}$ .

Apesar de que muitos planos de gerenciamento de recursos hídricos preveem a utilização de apenas uma parcela da reserva ativa subterrânea calculada, com base na metodologia utilizada pela Cobrape, sugere-se que isto seja avaliado caso a caso, sempre valendo-se da prerrogativa de que as vazões mínimas de escoamento de base e de outorga de recursos hídricos superficiais sejam preservadas.

Este valor final disponível poderia ser confrontado em áreas de estresse hídrico com as atuais vazões exploradas pelos poços registrados nos órgãos competentes, ou pelas vazões outorgadas totais de cada sistema aquífero em particular, considerando que a metodologia utilizada pode até certo ponto contemplar um eventual volume que possa estar sendo retirado clandestinamente e sem o conhecimento das autoridades outorgantes – já que se baseia em dados reais da descarga subterrânea nos corpos hídricos superficiais - volume este que pode girar, segundo informações preliminares dos técnicos da Sanepar, em mais de 20%, em especial para os aquíferos Caiuá, Serra Geral e Paleozóicos, onde o recurso hídrico subterrâneo estaria mais facilmente acessível e, por conseguinte, mais vinculado de fato à manutenção da perenidade dos rios.

Esta análise final também poderia ser realizada por unidades distintas de gestão hídrica - onde se perceba que os resultados calculados não se demonstrem adequados - visando facilitar a gestão de cada sub-bacia em particular, bem como a integração com os volumes calculados dos recursos hídricos superficiais, quando da realização do balanço hídrico final, que consideraria a demanda e a oferta.

Tais situações poderão ser encontradas, por exemplo, em ambientes geológicos e sistemas aquíferos onde as velocidades de escoamento do aquífero superficial sejam muito grandes e onde a geologia hospedeira seja relativamente homogênea, refletindo nas chamadas curvas de recessão; ou onde os fatores pedológicos interfiram na taxa de infiltração superficial.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ANA – Agência Nacional de Águas. UGRH Paranapanema. Diagnóstico – Avaliação Quantitativa e quantitativa das águas subterrâneas, 2014. Brasília.
2. CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações. 3a edição, 2008. Rio de Janeiro.
3. DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. Plano Estadual de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo, 2007. São Paulo.
4. LIAZI et al. Outorga Integrada – Águas superficiais e águas subterrâneas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo.