ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIO NO CÓRREGO SANTA MARIA DO AMPARO, MUNICÍPIO DE AMPARO

Paulo Takashi Nakayama[(1)]
Engenheiro civil consultor, aposentado pela SP Águas. Possui mestrado e doutorado em Hidrologia e Recursos Hídricos pela EPUSP. Foi professor de Hidrologia na FESP por 25 anos e tem vários artigos publicados, principalmente na área de Recursos Hídricos, nos anais de simpósios nacionais e internacionais.

José Mendes de Lima Neto[(2)]
Graduação em engenharia Civil pela FESP, mestrado em recursos hídricos, energéticos e ambientais pela UNICAMP com pesquisa em drenagem urbana e especialização em fundações e geotecnia em obras imobiliárias pelo IMT (Instituto Mauá de Tecnologia).

Endereço [(1)]**:** Rua Botuí, 142, Planalto Paulista, São Paulo / SP - CEP 04064-010 – Tel: +55 (11) 99857-5941
E-mail: paulo.nakayama2@gmail.com

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar estudos de viabilidade técnica, tendo em vista o plano de implantação de um reservatório de acumulação no Córrego Santa Maria do Amparo, município de Amparo.
Para este estudo, foram abordados os seguintes tópicos: estimativa da população do município para o cenário futuro, determinação do potencial hídrico da bacia, cálculo da vazão mínima do córrego, vazão máxima possível de ser regularizada com a construção do reservatório e o correspondente volume e a altura da barragem necessária.

Aplicando o método sugerido no manual "Estudo de regionalização de variáveis hidrológicas", elaborado por Liazi et al. (1988), pôde-se estimar que o Córrego Santa Maria do Amparo tem potencial hídrico de regularizar uma vazão de 74,0 L/s. Para tanto, será necessário implantar uma barragem de 9,43 m, que formará um reservatório com a capacidade de acumular 325.356 m^3.

PALAVRAS-CHAVE: Reservatório de acumulação, regionalização hidrológica, potencial hídrico.

INTRODUÇÃO

Amparo é um município do interior do estado de São Paulo, localizado a cerca de 130 km da capital.

O crescimento do município de Amparo ocorreu impulsionado pelo **Ciclo do Café** no início do século XIX. Somente a partir de 1940, a estagnação econômica provocada pela crise do café começou a se reverter com a chegada de pequenas indústrias. Atualmente, a cidade consolidou seu perfil como um polo de serviços, saúde e tecnologia de ponta (AMPARO, n.d.).

A exploração turística em Amparo começou a se estruturar oficialmente em 1945, quando o município recebeu do Governo do Estado de São Paulo o título de "Estância Termal/Hidromineral". A chegada de novas empresas de médio e grande porte impulsionou o crescimento do mercado de trabalho e a expansão dos setores de serviços e **c**omércio. Com a expansão das atividades econômicas e a exploração de turismo, houve o crescimento populacional e, por conseguinte, o aumento na demanda de recursos hídricos (AMPARO, n.d.).

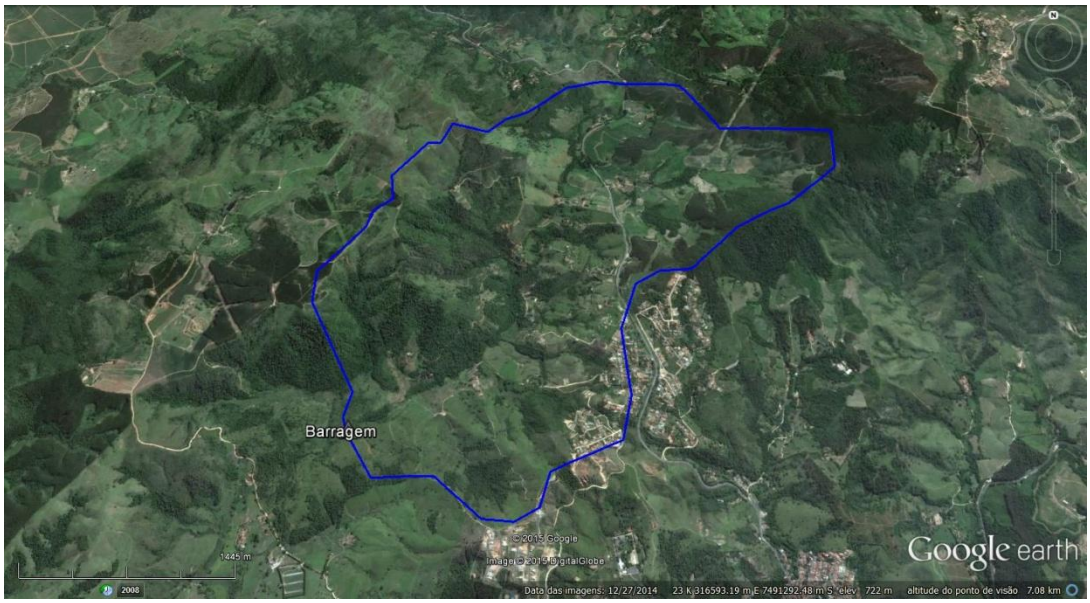
Diante da eventual escassez de água, a prefeitura de Amparo solicitou ao CTH/DAEE (atual SPÁguas) um estudo de disponibilidade hídrica no Córrego Santa Maria do Amparo e a viabilidade técnica para a implantação de um reservatório de acumulação. Este artigo apresenta uma parte deste estudo.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do Córrego Santa Maria do Amparo localiza-se na margem direita do Rio Camanducaia que por sua vez deságua no Rio Jaguari pela margem direita, no município de Jaguariúna. A sua área de drenagem na seção onde se pretende construir um reservatório é de aproximadamente 9,2 km^2. Nesta seção, o comprimento do talvegue principal é cerca de 5,5 km e a diferença de nível entre o ponto mais afastado da bacia e o ponto considerado é da ordem de 284 metros (IBGE, 1983).

Existem na bacia, atualmente, algumas residências de alto padrão, porém boa parte é ainda ocupada pelas matas naturais, que apresentam alto poder de retenção de águas pluviais. A Figura 1 mostra a localização da área drenada pelo córrego, através da imagem de satélite disponibilizada pelo Google Earth (2015).

Figura 1 – Localização da área drenada pelo Córrego Santa Maria do Amparo.



Fonte: Google Earth (2015).

METODOLOGIAS UTILIZADAS

REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Tendo em vista a ausência de dados fluviométricos no córrego em questão, o volume do reservatório foi determinado pelo método da regionalização, sugerido no manual "Estudo de regionalização de variáveis hidrológicas", elaborado por Liazi et al. (1988), para o Estado de São Paulo.

Na Figura 2 aparecem delimitadas as regiões com comportamento hidrológico semelhante e a Tabela 1 indica os valores dos parâmetros regionais obtidos pela aplicação da metodologia desenvolvida por Liazi et al. (1988).

Conforme o manual, o método da regionalização só pode ser empregado para atender às demandas intra-anuais (dentro de 1 ano), ou seja, para a situação em que a duração crítica de estiagem não excede seis meses.

Para determinar o volume do reservatório, faz-se necessário o conhecimento dos seguintes parâmetros hidrológicos, avaliados a partir dos parâmetros regionais:

a) Vazão média de longo período

A vazão média específica é determinada em função da precipitação média anual, conforme a equação abaixo:

$$q = a + b \cdot \overline{P} \qquad \text{equação (1)}$$

onde: q – vazão média específica em L/s.km^2; a e b – parâmetros regionais para a vazão média (Tabela 1);
$\overline{P}$ - precipitação média anual em mm.

Multiplicando a vazão específica pela área de drenagem da bacia, obtém-se a vazão média de longo período:

$$\overline{Q} = q \times A_b$$ equação (2)

onde: $\overline{Q}$ - vazão média de longo período, em m3/s; q - vazão média específica, em L/s.km^2; A_b – área de drenagem da bacia, em km^2.

b) Vazão mínima anual de "d" meses consecutivos

A vazão mínima de "d" meses de duração e "T" anos de período de retorno pode ser determinada da seguinte forma:

$$Q_{d,T} = X_T \cdot (A + B \cdot d) \cdot \overline{Q}$$ equação (3)

onde: $Q_{d,T}$ – vazão mínima de duração "d" meses e período de retorno T;

X_T – fator que associa a probabilidade de ocorrência (Tabela 1);

A e B – parâmetros regionais para a vazão mínima (Tabela 1);

$\overline{Q}$ - vazão média de longo período;

d – duração da estiagem em meses.

c) Volume útil do reservatório

O volume do reservatório necessário para regularizar uma vazão firme, associada a um período de retorno, pode ser calculado pela equação abaixo:

$$V_u = \frac{\left(Q_F - X_T \cdot A \cdot \overline{Q}\right)^2}{4 \cdot X_T \cdot B \cdot \overline{Q}} \cdot k$$ equação (4)

onde: V_u – volume útil do reservatório (m^3);

Q_F – vazão regularizada com dada probabilidade de sucesso (m^3/s);

A e B – parâmetros regionais (Tabela 1);

X_T – fator que associa a probabilidade de sucesso;

$\overline{Q}$ - vazão média de longo período;

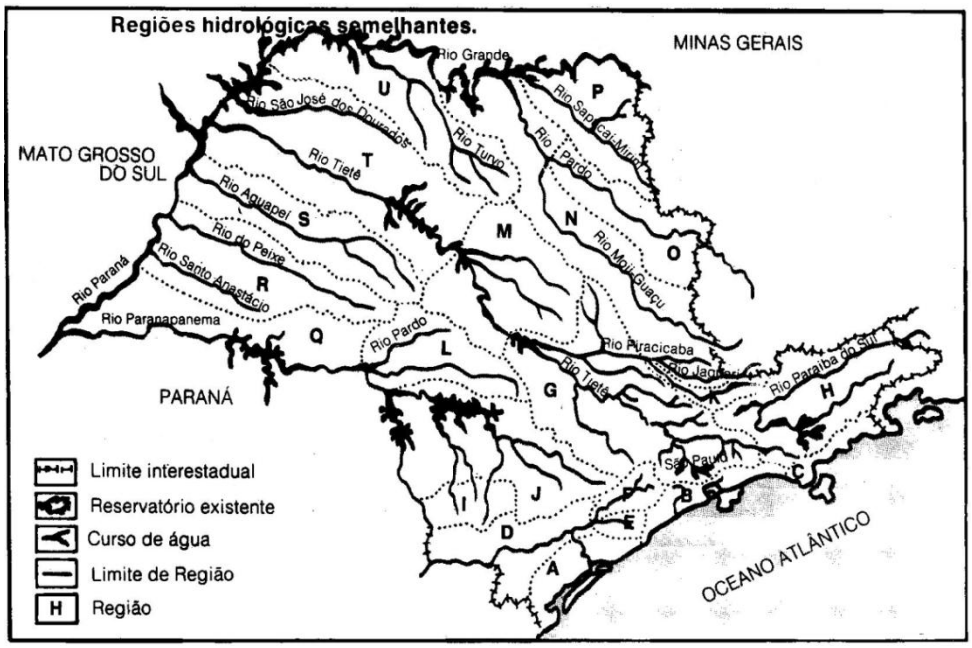
k – número de segundos em um mês.

Conforme já mencionado, a metodologia pode ser empregada para durações críticas (d_c) de no máximo seis meses, sendo esta duração calculada pela seguinte equação:

$$d_c = \frac{Q_F - (X_T \cdot A \cdot \overline{Q})}{2 \cdot X_T \cdot B \cdot \overline{Q}}$$ equação (5)

onde os parâmetros Q_F, X_T, A, B e $\overline{Q}$ são os mesmos da equação (4).

Figura 2 – Regiões hidrologicamente homogêneas.



Fonte: DAEE (1994).

Tabela 1 - Parâmetros regionais.

Região	Média plu ($\overline{P}$)		Valores de X_T						Val. de A e B	
	a	b	Período de retorno T						A	B
			10	15	20	25	50	100		
A	-22,14	0,0292	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,3532	0,0398
B	-29,47	0,0315	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,4147	0,0426
C	-29,47	0,0315	0,748	0,723	0,708	0,698	0,673	0,656	0,4147	0,0426
D	-22,14	0,0292	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,5734	0,0329
E	-22,14	0,0292	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,4775	0,033
F	-22,14	0,0292	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,6434	0,0252
G	-26,23	0,0278	0,632	0,588	0,561	0,543	0,496	0,461	0,4089	0,0332
H	-29,47	0,0315	0,748	0,723	0,708	0,698	0,673	0,656	0,4951	0,0279
I	-29,47	0,0315	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,6276	0,0283
J	-29,47	0,0315	0,708	0,674	0,655	0,641	0,607	0,581	0,4741	0,0342
K	-26,23	0,0278	0,689	0,658	0,639	0,626	0,595	0,572	0,4951	0,0279
L	-26,23	0,0278	0,759	0,733	0,717	0,706	0,677	0,654	0,6537	0,0267
M	-4,62	0,0098	0,759	0,733	0,717	0,706	0,677	0,654	0,6141	0,0257
N	-26,23	0,0278	0,689	0,658	0,639	0,626	0,595	0,572	0,4119	0,0295
O	-26,23	0,0278	0,689	0,658	0,639	0,626	0,595	0,572	0,3599	0,0312
P	-26,23	0,0278	0,619	0,577	0,552	0,535	0,492	0,459	0,3599	0,0312
Q	-4,62	0,0098	0,633	0,572	0,533	0,504	0,426	0,358	0,6537	0,0267
R	-4,62	0,0098	0,661	0,629	0,610	0,598	0,568	0,546	0,6141	0,0257
S	-4,62	0,0098	0,661	0,629	0,610	0,598	0,568	0,546	0,5218	0,0284
T	-4,62	0,0098	0,661	0,629	0,610	0,598	0,568	0,546	0,4119	0,0295
U	-4,62	0,0098	0,594	0,518	0,469	0,433	0,330	0,240	0,4119	0,0295

Fonte: DAEE (1994).

ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO FUTURA E A VAZÃO DE DEMANDA

A vazão de demanda foi estimada fazendo-se a projeção da população para o horizonte de 20 anos (2035). Analisando os dados da população levantados nos últimos 18 anos, observa-se que a tendência de crescimento foi linear, embora tenham ocorrido taxas de crescimento diferentes neste período (Figura 4). Dessa forma, a população futura foi estimada através da reta ajustada analiticamente a partir de dados conhecidos.

A equação de uma reta é dada por:

$$y = a.x + b \qquad \text{equação (6)}$$

onde *a* e *b* são parâmetros determinados a partir dos pares de pontos (*x*, *y*). No presente caso, *x* é o ano e *y* é a população.

A vazão de demanda pode ser calculada pela seguinte equação (TSUTIYA, 2005):

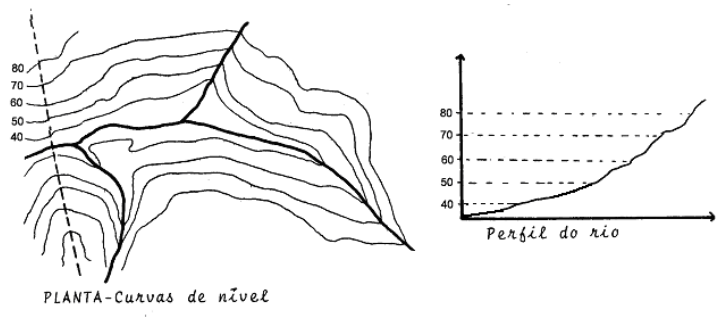
$$Q = \frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86.400}$$ equação (7)

onde: Q – vazão de demanda, em L/s; K_1 – coeficiente do dia de maior consumo; P – população futura;
q – consumo *per capita*, em L/s.hab.

TRAÇADO DA CURVA COTA X VOLUME

A implantação de um barramento num curso d'água inunda as áreas ribeirinhas dando origem a um reservatório. A Figura 3 mostra uma planta com curvas de nível e as cotas do nível d'água atingidas com a implantação de uma barragem.

Figura 3 – Área inundada pela implantação de uma barragem.



Fonte: Os autores.

A curva *cota* x *área* relaciona a cota da curva de nível e a área delimitada por essa curva e pelo eixo da barragem. A curva *cota* x *volume* relaciona a cota da curva de nível e o volume acumulado até essa cota com a implantação da barragem. Essas curvas são traçadas na fase de projeto da barragem, quando se faz a escolha do local de sua implantação.

Para a determinação dos volumes parciais, calcula-se a área média intermediária entre duas cotas adjacentes e multiplica-se pela diferença dessas duas cotas. Matematicamente, tem-se:

$$V_i = \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right) \cdot \Delta z$$ equação (8)

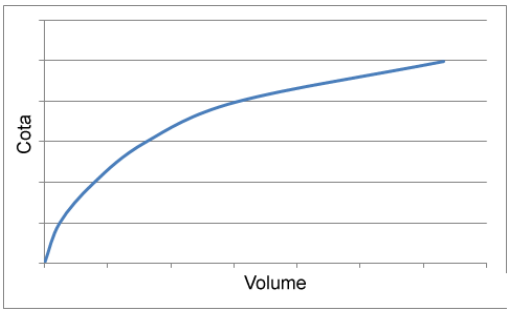
onde: V_i – volume parcial do reservatório, compreendido entre as cotas i e i+1;
A_i – área delimitada entre a curva de nível i e o eixo da barragem;
Δz – diferença entre as cotas das curvas de níveis i e i + 1.

O volume acumulado é obtido pelo somatório dos volumes parciais, conforme a equação 9:

$V_{ac} = \Sigma V_i$ equação (9)

Ao plotar os pares de pontos (cota, V_{ac}) em um gráfico, obtém-se a curva com aspecto ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Aspecto da curva cota x volume.



Fonte: Os autores.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

POPULAÇÃO FUTURA

A projeção da população futura foi feita a partir dos dados do censo demográfico realizado no município de Amparo entre 1996 e 2014, mostrados na Tabela 3. A Figura 5 mostra a reta ajustada pela aplicação do método dos mínimos quadrados aos dados desta tabela, cuja equação é dada por:

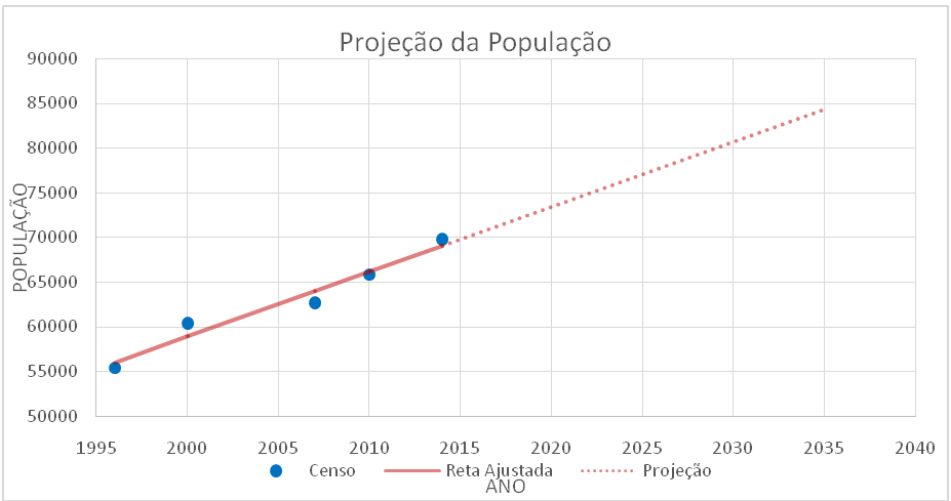
$y = 724{,}87.x - 1.390.816$ equação (10)

Tabela 3 – Dados de população do município de Amparo.

Ano	População
1996	55.457
2000	60.404
2007	62.692
2010	65.829
2014	69.808

Fonte: P.M. Amparo.

Figura 5 – Reta ajustada pelo método dos mínimos quadrados.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da Tabela 3.

Pela equação (10), resultou a população de **84.294 habitantes** para o ano de 2035, adotado como horizonte de projeto.

CURVA COTA X VOLUME DO RESERVATÓRIO

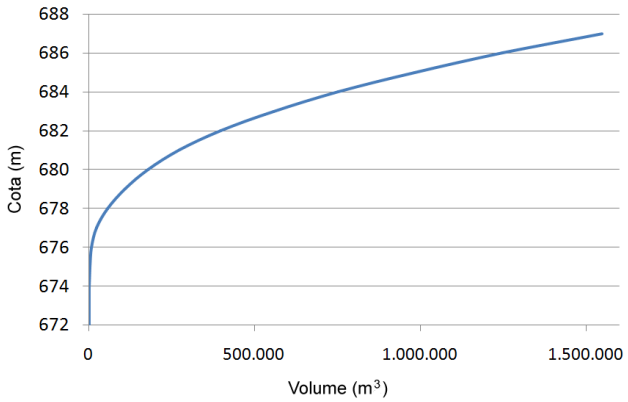
Conforme a metodologia descrita anteriormente, traçou-se a curva cota x volume no local sugerido pela Prefeitura de Amparo, a partir da planta planialtimétrica fornecida pela mesma, na escala 1:5.000. A Tabela 4 apresenta o volume acumulado no reservatório em função da cota do nível d´água e a Figura 6 mostra o aspecto da curva cota x volume.

Tabela 4 – Curva cota x volume.

Cota (m)	Volume (m^3)		Cota (m)	Volume (m^3)
672	1		680	177.375
673	195		681	271.937
674	1.103		682	396.142
675	3.245		683	555.033
676	8.216		684	750.403
677	22.899		685	981.035
678	56.552		686	1.247.173
679	108.068		687	1.546.313

Fonte: P.M. Amparo.

Figura 6 – Aspecto da curva cota x volume.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da Tabela 2.

VAZÃO DE DEMANDA

Considerou-se para este estudo, os valores sugeridos por Tsutiya (2005) que atuou na SABESP por muitos anos: K_1 = 1,20 e q = 200 L/s.hab. Substituindo estes valores e a população futura na equação (2), resultou a vazão de demanda para o horizonte de 20 anos (2035): **234 L/s**.

POTENCIAL HÍDRICO DA BACIA

a) Vazão média de longo período

Com base nos dados históricos dos postos pluviométricos Arcadas (D3-025) e Fazenda Chapadão (D3-031), ambos localizados na região e operados pelo DAEE (atual SPÁguas), adotou-se o índice de **1.490 mm** para a precipitação média anual na bacia.

De acordo com o estudo de regionalização do DAEE, a bacia em questão situa-se na região N, onde os parâmetros assumem os seguintes valores: a = -26,23 e b = 0,0278 (LIAZI et al., 1988).

Substituindo a chuva média anual e os dois parâmetros na equação (3), obtém-se a vazão média específica da bacia: q = 15,2 L/s.km^2.

Multiplicando a vazão específica pela área de drenagem, conforme a equação (2), obtém-se a vazão média de longo período: $\overline{Q} = 140$ L/s.

b) Vazão mínima anual no córrego

Considerou-se para este estudo o risco de falha de 10%, ou seja, período de retorno (T) de 10 anos. Para região N, têm-se os seguintes parâmetros: A = 0,4119; B = 0,0295 e X_{10} = 0,689 (LIAZI et al., 1988). A vazão mínima mensal pode ser calculada pela equação (3), substituindo os valores dos parâmetros A, B, X_{10} e tomando a duração (d) de um mês: **$Q_{1,10}$ =42,6 L/s**

Como a vazão de demanda (234 L/s) é maior que a vazão mínima do córrego (42,6 L/s), haverá necessidade de construir um reservatório de regularização.

c) Volume de regularização necessário

Para este córrego, a vazão máxima que pode ser regularizada com a construção de um reservatório (Q_F) foi calculada pela equação (5), adotando a duração crítica igual a 6 meses (máxima que o método permite) e substituindo os parâmetros regionais (X_T, A e B) e a vazão média de longo período. O resultado obtido foi Q_F = 0,074 m^3/s

De acordo com o resultado acima, o Córrego Santa Maria terá capacidade para regularizar 74,0 L/s. Cabe lembrar que essa vazão inclui a vazão sanitária mínima que deverá ser liberada pelo reservatório para garantir a diluição das cargas orgânicas.

O volume do reservatório necessário para regularizar essa vazão, associada ao período de retorno de 10 anos, foi calculado substituindo os mesmos parâmetros regionais (X_T, A e B) na equação (4), resultando **V_{util} = 271.130 m^3**.

Quando não há estudo do transporte de sedimentos, adota-se como volume morto uma porcentagem do volume útil, que varia entre 10 e 20%. No presente estudo, adotou-se 20%. Desta forma, o volume total (útil + morto) resultou em **V_{tot} = 325.356 m^3**.

d) Altura da barragem necessária

Conforme a curva cota x volume, para o volume total acumulado de **325.356 m^3** a cota do nível d'água é de aproximadamente **681,43 m** (nível máximo normal). Isto significa que a barragem deverá ter a altura, até a cota da soleira do vertedor, de **9,43 m**.

O dimensionamento do vertedor para determinar a altura total da barragem não foi contemplado neste artigo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste artigo estudos de viabilidade técnica, visando o aproveitamento da água do Córrego Santa Maria do Amparo para o abastecimento do município de Amparo.

O estudo mostrou que haverá necessidade de construir um reservatório de regularização neste córrego para complementar a vazão de abastecimento no cenário futuro. No entanto, este reservatório terá capacidade para atender somente 31,6% da vazão de demanda, devido ao pequeno potencial hídrico que a bacia oferece.

O volume do reservatório necessário para regularização e a correspondente altura da barragem foram determinados pelo método da regionalização, que considera a intra-anualidade de recuperação do volume, ou seja, para a situação em que a duração crítica de estiagem não pode exceder seis meses.

Dessa forma, se a duração da estiagem for maior que seis meses, haverá grande risco de o reservatório esvaziar completamente e não recuperar o seu volume útil para o próximo período de estiagem.

Cabe comentar, por último, que o estudo elaborado em 2015 projetou o crescimento populacional de forma linear com base nos dados de 1996 a 2014. Como tendências de longo prazo (10 a 20 anos) são instáveis, validou-se o modelo comparando a estimativa de 2025 com os dados reais do IBGE (2026). Observou-se que a população real apresentou-se 10% menor que a prevista, diferença que deve se estender até o horizonte de projeto (2035). Certamente, essa diferença reduz a vazão de demanda futura, porém não impacta significativamente o dimensionamento do reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMPARO (São Paulo). In: **Wikipédia, a enciclopédia livre**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org› wiki › Amparo_(São_Paulo). Acesso em: 23 mai. 2026.

2. GOOGLE EARTH. **Região do município de Amparo**. Imagem de satélite. Disponível em: https://earth.google.com/web. Acesso em: 20 mai. 2015.

3. IBGE. **Amparo**: região sudeste do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 1 carta topográfica, color, Escala 1:50.000. Folha SF-23-Y-A-VI-1, MI 2738-1. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=6401. Acesso em: 20 mai. 2015.

4. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Rio de Janeiro: 2026. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/amparo.html. Acesso em: 21 jul. 2026.

5. LIAZI, A.; CONEJO, J.G.L.; PALOS, J.C.F & CINTRA, P.S. Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo. Revista Água e Energia Elétrica. Ano 5, nº 14, 1988.

6. Prefeitura Municipal de Amparo. https://www.amparo.sp.gov.br. Acesso em 20 mai. 2015.

7. SÃO PAULO (Estado). Agência de Águas do Estado de São Paulo. **Hidrologia**. São Paulo: SPÁguas, 2024. Disponível em: https://ph.spaguas.sp.gov.br/Fluviometricos. Acesso em 20 mai. 2015.

8. SÃO PAULO (Estado). Manual de cálculos das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. DAEE, 1994.

9. TSUTIYA, M.T. Abastecimento de Água. 2ª edição – São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, 2005. XIII – 643 p.