

## **MÉTODO PARA ESTIMAR O CUSTO PARA CONSTRUÇÃO DE NOVO MANANCIAL DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM RELEVO DE PLANALTO**

*Rossano Belladona<sup>1</sup>; Vinícios Turella Fiorini<sup>2</sup>; Volnei Dal Bosco<sup>3</sup>; Tiago De Vargas<sup>4</sup> & Luiz Alberto Vedana<sup>5</sup>*

**Resumo:** A segurança do abastecimento público depende da quantidade, qualidade e tarifa da água. Um sistema de abastecimento público é composto pela captação, pelo tratamento da água e a sua distribuição. O desafio enfrentado está em estimar o custo de capital para a implantação da primeira etapa: a captação em manancial superficial. Esse trabalho busca contribuir para preencher essa lacuna para municípios situados em relevo de planalto, regiões geomorfologicamente desprovidas de rios caudalosos. A abordagem metodológica pressupõe a necessidade de construção de barragem para regularizar a vazão dos pequenos córregos. São ainda consideradas três profundidades de formação dos lagos: 40, 50 e 60 metros. Os custos da estação de bombeamento de água bruta e da rede adutora que deverá aduzir água até a estação de tratamento também são estimados. O método é finalizado com a quantificação dos custos com desapropriação das áreas da barragem, dos lagos e suas respectivas Áreas de Preservação Permanente. O método foi aplicado na bacia hidrográfica do Arroio Sepultura, futuro manancial de abastecimento de Caxias do Sul, RS. Os resultados demonstraram que o barramento é a componente de maior custo, seguido pela rede adutora. Os custos estimados totais para viabilizar a captação de água no local estudado variam de 23,7 a 135,8 milhões de dólares, dependendo do tipo construtivo da barragem e da profundidade do lago formado. Esses valores evidenciam a necessidade de conservação dos recursos hídricos integrados ao sistema de abastecimento existente.

**Palavras-Chave** – Manancial; Custo; Abastecimento Público.

**Abstract:** The security of public water supply depends on the quantity, quality, and tariff. This system consists of the water intake, treatment, and distribution. The challenge lies in estimating the capital cost for implementing the first stage: water intake from surface source. This study aims to contribute to filling this gap for municipalities located in plateau regions, which lack large rivers. The methodological approach assumes the need for dam construction to regulate the flow of small streams. Additionally, three different lake depths are considered: 40, 50, and 60 meters. The costs of the raw water pumping station and the pipeline that will convey water to the treatment plant are also estimated. The method concludes with the quantification of land expropriation costs for the dam, reservoirs, and their respective buffer zone areas. The method was applied to the watershed of the Sepultura Creek, a future water supply source for the city of Caxias do Sul, southern Brazil. The results showed that the dam represents the highest-cost component, followed by the pipeline. The estimated total costs for enabling water intake at the study area range from 23.7 to 135.8 million dollars, depending on the dam's construction type and the reservoir depth. These findings highlight the need to conserve water resources already integrated into the existing supply system.

**Keywords** – Water source; Cost; Public water supply.

<sup>1</sup>) Pesquisador do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul; rbelladona101@gmail.com

<sup>2</sup>) Graduando em engenharia ambiental pela Universidade de Caxias do Sul; vtfiorini@ucs.br

<sup>3</sup>) Engenheiro agrônomo do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul; vdalbosco@samaecaxias.com.br

<sup>4</sup>) Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS; tiago.devargas@ufrgs.br

<sup>5</sup>) Professor da Universidade Federal de Sergipe (UFS); luizvedana@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

As preocupações sobre o futuro do abastecimento de água têm crescido não somente devido às mudanças climáticas e à crescente demanda por água causada pelo crescimento populacional (Alzraiee et al. 2024), mas também pela redução da qualidade dos mananciais em utilização e da quantidade de água bruta, fato que pode ser atribuído às mudanças no uso da terra induzidas pelo homem (Belladona et al. 2025b). Um sistema de abastecimento público de água é composto por um conjunto de unidades que engloba a captação, o tratamento da água e a sua distribuição (Belladona et al. 2024). Entretanto, a exploração de novos mananciais, quando existentes, exige investimentos que necessitam ser considerados como uma importante variável durante a tomada de decisão. Um dos desafios encontrado pelas empresas de saneamento é estimar o custo de capital para a implantação de novo manancial durante a fase de avaliação locacional do empreendimento, etapa que antecede a elaboração dos projetos básicos.

Buscando contribuir para preencher essa lacuna, este estudo apresenta uma metodologia para estimar o custo de capital para a construção de novo manancial para o abastecimento público de água em região de planalto. Os planaltos são unidades do relevo caracterizado por terrenos altos com a presença de morros e escarpas (Florenzano 2008), onde geralmente os cursos d'água são de pequenas dimensões que integram os trechos mais altos dos rios. Para verificar sua aplicabilidade, o método foi aplicado na bacia do Arroio Sepultura, que está localizada no município de Caxias do Sul, RS. Esta bacia está delimitada por lei municipal (Caxias do Sul 2005) como área de reserva hídrica para a cidade.

A formulação de um modelo único para estimar os custos relacionados à captação de água superficial depende de diversos parâmetros que são dependentes da conjuntura de cada local, das necessidades de uso e dos volumes que necessitam ser fornecidos. A abordagem metodológica considerada neste estudo pressupõe algumas premissas como, por exemplo, a necessidade de construção de barragem, pois as vazões do córrego principal necessitam ser regularizadas para suprir a necessidade da demanda de consumo urbana (Belladona et al. 2025a). Além disso, são consideradas três cotas de formação dos lagos: 40, 50 e 60 metros de altura na sua porção mais profunda. Diante das características geomorfológicas da área de estudo, faz-se necessária a quantificação dos custos para a construção da estação de bombeamento de água bruta (EBAB) e da rede adutora que deverá aduzir água até a estação de água tratada (ETA) existente, denominada ETA Morro Alegre. Portanto, o custo de construção de ETA não integra esse estudo. Finalmente, os custos com a desapropriação das áreas da barragem, dos lagos formados a montante e das suas respectivas Áreas de Preservação Permanente (APPs) também integram o método aqui proposto. O estudo hidrológico para a determinação das vazões regularizadas e as curvas de garantia foi realizado em estudo técnico específico, porém não integra o presente trabalho.

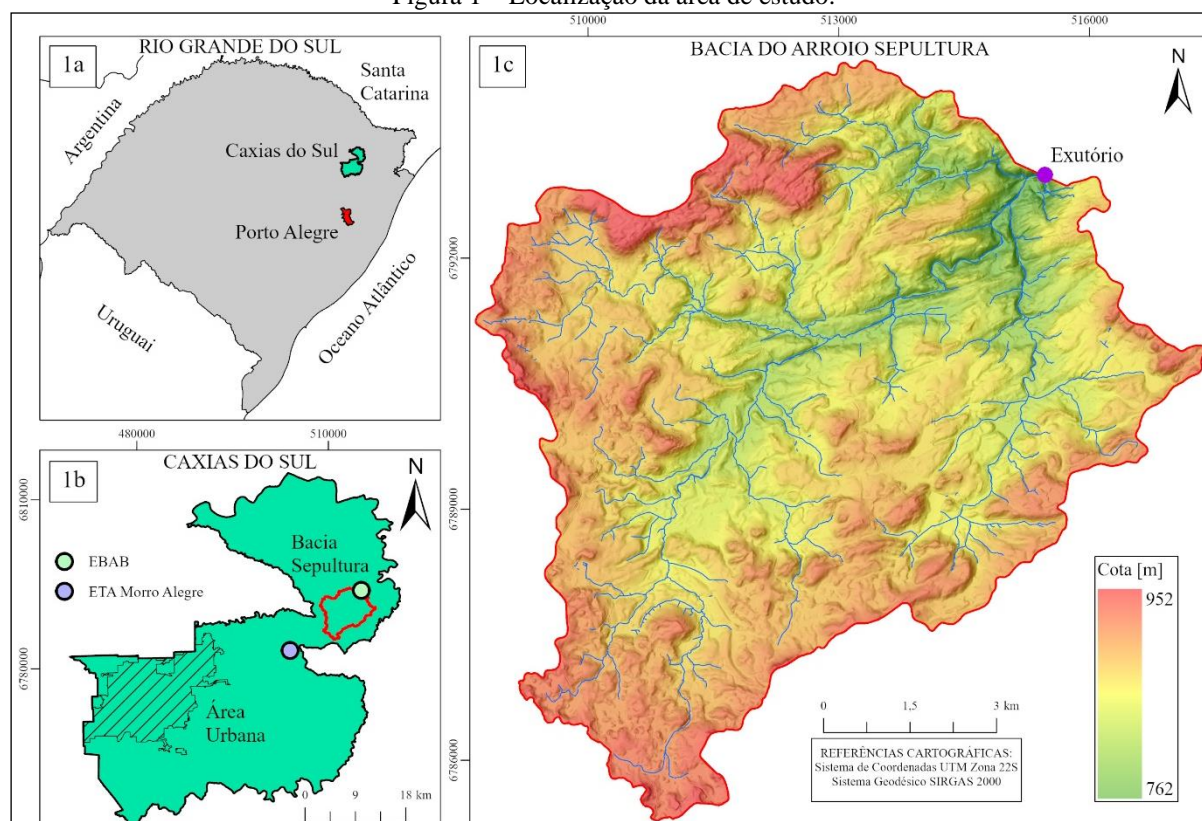
## 2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Caxias do Sul (Figura 1b) situa-se no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, na região do Planalto das Araucárias, nas Unidades Geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais e da Serra Geral (IBGE 1986). No município, as altitudes variam de 30 a 1.000 metros com relação ao nível médio dos mares, o que não permite a ocorrência de rios caudalosos. Com os sistemas frontais sendo responsáveis pela maior parte das precipitações (Rossato 2011), combinados com os efeitos do relevo de altitude, a distribuição espacial e temporal das chuvas é irregular (Belladona e De Vargas 2017), com variação anual entre 1.750 e 2.300 mm ao longo do município. Devido a essa combinação geomorfológica e climática, os 479.256 habitantes (IBGE 2024) dependem do

represamento dos pequenos córregos para garantir a regularização das vazões para o seu abastecimento.

A bacia hidrográfica do Arroio Sepultura (Figura 1c) tem uma área de 43,66 km<sup>2</sup> e o perímetro de 34,48 km. As suas cotas mais baixas são verificadas junto ao exutório, a 762 metros, e as mais altas são encontradas junto ao divisor de águas, a 952 metros, resultando em uma declividade de 27,94 m/km. Os usos e ocupação atuais do solo consistem em campo (67,25%), mata (15,75%), agricultura (16,26%), recursos hídricos (0,63%) e edificações (0,11%), evidenciando uma forte característica rural.

Figura 1 – Localização da área de estudo.

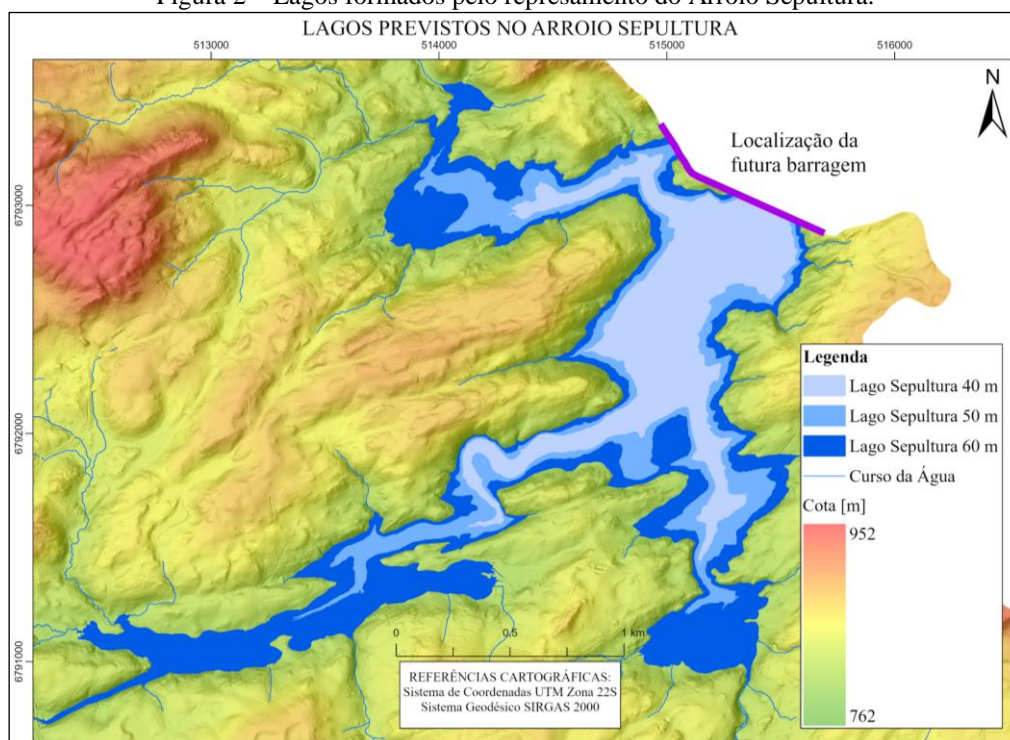


### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa foi a análise geoespacial da bacia hidrográfica do Arroio Sepultura com a utilização do Modelo Digital de Elevação (MDE), gerado pelo produto do *Light Detection And Ranging* (LiDAR) de 2021 obtido pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAEE) de Caxias do Sul. Levando em consideração as características geomorfológicas do entorno do local e o provável local de barramento do arroio, foram simuladas três cotas de alague (802, 812 e 822 metros), que delimitam três cenários potenciais de lagos (Figura 2).

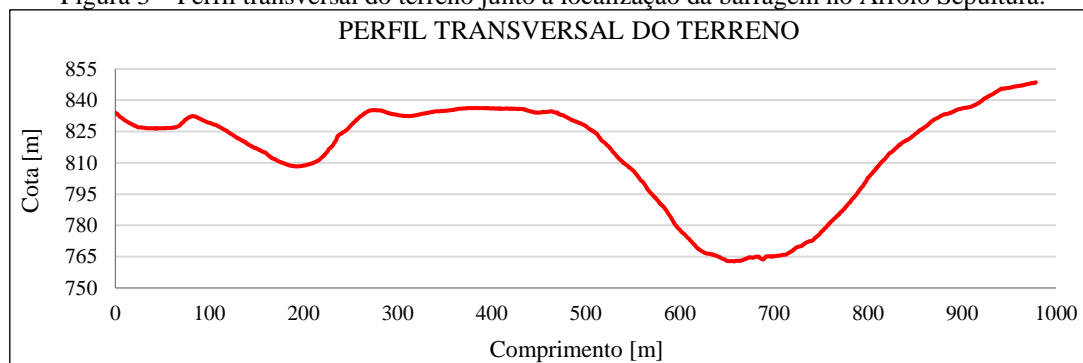


Figura 2 – Lagos formados pelo represamento do Arroio Sepultura.



Neste estudo, por não possuir informações sobre as vazões decamilenares da bacia, considerou-se que a barragem deveria garantir uma borda livre de cinco metros e que, devido a inexistência de sondagens geotécnicas, a sua fundação estaria a cinco metros abaixo da base do terreno original, assim originando alturas dos maciços de 50, 60 e 70 metros. A largura da crista das barragens, entretanto, está vinculada ao perfil transversal do terreno (Figura 3) onde se localiza o exutório da bacia.

Figura 3 – Perfil transversal do terreno junto a localização da barragem no Arroio Sepultura.



Para a quantificação dos valores do custo de capital das barragens em cada cota, foram considerados três tipos de material de construção: terra, concreto compactado a rolo (CCR) e concreto convencional vibrado (CCV). O custo da propriedade, em eventual desapropriação, foi considerado para todas as áreas de alague e respectivos 100 metros a partir da margem dos reservatórios, correspondendo às futuras APPs.

Por fim, os custos com a construção da EBAB e da tubulação adutora até a ETA Morro Alegre foram também estimados. A demanda ou vazão regularizada é expressa como uma porcentagem da vazão média, que não deve ser inferior a 50% desta vazão. Não se indica demandas inferiores a 50% da vazão média, pois para essa faixa de demanda um pequeno aumento no volume útil do reservatório teria como consequência um significativo aumento na demanda, sendo, portanto, economicamente recomendável que se eleve o volume do reservatório. Por outro lado, demandas superiores a 70% de vazão média estão em uma situação tal que para que ocorra um pequeno aumento na vazão regularizada é necessário um grande aumento do volume útil do reservatório, o que na maioria dos casos é antieconômico (Paiva and Paiva 2016).

A disponibilidade hídrica da bacia do Arroio Sepultura foi determinada por meio da regularização da vazão, conforme o método da simulação da operação (Belladonna et al. 2025a). A vazão máxima a ser ofertada foi considerada a de 70% de vazão média, resultando em  $609 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , que deverá ser a vazão de demanda.

### 3.1 Estimativa do Custo de Barragem

Para a estimativa do custo das barragens, foram considerados os três tipos de arranjo construtivo mais recorrentes (ANA 2024): barragem de terra, CCR e CCV. Os custos estimados para esses tipos construtivo seguem as Equações 1, 2 e 3, adaptadas de Silveira e Cruz (2005), onde foram feitos os ajustes e correções inflacionários até o ano de 2024. A Equação 1 corresponde aos custos para a construção de barragem de terra, enquanto que as Equações 2 e 3, referem-se às barragens de CCR e CCV, respectivamente.

$$C = 0,8642 \times H_{med}^{1,120} \quad (1)$$

$$C = 0,2035 \times H_{med}^{1,655} \quad (2)$$

$$C = 0,2735 \times H_{med}^{1,703} \quad (3)$$

Onde, C representa o custo (em milhares de dólares americanos) por metro de crista e  $H_{med}$  é a altura média do maciço (em metros).

A altura média foi obtida calculando-se a média aritmética das alturas medidas a partir do terreno até a cota de alagamento, acrescida de 10 metros (5 de borda livre e 5 abaixo do nível do terreno). As cotas do terreno foram obtidas através do LiDAR. Para o cálculo da  $H_{med}$ , essas cotas foram modeladas com a aplicação da ferramenta *Profile Tool* do Software QGIS para gerar o perfil transversal do terreno (Figura 3) ao longo da localização prevista para a barragem.

### 3.2 Estimativa do Custo da Estação de Bombeamento da Água Bruta (EBAB)

Para estimar o custo da EBAB, foi utilizada como referência a metodologia proposta por Marzouk e Omar (2011), com os valores corrigidos para o ano de 2024. Os autores empregaram a técnica de agrupamento fuzzy, que identificou os principais componentes do custo por meio de regressão passo a passo, sendo os dados calibrados e, em seguida, submetidos a uma análise de sensibilidade. A Tabela 1 resume os valores estimados pelo método e demonstra os custos de EBABs para distintas capacidades de recalque.

Tabela 1 – Valores estimados previstos para EBABs de diferentes capacidades.

População (x1000)	Capacidade [q] (L·s <sup>-1</sup> )	Custo 2024 [C] (Milhões USD)
65	1500	1,84
179	2400	4,85
303	4167	5,27
525	900	3,11
750	4167	7,24
8	602	1,66
303	4167	3,06
304	2100	3,17
242	160	1,06

Fonte: Adaptado de Marzouk e Omar (2011).

A estimativa do custo da EBAB foi realizada a partir da média das capacidades e dos custos apresentados na Tabela 1, conforme Equação 4.

$$C_{EBAB} = q_{dem} \times \frac{\bar{C}}{\bar{q}} \quad (4)$$

Onde,  $C_{EBAB}$  é a estimativa do custo da EBAB [milhões de USD],  $q_{dem}$  é a vazão demandada [609 L·s<sup>-1</sup>],  $\bar{C}$  corresponde à média do custo, conforme Tabela 1 e  $\bar{q}$  representa a média das capacidades de bombeamento, conforme Tabela 1.

### 3.3 Estimativa do Custo da Rede Adutora

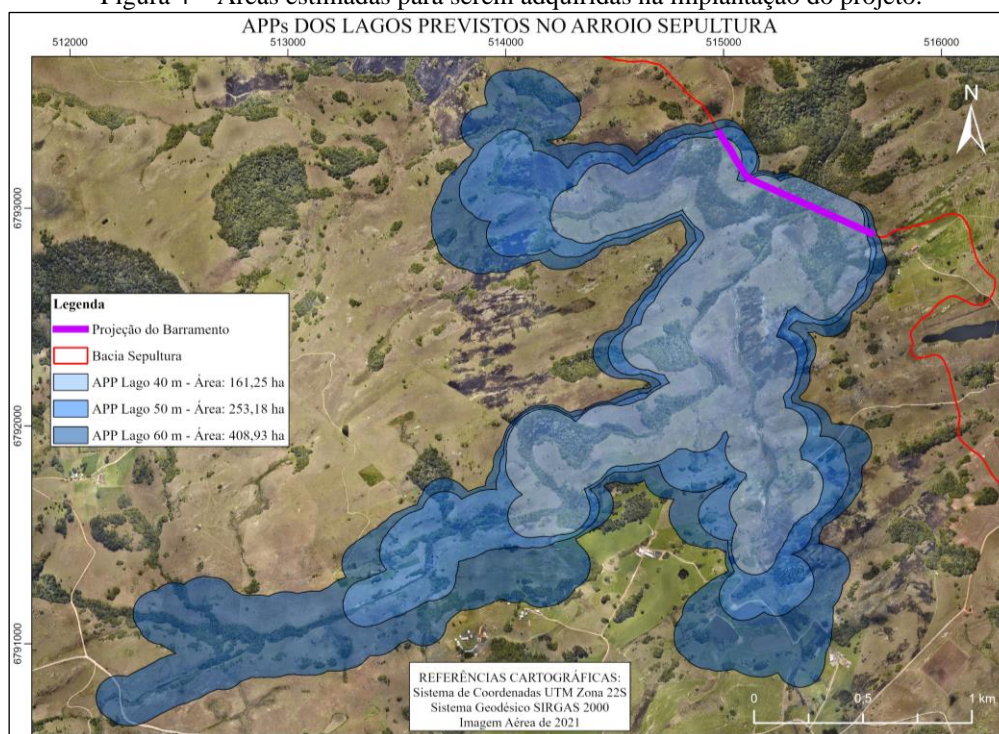
Para esta estimativa, foi considerada a distância de 22,7 km existente entre a EBAB e a ETA Morro Alegre (Figura 1b). O traçado da adutora foi planejado sob vias existentes. O dimensionamento da rede foi realizado utilizando a equação de Hazen-Williams. A carga hidráulica a ser vencida pelo bombeamento é de 171 metros com uma perda de carga unitária de  $7,5 \times 10^{-3}$  m/m. Essas condicionantes exigem uma tubulação de diâmetro nominal de 700 milímetros (DN700). Para efeitos de estimativa do custo, foi utilizada como referência uma tubulação de ferro fundido dúctil revestida internamente com argamassa de cimento a um valor R\$ 1.645,46 por metro linear (EMBASA 2017), sendo esse valor corrigido para o ano de 2024 (R\$ 2.979,76).

### 3.4 Estimativa do Custo de Desapropriação

A estimativa do custo de desapropriação tem como premissa de que toda área alagada, juntamente com sua respectiva APP (Figura 4), serão as áreas mínimas a serem adquiridas. Em Caxias do Sul, é exigido que os reservatórios públicos de acumulação possuam uma APP de 100 metros (Caxias do Sul 2005). Para obter a poligonal dos lagos para as três cotas definidas, foi usada a ferramenta *Surface Volume* do software ArcGIS Pro sobre o MDE obtido do LiDAR e a ferramenta *Buffer* para gerar os respectivos contornos de 100 metros. O valor de referência utilizado para desapropriação foi de R\$ 33.250,00 por hectare (Caxias do Sul 2024), abrangendo as áreas de boa aptidão para o cultivo agrícola.



Figura 4 – Áreas estimadas para serem adquiridas na implantação do projeto.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No caso do futuro manancial do Arroio Sepultura, em Caxias do Sul, os barramentos construídos em concreto convencional podem ser até 61% mais caros que as barragens em concreto compactado a rolo e 188% mais do que aquelas construídas de terra. Os barramentos em CCR, por sua vez, podem superar em 79% os custos dos barramentos de terra. Portanto, a obra pode ser profundamente impactada por essa diferença, que deve ser considerada nas análises preliminares do empreendimento, pois próximo ao local da obra pode não existir material argiloso que atenda às especificações geotécnicas para barramentos de terra.

O custo estimado de 0,94 milhões de dólares para a construção da EBAB não varia em função do tipo da barragem, nem do tamanho dos lagos avaliados. Esse valor é inalterado porque a condição atribuída à vazão máxima a ser ofertada de  $609 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  permanece constante independentemente do arranjo construtivo ou da altura considerada da barragem. Situação similar é a do custo com a adutora. Como a vazão, as características geomorfológicas da bacia e as cotas topográficas entre a EBAB e a ETA Morro Alegre não são alteradas pela configuração da obra, a adutora DN700 gera um custo estimado de 11,60 milhões de dólares.

Por outro lado, as áreas a serem desapropriadas são influenciadas pela altura do barramento e pela respectiva altura do lago que deverá ser formado. Os lagos formados pelos barramentos considerados terão suas cotas máximas em 802, 812 e 822 metros. Cada uma dessas cotas implica no alagamento de áreas diferentes e respectivo aumento das suas APPs. Os custos de desapropriação aumentam com a elevação do nível do lago, resultando em uma variação entre 0,92 a 2,33 milhões de dólares.

O impacto financeiro da obra pode ser melhor avaliado buscando alternativas locais para a construção dos barramentos. No caso proposto, foi avaliada uma única seção transversal do Arroio Sepultura porque ela corresponde ao local do exutório da bacia designado por lei municipal como

reserva hídrica para Caxias do Sul (Caxias do Sul 2005). Contudo, essa metodologia pode ser aplicada para avaliar os custos com a implantação do novo manancial no mesmo arroio, considerando seções transversais a montante ou, até mesmo, a jusante. Cada uma dessas alternativas locais deve ser precedida de estudo hidrológico para determinação da vazão que poder ser fornecida pela respectiva bacia, pois cada reposicionamento da seção transversal implica na formação de nova bacia hidrográfica, que pode representar significativa variação de área de contribuição.

Os custos estimados totais para a captação de água no local estudado para o abastecimento da cidade de Caxias do Sul variam de 23,70 a 135,87 milhões de dólares, dependendo do tipo construtivo, da altura do barramento e da área a ser desapropriada. A Tabela 2 resume os resultados dos custos parciais e totais estimados.

Tabela 2 – Estimativa dos custos para implantação de captação de água na bacia do Arroio Sepultura.

Tipos de barramento	Terra			CCR			CCV		
	Altura barragem [m]	50	60	70	50	60	70	50	60
Barragem	10,24	18,24	41,96	13,08	27,08	75,06	20,47	42,93	121,00
EBAB	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Adutora	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60
Desapropriação	0,92	1,44	2,33	0,92	1,44	2,33	0,92	1,44	2,33
Total	23,70	32,22	56,83	26,54	41,06	89,93	33,93	56,91	135,87

Valores expressos em milhões de dólares.

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma metodologia para a avaliação preliminar dos custos de uma das principais etapas do abastecimento público em região de planalto: a captação no manancial. A composição do custo estimado total corresponde a construção de barramento sobre o córrego, da estação de bombeamento da água bruta, da rede adutora da água ligando a EBAB até a ETA e os custos relativos às desapropriações de áreas. A aplicação da metodologia permitiu a obtenção de três principais conclusões:

1. A construção de um novo local de captação de água para o abastecimento público, com vazão de 609 L·s<sup>-1</sup> na região do Planalto das Araucárias, pode superar 135 milhões de dólares.
2. O tipo construtivo da barragem apresenta o maior impacto financeiro sobre o custo final estimado. Essa condição ressalta a importância de um estudo criterioso sobre a disponibilidade de materiais de construção próximos ao local do empreendimento. A presença de material argiloso para a construção da barragem pode reduzir o custo final em até 58,1%.
3. Os elevados custos de implantação de uma nova captação evidenciam a necessidade de conservação das bacias hidrográficas e dos recursos hídricos já integrados ao sistema de abastecimento. Uma gestão eficiente dos recursos hídricos existentes permite postergar ao máximo a necessidade de investimentos em novos mananciais.

A metodologia proposta apresenta uma limitação, pois não considera os custos sociais e ambientais. Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se incorporar à estimativa preliminar custos como o deslocamento de moradores tradicionais das áreas desapropriadas, o custo de oportunidade associado às obras da nova captação e a perda do patrimônio cultural local.



## 6. REFERÊNCIAS

- Alzraiee, A., R. Niswonger, C. Luukkonen, J. Larsen, D. Martin, D. Herbert, C. Buchwald, C. Dieter, L. Miller, J. Stewart, N. Houston, S. Paulinski, and K. Valseth. 2024. "Next generation public supply water withdrawal estimation for the conterminous United States using machine learning and operational frameworks." *Water Resour. Res.*, 60 (7): 6. <https://doi.org/10.1029/2023WR036632>.
- ANA, (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). 2024. *Relatório de segurança de barragens 2023*. Brasília, Brazil.
- Belladonna, R., V. T. Fiorini, V. Dal Bosco, T. De Vargas, and L. A. Vedana. 2024. "Estimativa do custo da captação de água para o abastecimento público em Caxias do Sul, RS." *3º Congr. Int. Eng. Ambient.*, Volume 1A, 142-144. Porto Alegre, Brazil.
- Belladonna, R., V. T. Fiorini, V. Dal Bosco, T. De Vargas, and L. A. Vedana. 2025a. "Aplicação do método da simulação da operação para determinação de curvas de regularização de um futuro reservatório de abastecimento." *Rev. Bras. Geogr. Física*, No prelo.
- Belladonna, R., G. F. Marques, and T. De Vargas. 2025b. "Determining the economic benefit of watershed conservation for urban water supply based on scarcity rent for water and consumer surplus." *Water Resour. Manag.*, 39 (2): 795–808. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03991-w>.
- Belladonna, R., and T. De Vargas. 2017. "Space-time precipitation distribution and the relevance of the orography of Caxias do Sul, Brazil." *Rev. Bras. Cartogr.*, 69/3: 607–620. <https://doi.org/https://doi.org/10.14393/rbcv69n3-44353>.
- Caxias do Sul. 2005. *Lei Complementar nº 246, de 6 de dezembro de 2005*. 48. Brazil: Caxias do Sul.
- Caxias do Sul. 2024. "Valor de terra nua para Caxias do Sul, RS." Accessed February 18, 2025. <https://caxias.rs.gov.br/servicos/receita/valor-da-terra-nua>.
- EMBASA, (Empresa Baiana de Águas e Saneamento). 2017. "Tabela de preços para materiais de expansão."
- Florenzano, T. G. 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo, Brazil: Oficina de Textos.
- IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1986. *Folha SH.22 Porto Alegre: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, Brazil.
- IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2024. "Panorama." *Censo*. Accessed February 13, 2025. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/caxias-do-sul/panorama>.
- Marzouk, M., and M. Omar. 2011. "Conceptual cost estimation of pump stations projects using fuzzy clustering." *28th Int. Symp. Autom. Robot. Constr.* Seoul, Korea.
- Paiva, J. B. D. de, and E. M. C. D. de Paiva. 2016. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre, Brazil: ABRH.
- Rossato, M. S. 2011. "Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade , tendências e tipologia." Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Silveira, G. L. da, and J. C. Cruz. 2005. *Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica*. Santa Maria, Brazil: UFSM.