

# Avaliação de sistemas produtores de água do Agreste pernambucano por meio de modelagem hidráulica



## *Evaluation of supply systems in the Agreste of Pernambuco by hydraulic modeling*

- **Data de entrada:**  
18/07/2022
- **Data de aprovação:**  
15/05/2023

Sidrack Felipe da Silva Júnior<sup>1\*</sup> | Saulo de Tarso Marques Bezerra<sup>1</sup> | Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira<sup>1</sup> | José Almir Cirilo<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.025>

### ORCID ID

Silva Júnior SF  <https://orcid.org/0000-0002-8057-8843>  
Bezerra STM  <https://orcid.org/0000-0002-5815-5908>

Oliveira AAA  <https://orcid.org/0000-0002-2002-3766>  
Cirilo JA  <https://orcid.org/0000-0002-8672-0898>

### Resumo

Os sistemas de abastecimento de água têm como principal finalidade fornecer esse recurso com qualidade e quantidade compatível com a demanda dos consumidores. Este trabalho avalia os sistemas produtores de água que abastecem o Agreste pernambucano, através de modelagem hidráulica. Após a construção e calibração dos modelos, foi realizada uma análise de sensibilidade do escoamento em relação ao comportamento do coeficiente C de Hazen-Williams. Além disso, foi verificada a capacidade dos sistemas adutores em operação para atender a futura demanda da cidade de Caruaru (PE). Nesse sentido, constatou-se que o Sistema Adutor Jucazinho não consegue atender a demanda da cidade. O Sistema Adutor Prata é capaz de atender a demanda atual, porém em relação às demandas futuras teria dificuldade em atendê-las. Verificou-se que, caso o Sistema Prata operasse em conjunto com o Sistema Adutor Jucazinho, a combinação seria suficiente para atender a necessidade futura de Caruaru. Por fim, é possível dizer que os modelos produzidos no software correspondem, em grau satisfatório, à realidade encontrada nos sistemas reais.

**Palavras-chave:** Sistemas adutores. Modelagem hidráulica. EPANET. Calibração. Demanda de água.

### Abstract

*The main purpose of water supply systems is to provide this resource with quality and quantity compatible with consumer demand. This work evaluates the water production systems that supply the Agreste of Pernambuco by hydraulic modeling. After building and calibrating the models, a sensitivity analysis of the flow was performed regarding the behavior of the Hazen-Williams C coefficient. In addition, the capacity of the pipeline systems in operation to meet the future demand of the city of Caruaru (PE) was verified. In this sense, it was found that the Jucazinho Adductor System cannot meet the demand of the city by itself. The Prata Adductor System can meet the current demand; however, regarding future demands, it would have difficulty meeting them. It was found that, if the Prata System operated together with the Jucazinho Adductor System, this combination would be sufficient to meet the future demand of Caruaru. Finally, it can be said that the models produced in the software correspond, to a satisfactory degree, to the reality found in actual systems.*

**Keywords:** Pipeline systems. Hydraulic modeling. EPANET. Calibration. Water demand.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco – Caruaru – Pernambuco – Brasil

\* **Autor correspondente:** [sidrackfelipe@gmail.com](mailto:sidrackfelipe@gmail.com).

## 1 INTRODUÇÃO

A água, essencial ao surgimento e à manutenção da vida em nosso planeta, é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano, apresentando valores econômicos, sociais e culturais por essa razão (Brasil, 2009, p. 14). Com o aumento populacional, o desenvolvimento econômico e o processo de urbanização nas últimas décadas, a demanda e o uso do recurso aumentaram significativamente. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (Brasil, 2019), a demanda por uso de água no país é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas. A previsão é de que até 2030 isso aumente mais 26%.

O intenso processo de urbanização tem exigido grandes esforços no âmbito técnico, organizacional e financeiro das empresas de saneamento, principalmente devido ao conseqüente aumento das demandas de água para abastecimento (Camboim; Silva; Gomes, 2014). Com isso, esses sistemas de abastecimento estão cada vez maiores, mais complexos e com mais exigências sobre o nível da confiabilidade de seu funcionamento.

Dessa maneira, é fundamental para as concessionárias de água do país o desenvolvimento de ferramentas, de estratégias e o uso de tecnologias direcionadas para a gestão eficiente dos sistemas existentes. Tudo isso pode ser utilizado ao se fazer uma avaliação hidráulica (a partir de modelos hidráulicos) dos sistemas de abastecimento de água. Nos últimos anos surgiram ferramentas computacionais que têm sido aplicadas cada vez mais para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão, com o propósito de melhorar a eficiência da operação (Gomes, 2009). Essas ferramentas auxiliam nas estratégias e decisões a serem tomadas, pois permitem ao profissional simular diversas situações operacionais de modo a resultar na melhor tomada decisão, conseqüentemente melhorando a qualidade do serviço e não se onera o sistema nem os consumidores.

O desenvolvimento de softwares comerciais para dimensionamento e análise de sistemas de abastecimento de água iniciou no fim da década de 1960 e começo da década de 1970. O uso desses modelos computacionais possibilitou que as simulações dos sistemas hidráulicos ficassem mais assertivas, mais rápidas e mais confiáveis. A modelagem representa um exemplar realista do sistema físico existente, o que possibilita a realização de avaliações do comportamento hidráulico sem a necessidade de testes no sistema real. Essa é a forma mais exata e econômica de simular o comportamento de um sistema físico real hoje em dia, já que permite resolver um conjunto de sistemas equacionais de continuidade e conservação energética e forma rápida, as quais são utilizadas na formulação das condições de equilíbrio de sistemas de distribuição de água. Esses processos são extremamente complexos e onerosos tanto do ponto de vista temporal como econômico para as empresas quando realizados diretamente na planta.

De acordo com Kara *et al.* (2016), modelos hidráulicos são ferramentas eficientes de apoio à decisão para o desenvolvimento de vários cenários de gerenciamento e para melhorar tanto a eficiência quanto a confiabilidade das redes existentes, projetando novos sistemas. Segundo Silva (2014), o uso de simuladores hidráulicos se apresenta como alternativa insubstituível nos sistemas de apoio à gestão em curto prazo, além de possibilitarem o planejamento de longo prazo quando direcionado para o controle de perdas e para a programação da reabilitação de redes de distribuição de água. O uso desses simuladores também pode auxiliar em estudos de combate a incêndio, suporte à setorização, operação e expansão do sistema, otimização dos conjuntos elevatórios, estudo de demanda (sazonalidade) e controle da qualidade de água.

No mercado existem alguns softwares de simulação hidráulica, como *Hidrocad*, *Watercad*, *Strumap*, *SynerGee* e *INSSA*. Mas um dos mais utilizados para isso é o EPANET, pois é gratuito, de domínio

público, compatível com outras ferramentas computacionais e amplamente aceito pela comunidade internacional. De acordo com Biscos *et al.* (2003), a maioria dos sistemas de distribuição de água existentes no mundo está modelado no EPANET. Ele permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade de água em um sistema de distribuição.

Nos últimos anos, diversos estudos direcionados à modelagem de sistemas de distribuição de água estão sendo publicados nos principais periódicos do mundo (por exemplo: Agunwamba; Ekwule; Nnaji, 2018; Berrezal; Abdelbaki; Benabdelkrim, 2022; Chatzivasili; Papadimitriou; Kanakoudis, 2019; Giustolisi, 2016; Kara *et al.*, 2016; Mabrok *et al.*, 2022; Mekonnen, 2022). Diante do exposto, este estudo tem como objetivo geral a avaliação dos sistemas produtores de água que abastecem o Agreste pernambucano por meio de modelagem hidráulica.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS

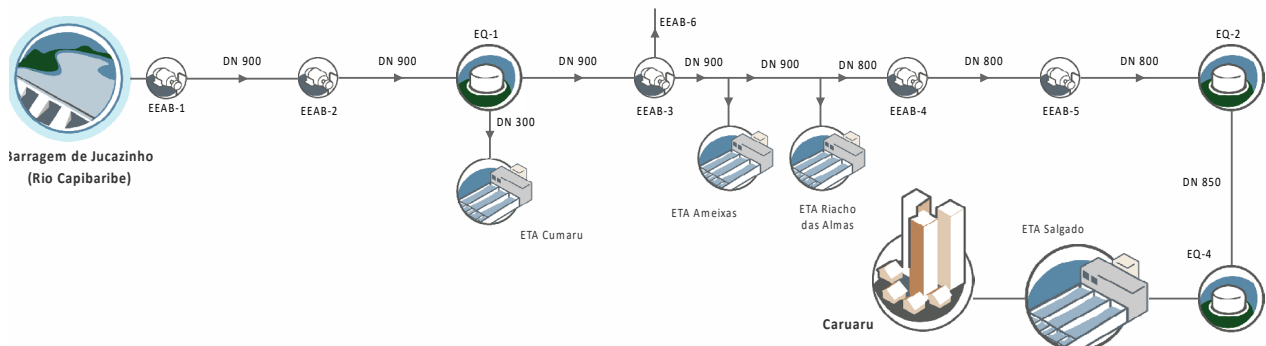
O estado de Pernambuco apresenta o balanço hídrico mais desfavorável do país, e o Agreste pernambucano possui o pior desempenho de todo o estado. Os sistemas de abastecimento de água existentes em Pernambuco são compostos por aproximadamente 200 barragens de acumulação, 250 poços profundos e 4.500 km de adutoras, sendo

que no caso do Agreste pernambucano há cerca de 60 barragens para abastecimento de água urbano.

No sentido de compreender e conhecer melhor o comportamento dos principais sistemas adutores responsáveis pelo abastecimento da região e o seu controle operacional, apresenta-se a descrição dos elementos desses, principalmente no que se refere às infraestruturas que são representadas nos modelos hidráulicos desenvolvidos.

### 2.1 Sistema Adutor de Jucazinho (Tramos Norte e Sul)

A barragem e o Sistema Adutor de Jucazinho (SAJ) foram construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em parceria com o Governo do Estado de Pernambuco. Construída no município de Surubim, com inícios das obras em 1996, a barragem é o terceiro maior reservatório de Pernambuco e apresenta capacidade para armazenagem de cerca de 200 milhões de m<sup>3</sup>. O SAJ é responsável, atualmente, pela produção (captação e tratamento) de aproximadamente 1.000 L/s, sendo 690 L/s de água bruta e 310 L/s de água tratada. O sistema parte da Barragem de Jucazinho e é constituído por duas adutoras: o Tramo Norte e o Tramo Sul, que juntas possuem um conjunto de oito estações elevatórias e uma estação de tratamento de água (ETA).



**Figura 1** – Esquema do Sistema Produtor de Jucazinho - Tramo Sul.

O Tramo Sul (Figura 1) é responsável pela adução de água bruta para: ETA Cumaru, que abastece as cidades de Cumaru e Passira; ETA Ameixas, que abastece o distrito do mesmo nome; ETA Bezerras, que atende as cidades de Bezerras e Gravatá; ETA Riacho das Almas, que atende a própria cidade; e as ETA Salgado e Petrópolis, que atendem a cidade de Caruaru. O sistema tem cerca de 56 km de adutora, nos quais cerca de 39 km são em regime

de recalque e o restante com escoamento por gravidade.

O Tramo Norte (Figura 2) abastece as cidades de Surubim, Salgadinho, Casinhas, Santa Maria do Cambucá, Vertentes, Vertente do Lério, Frei Miguelinho e Toritama. Este possui cerca de 100 km em regime de recalque. Os diâmetros das tubulações estão compreendidos entre o DN 100 e DN 1000.

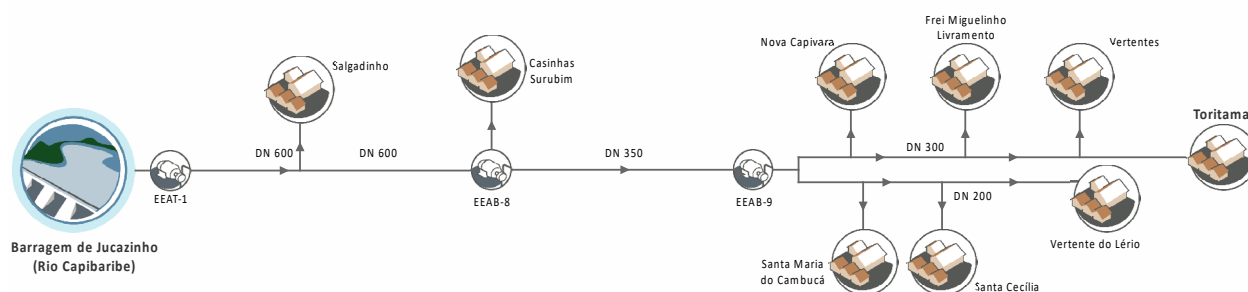


Figura 2 – Esquema do Sistema Produtor de Jucazinho - Tramo Norte.

## 2.2 Sistema Adutor Prata

A barragem do Rio Prata foi construída em 1998 com o objetivo de complementar o abastecimento público de água na cidade de Caruaru. Construída no município de Bonito, Agreste pernambucano, o reservatório pode armazenar até 42 milhões de m<sup>3</sup>. A capacidade de produção do sistema é

de, aproximadamente, 1 m<sup>3</sup>/s. A captação é feita na barragem por meio de uma estação elevatória. O sistema possui cerca de 30 km de extensão e se estende até as ETA Salgado e Petrópolis, em Caruaru. Possui três estações elevatórias e algumas derivações ao longo da adutora para atendimento de pequenas localidades.

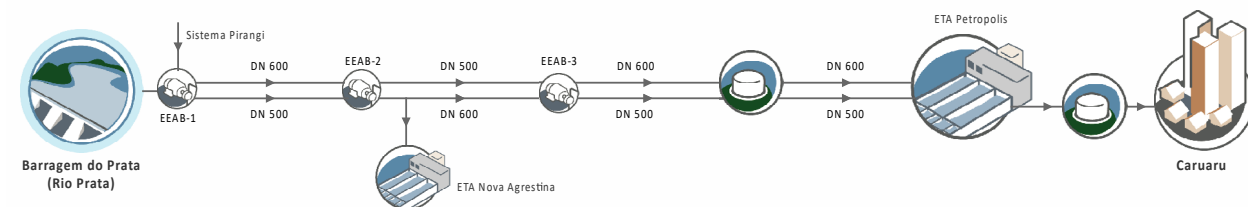


Figura 3 – Esquema do Sistema Adutor Prata.

O sistema (Figura 3) é composto por duas linhas adutoras (DN 500 em aço e DN 600 em ferro dúctil) em paralelo, denominadas Prata e Camevô (respectivamente) e situadas às margens da PE-120 e BR-104, que vão desde a Estação Elevatória de Água Bruta 1 (EEAB-1) na Barragem do Prata até as ETA Petrópolis e Salgado, em Caruaru (PE), além das derivações para atender a ETA Nova Agrestina. Esta possui capacidade nominal de 100 L/s e é responsável pelo atendimento das cidades de Agrestina, Altinho, Ibirajuba e Cachoeirinha, bem como o atendimento de localidades rurais e distritos. O sistema possui três estações elevatórias compostas por três conjuntos motor-bomba. A adutora possui cerca de 68 km, dos quais aproximadamente 56 km são em regime de recalque e o restante em regime gravitacional.

### 2.3 Sistema Adutor Alto do Capibaribe

O Sistema Adutor Alto do Capibaribe (Figura 4), que captará água do Açude Epitácio Pessoa, no território da Paraíba, será contemplada com a implantação das adutoras na primeira etapa, iniciando com a captação, e tendo 51 km de extensão até a cidade de Santa Cruz do Capibaribe, onde será interligada à Adutora do Agreste e à Adutora de Jucazinho, o que permitirá que a água chegue às cidades de Toritama, Vertentes, Frei Miguelinho, Santa Maria do Cambucá e Vertente

do Lério. Além disso, serão implantados trechos complementares para o atendimento às cidades de Jataúba (16 km) e Taquaritinga do Norte (5 km).

O sistema adutor será composto por um trecho em recalque (da estação elevatória ao *Standpipe* 1) e trechos de gravidade, ligando o *Standpipe* 1 (SP1) aos pontos de entrega nas ETA existentes. Estes são: ETA Santa Cruz do Capibaribe, ETA Poço Fundo (Jataúba), ETA Mateus Vieira (Taquaritinga do Norte), e ETA Toritama (Toritama, Frei Miguelinho, Santa Maria do Cambucá, Vertente do Lério e Vertentes). Os dados utilizados para a modelagem do adutor foram retirados do projeto, uma vez que o sistema ainda não se encontra em operação.

O Sistema Adutor do Alto Capibaribe possui cerca de 93 km de adutora, dos quais aproximadamente 29 km são em regime de recalque e o restante em regime gravitacional. Os diâmetros das tubulações da adutora estão entre DN 200 e DN 700.

As estações elevatórias que integram o sistema são responsáveis pelo transporte de água bruta e são munidas de duas estações elevatórias, a primeira referente à captação (que ocorre por um canal de aproximação, através de bombas anfíbias instaladas diretamente no canal), e a segunda uma estação elevatória de percurso.

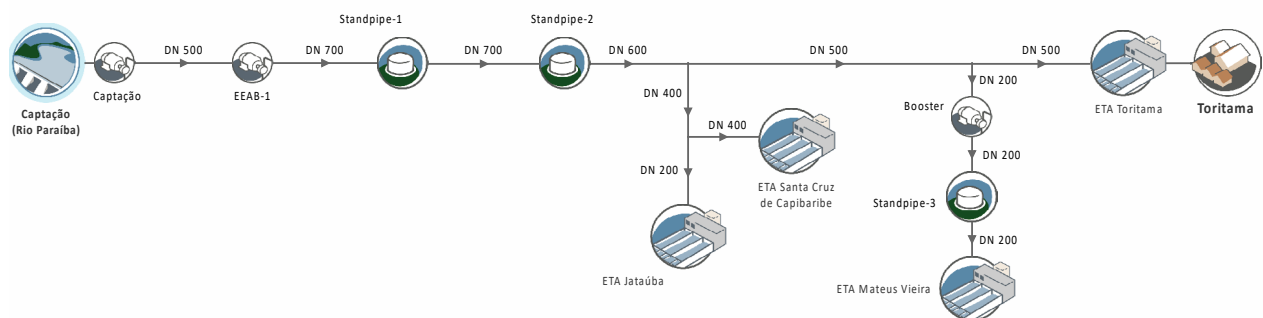


Figura 4 – Esquema do Sistema Adutor Alto do Capibaribe.

## 2.4 Sistema Adutor Serro Azul

O Sistema Adutor de Serro Azul (Figura 5) terá sua captação instalada a montante da válvula dispersora da Barragem de Serro Azul, localizada no município de Palmares (PE), a cerca de 157 m acima do nível do mar. Partindo da tomada d'água, a adutora seguirá uma extensão de aproximadamente 58 km, passando pela zona rural das cidades de Bonito, Barra de Guabiraba, Camocim de São Félix e Bezerras, até alcançar as margens

da BR-232, na qual será interligada à Adutora do Agreste. O sistema adutor possui 37 km em regime de recalque, e os demais são em regime gravitacional. Os diâmetros das tubulações da adutora estão entre DN 700 e DN 800. O sistema possui quatro estações elevatórias, com quatro conjuntos motor-bombas. Os dados utilizados na modelagem desse adutor foram retirados de projeto, já que o sistema ainda não se encontra em operação.

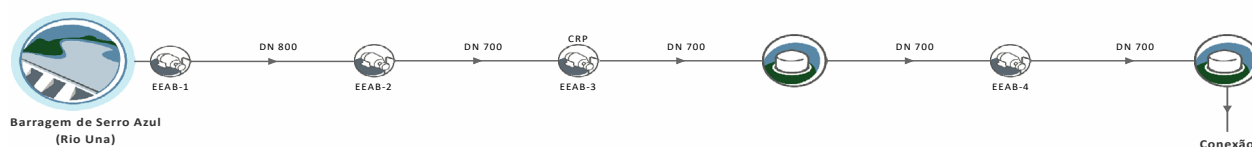


Figura 5 – Esquema do Sistema Adutor Serro Azul.

## 3 CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

O processo de modelagem envolveu desde a captação dos dados mais precisos e próximos à realidade possíveis até as simulações dos modelos hidráulicos. Nessa pesquisa, foram construídos modelos com o objetivo principal de os tornar uma representação fidedigna quanto ao comportamento hidráulico dos sistemas reais estudados.

Essa construção necessitou das seguintes informações: topologia, geometria, altimetria e características da infraestrutura física que influenciam o comportamento hidráulico, tais como tubulações, materiais, válvulas, reservatórios e bombas.

Para atingir os objetivos propostos, as seguintes etapas metodológicas serão executadas: levantamento de dados, tratamento dos dados obtidos, construção dos modelos hidráulicos, calibração e exploração dos modelos.

### 3.1 Levantamento dos dados

As informações necessárias à construção do modelo foram obtidas a partir do banco de dados da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e por meio de visitas aos sistemas adutores. Os dados obtidos que serviram de entrada no modelo hidráulico foram os comprimentos, diâmetros e materiais dos trechos, as cotas topográficas dos nós e as demandas dos centros de consumo. As variáveis de saída do modelo foram as vazões de cada trecho da linha principal dos sistemas adutores.

O processo *in loco* teve como finalidade a busca de informações acerca da cota topográfica das estações elevatórias e reservatórios, da quantidade de conjuntos motor-bomba em funcionamento em cada estação elevatória, do tipo e uso das válvulas, das medições pitométricas e levantamento das

curvas das bombas, das características geométricas dos sistemas, e das medições de vazões e pressão. Essas visitas foram imprescindíveis, pois o conhecimento da realidade local possibilitou uma adequada representação computacional dos sistemas estudados.

### 3.2 Construção dos modelos hidráulicos

Os modelos hidráulicos foram construídos com o auxílio do simulador hidráulico EPANET 2.0. Os projetos dos sistemas estudados foram disponibilizados pela COMPESA em formato “.DWG” (*AutoCad*). Para colocá-los em formato “.NET”, extensão reconhecida pelo simulador, foi necessário converter os arquivos com auxílio de um outro programa, EpaCAD. Como o modelo resultante da importação da geometria da rede somente contém a descrição geométrica do sistema, traçado das adutoras, foi necessário inserir manualmente os dados levantados ante-

riormente. Desse modo, informações como cotas topográficas, quantidade de conjuntos motobomba, válvulas, reservatórios, diâmetros e comprimentos das adutoras devem ser inseridos manualmente após a geometria do sistema estar representada no simulador hidráulico.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Modelagem hidráulica

Diante da construção do modelo hidráulico e de sua respectiva calibração, a própria modelagem já se mostra um resultado para o referido trabalho. As Figuras 6 a 10 apresentam os modelos do Sistema Adutor de Jucazinho, Sistema Adutor Prata, Sistema Adutor Serro Azul, e do Sistema Adutor Alto Capibaribe, respectivamente. Esses resultados foram obtidos após sucessivas simulações hidráulicas e diversos ajustes nos sistemas, de modo que os estão compatíveis com os sistemas reais.

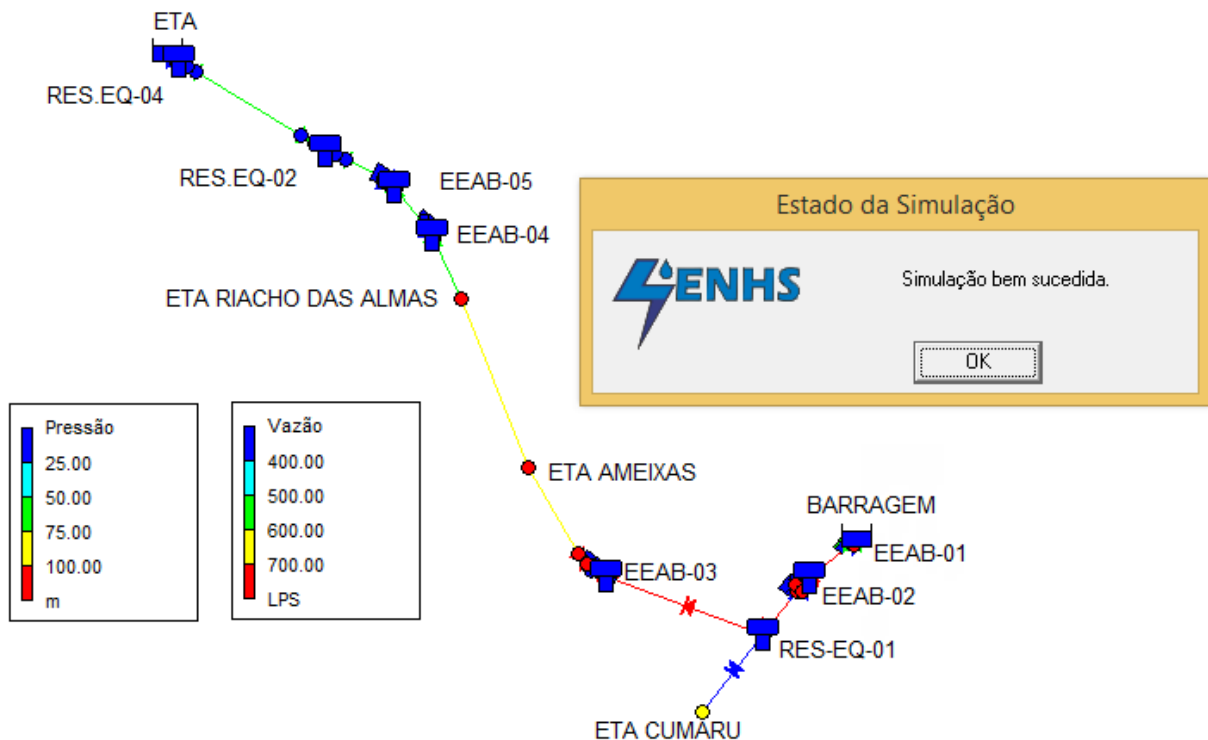


Figura 6 – Modelagem hidráulica do Tramo Sul do Sistema Adutor de Jucazinho.

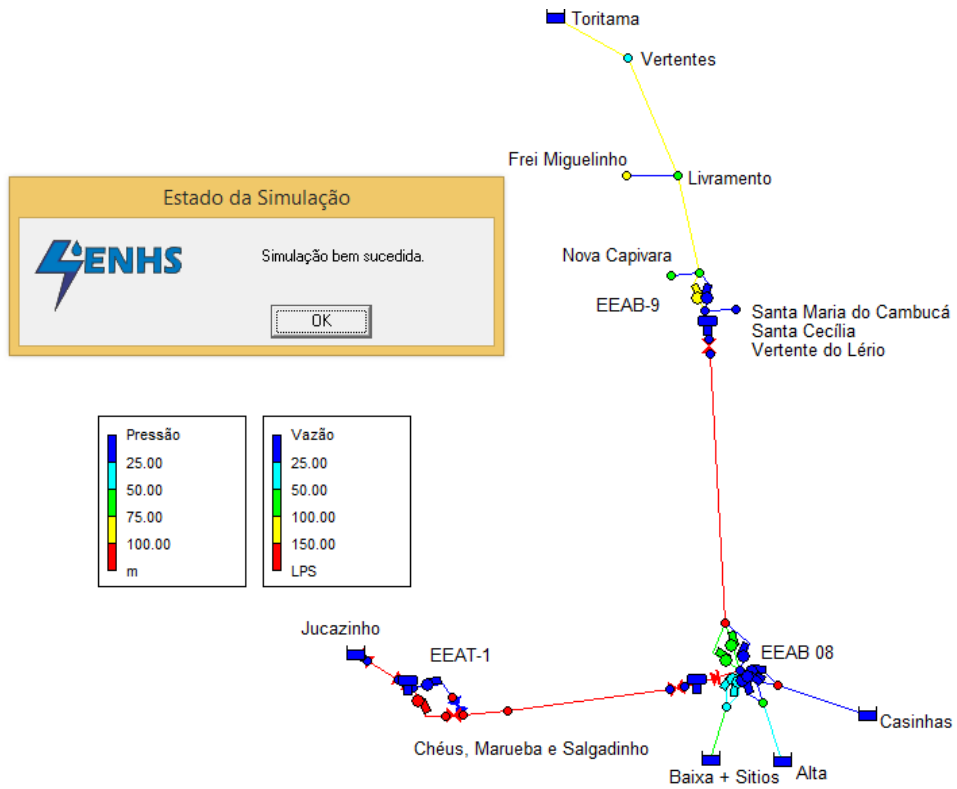


Figura 7 – Modelagem hidráulica do Tramo Norte do Sistema Adutor de Jucazinho.

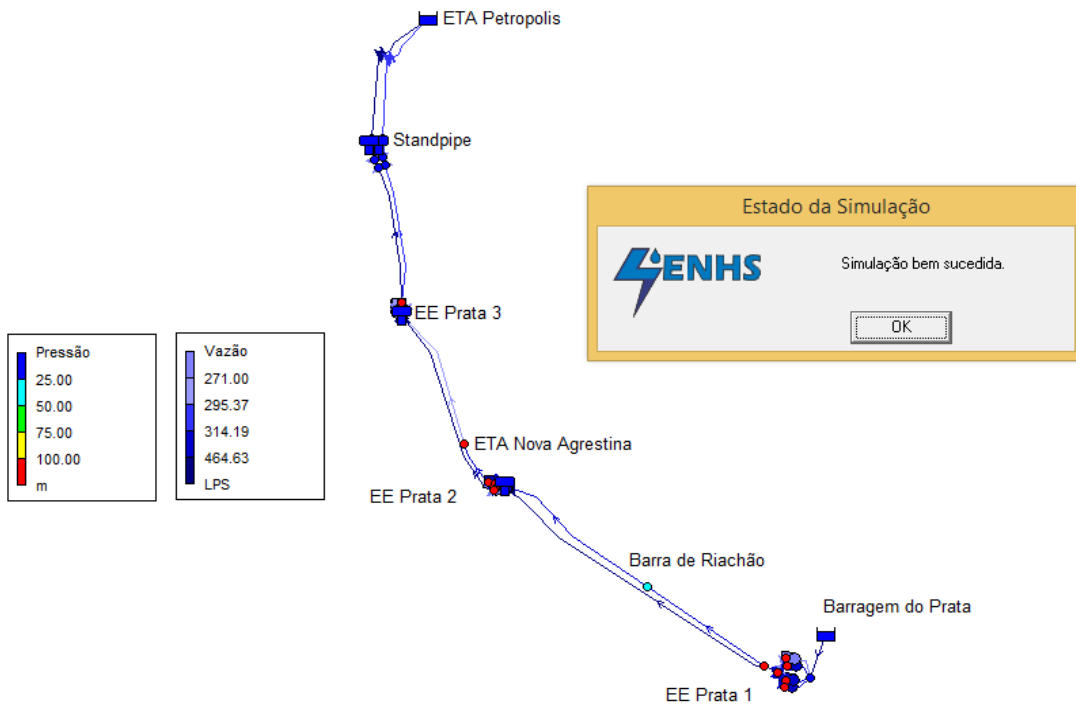


Figura 8 – Modelagem hidráulica do Sistema Adutor Prata.



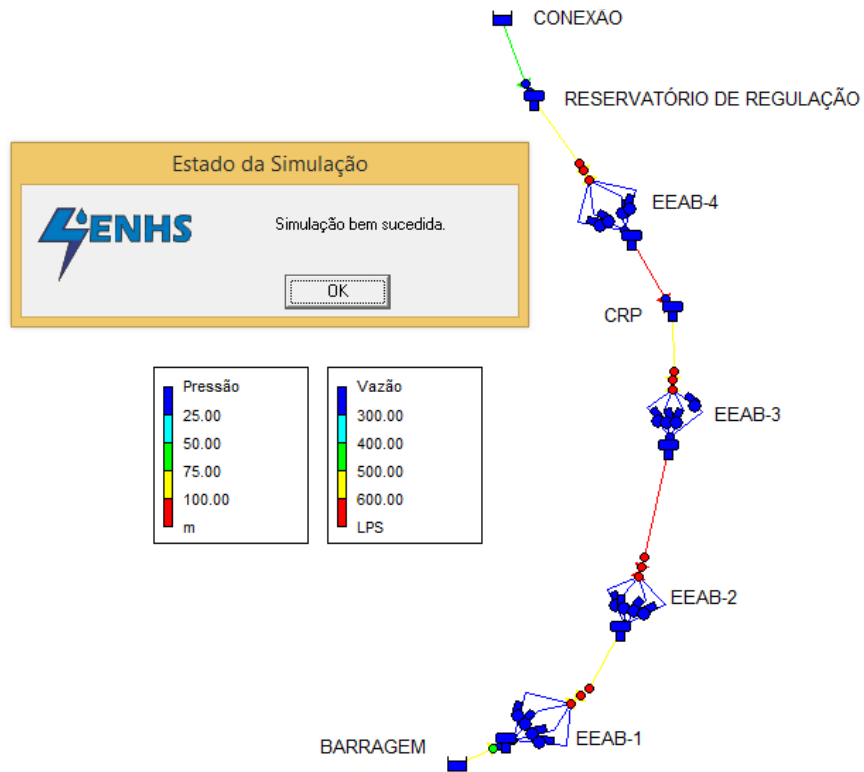


Figura 9 – Modelagem hidráulica do Sistema Adutor Serro Azul.

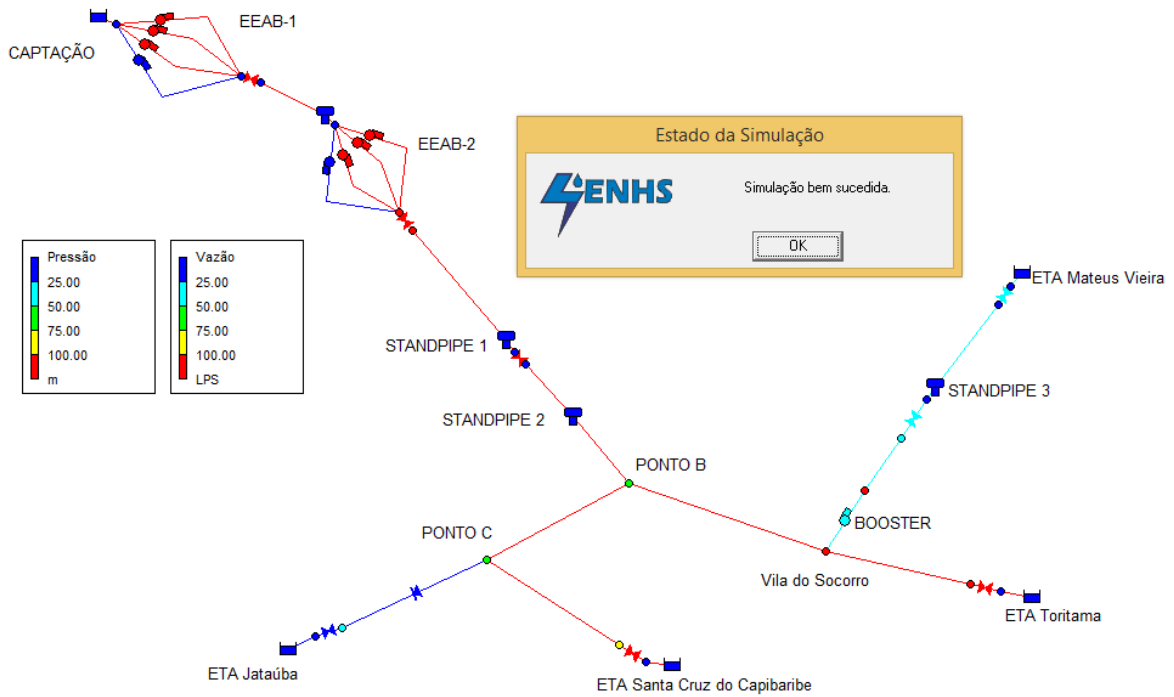


Figura 10 – Modelagem hidráulica do Sistema Adutor Alto Capibaribe.

## 4.2 Sistema Adutor Prata

O levantamento pitométrico do Sistema Adutor Prata (SAP) foi realizado no dia 29/10/2021. A partir dos dados coletados, foi possível verificar que o modelo hidráulico desenvolvido consegue um comportamento semelhante ao do sistema adutor. O entendimento de que o modelo se encontra calibrado foi feito por meio da comparação entre

os resultados hidráulicos obtidos e os das leituras efetuadas pela pitometria cadastrados.

Para a EEAB-1, o ponto de operação cadastrado no modelo hidráulico para a curva característica das bombas foi baseado nos dados nominais informados na plaqueta delas, pois os dados de pitometria não foram satisfatórios. Desse modo, o ponto de operação das bombas foi [316,7 L/s; 155 mca].

**Tabela 1** – Dados de pitometria do Sistema Adutor Prata.

Local da pitometria	ID CMB	Data da medição	Vazão (L/s)	AMT (mca)
EEAB-2	1	29/10/21	349,7	141,4
EEAB-2	3	29/10/21	406,7	138,8
Valor médio da EEAB-2	-	-	378,2	140,1
EEAB-3	2	29/10/21	334,5	134,6
EEAB-3	3	29/10/21	364,6	134,8
Valor médio da EEAB-3	-	-	349,5	134,7

**Tabela 2** – Comparativo de vazões determinadas pelo modelo hidráulico e a pitometria para o Sistema Adutor Prata.

Trecho da adutora	Vazão modelagem (L/s)	Vazão pitometria (L/s)
Saída EEAB-1	950,1	916,2
Saída EEAB-2	949,7	927,9
Saída EEAB-3	817,1	824,6

Os pontos de operação dos CMB das EEAB-2 e EEAB-3 foram obtidos por meio das medições pitométricas. Em decorrência de limitações no levantamento dos pontos de operação para cada conjuntos motobombas (CMB) e a proximidade dos valores obtidos de vazão e pressão, optou-se por utilizar na modelagem um único ponto de operação para determinar a curva característica de todas as bombas. Logo, foi considerado que os CMB são iguais. Os valores obtidos estão descritos na Tabela 1.

A Tabela 2 mostra as vazões modeladas (EPANET) e as vazões obtidas por meio das campanhas pitomé-

trica para cada trecho principal do sistema adutor. O histórico operacional do sistema demonstra que a EEAB-2 possui vazão superior à da EEAB-1 e da EEAB-3, o que também foi apontado pela modelagem hidráulica. O sistema adutor foi simulado com valor de coeficiente C igual a 100.

## 4.3 Sistema Adutor de Jucazinho – Tramo Sul

Para o Sistema Adutor Jucazinho (SAJ) – Tramo Sul não foi possível realizar um levantamento pitométrico padrão para obtenção das curvas características dos CMB, entretanto foi disponibilizado pela COMPESA a pitometria realizada

em 11/10/2021 e, a partir dos dados disponibilizados, pode-se observar que o modelo apresenta um comportamento consideravelmente similar ao sistema adutor.

De forma semelhante ao Sistema Adutor Prata, os pontos de operação dos CMB do SAJ – Tramo

Sul foram determinados com base nos valores médios medidos na pitometria. Os dados estão apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4, pode ser visto a análise das vazões dos trechos do modelo, obtidas no EPANET, e as provenientes das leituras pitométricas. O sistema adutor foi modelado com valor de coeficiente C igual a 90.

**Tabela 3** – Dados pitométricos do Sistema Adutor de Jucazinho - Tramo Sul.

Local da pitometria	ID CMB	Data da medição	Vazão (L/s)	AMT (mca)
EEAB-1	3	11/10/21	574	127
EEAB-1	3 + 4	11/10/21	970	139
Valor médio da EEAB-1	-	-	529,5	133,0
EEAB-2	1	11/10/21	404	112
EEAB-2	1 + 4	11/10/21	746	116
Valor médio da EEAB-2	-	-	388,5	114,0
EEAB-3	1	11/10/21	433	99
EEAB-3	2	11/10/21	450	101
EEAB-3	1 + 2	11/10/21	855	119
Valor médio da EEAB-3	-	-	436,8	106,3
EEAB-4	1	11/10/21	329	90
EEAB-4	2	11/10/21	298	90
Valor médio da EEAB-4	-	-	314	90,0
EEAB-5	2	09/02/21	266,9	-
EEAB-5	4	09/02/21	258,8	-
EEAB-5	4 + 2	09/02/21	499,6	-
Valor médio da EEAB-5	-	-	258,5	-

**Tabela 4** – Comparativo entre as vazões determinadas no modelo e as obtidas no levantamento pitométrico - Tramo Sul do Sistema Adutor Jucazinho.

Trecho da adutora	Vazão modelagem (L/s)	Vazão pitometria (L/s)
Saída EEAB-1	1.128,1	970,0
Saída EEAB-2	736,8	746,0
Saída EEAB-3	724,3	855,0
Saída EEAB-4	550,5	614,0
Chegada EQ-2 (EEAB-5)	501,1	499,6

#### 4.4 Sistema Adutor de Jucazinho – Tramo Norte

Para o SAJ – Tramo Norte, a campanha pitométrica foi realizada no dia 6/7/2021. Devido à impossibilidade de medições na EEAT-1 e EEAT-9, o ponto de operação dos CMB dessas estações foi determinado com base em dados de

projeto. Os dados de pitometria estão descritos na Tabela 5, enquanto na Tabela 6 se apresenta a comparação entre as vazões do modelo, obtidas no EPANET, e as leituras pitométricas. O sistema adutor foi simulado com valor de coeficiente C igual a 130.

**Tabela 5** – Dados pitométricos do Sistema Adutor de Jucazinho - Tramo Norte.

Local da pitometria	ID CMB	Data da medição	Vazão (L/s)	AMT (mca)
EEAT-8	8	06/07/21	120	71
EEAT-8	9	06/07/21	132	72
EEAT-8	8 + 9	06/07/21	209	121
Valor médio	-	-	119	88

**Tabela 6** – Comparativo entre as vazões determinadas no modelo e as obtidas no levantamento pitométrico - Tramo Norte do Sistema Adutor Jucazinho.

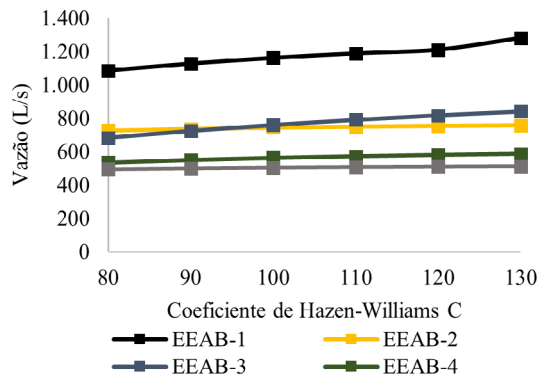
Trecho da adutora	Vazão modelagem (L/s)	Vazão pitometria (L/s)
Saída EEAT-8	150,5	208,6
Saída EEAT-9	144,9	178,0

#### 4.5 Coeficiente de Hazen-Williams C

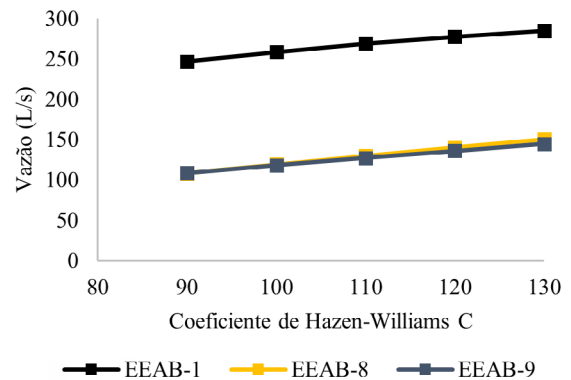
A análise da vazão em função da variação do coeficiente de Hazen-Williams C é importante para saber o nível de sensibilidade do modelo e do sistema adutor. A Figura 11 apresenta os resultados advindos da variação do coeficiente C em função da vazão. Para o SAJ – Tramo Sul, a variação da vazão do sistema é, no geral, pequena, com a maior se encontrando na EEAB-3 desse sistema, em que há uma variação de 23,2% entre os resultados com valores de C de 80 e 130. Ou seja, o referido coeficiente tem pouca influência no resultado. Para o SAJ – Tramo Norte, a variação é pequena para a EEAB-1 e alta para as demais, observando-se a

variação percentual máxima de 39% na EEAB-8. Isso mostra que o coeficiente C tem influência significativa nos resultados.

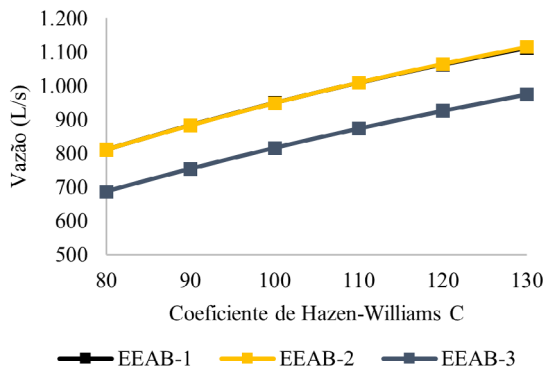
Por sua vez, no Sistema Prata (Figura 11c) a variação das vazões é maior do que a dos outros sistemas analisados. Entre os valores a variação percentual é pequena, porém se nota que, por exemplo, na EEAB-3a variação percentual encontrada entre os valores de 80 e 130 para o coeficiente C é de 41,69%. Ademais, no Sistema Serro Azul (Figura 11d) a variação é pequena no geral, encontrando a maior variação percentual da EEAB-4 no valor de 29% . Portanto, o coeficiente C tem pouca influência na vazão bombeada.



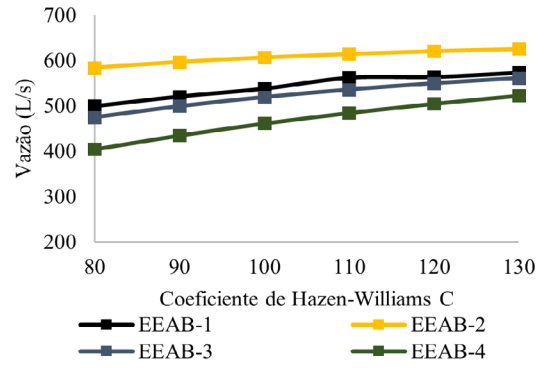
(a) Tramo Sul do Sistema Adutor de Jucazinho



(b) Tramo Norte do Sistema Adutor de Jucazinho



(c) Sistema Adutor Prata



(d) Sistema Adutor Serro Azul

**Figura 11** – Variação das vazões bombeadas nas estações elevatórias em função do coeficiente de Hazen-Williams C.

#### 4.6 Avaliação da Capacidade de Atendimento dos Sistemas Adutores

O monitoramento do consumo médio de água é um importante instrumento de controle operacional e de planejamento/gestão dos serviços. Este contribui para dimensionar sistemas de abastecimentos em municípios com expansão populacional e para reverter o crescimento do consumo em áreas com disponibilidade hídrica restrita, assim como para projeções de demanda e controle operacional.

Os valores de consumo *per capita* e de perda de água na distribuição são disponibilizados pela COMPESA por meio do Sistema Nacional de Informações

sobre Saneamento (SNIS). Os dados são relativos a indicadores desagregados e agregados, e a geração desses data de 8/12/2021. Os dados podem ser visualizados na Tabela 8, assim como o valor do consumo *per capita* efetivo.

Para a avaliação da capacidade de atendimento dos sistemas adutores, primeiramente foi necessário estimar as demandas da cidade em um horizonte de projeto de 20 anos. Na Tabela 7 e na Figura 12 se encontram as projeções populacionais para diversos métodos. Observa-se que a projeção geométrica conduz a valores estimados bem elevados e que tanto a taxa de decrescimento quanto a curva logística possuem

um comportamento semelhante à taxa de crescimento do censo. A taxa de decrescimento foi a escolhida para a determinação do consumo *per capita* futuro porque teve um desvio padrão e um coeficiente de variação menor que a curva

logística, o que mostra que seus valores são mais homogêneos, tem valores mais próximos da média e, portanto, é a que melhor representa a curva obtida a partir dos dados do Censo Demográfico.

**Tabela 7** – Indicadores operacionais de água e seus respectivos valores - Caruaru (PE).

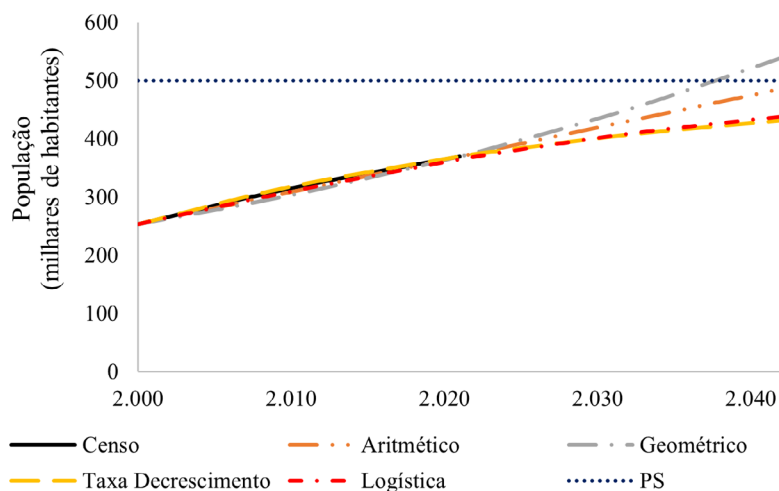
Indicadores operacionais – Água	Valores
Consumo médio <i>per capita</i> (L/hab/dia)	100,67
Índice de perdas na distribuição (%)	36,88
Consumo efetivo <i>per capita</i> (L/hab/dia)	159,49

Fonte: Brasil (2021)

**Tabela 8** – Resultado para projeção populacional da cidade de Caruaru (PE).

ID	Ano	População (Censo)	População estimada			
			Aritmética	Geométrica	Decrescente	Logística
P0	2000	252.987	252.987	252.987	252.987	252.987
P1	2010	314.912	308.394	302.936	317.598	309.501
P2	2021	369.343 <sup>1</sup>	369.343	369.343	369.343	364.839
-	2022	-	374.883	376.058	373.247	369.343
-	2032	-	430.291	450.306	406.419	408.851
-	2042	-	485.699	539.214	430.919	438.419

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022).



**Figura 12** – Projeção populacional.

Nota-se que a população do ano de 2032 cresce aproximadamente 8,88% em relação ao ano de 2022, e que a população de 2042 cresce cerca de 6% em relação ao ano de 2032. Os mesmos percentuais são usados para o aumento da vazão *per capita* média efetiva considerando o mesmo índice de perdas. Esses valores serão comparados com os obtidos na modelagem para saber se os sistemas são atualmente capazes de atender, sozinhos, a demanda solicitada pela população. Os resultados são mostrados nas Tabelas 9 e 10. Vale mencionar que os valores podem estar subdimensionados devido à intermitência do abastecimento de água. Isso pode explicar o baixo valor do consumo *per capita*.

A partir da Tabela 10 se nota que o Sistema Adutor do Prata consegue atender a demanda de Caruaru para os próximos anos, mas não consegue atender a demanda final. Já o Sistema Adutor de Jucazinho não

consegue atender atualmente a cidade, visto que as vazões disponibilizadas são inferiores à demandada. O rodízio atual imposto é derivado da baixa disponibilidade hídrica da região, e não da falta de infraestrutura. É fácil perceber que algumas medidas podem ser tomadas a fim de aumentar o número de pessoas atendidas e minimizar/equacionar a situação de déficit hídrico existente, como por exemplo sensibilização no uso da água, reutilização e a redução das perdas físicas na distribuição. Por exemplo, ao se reduzir o índice de perdas de 36,88% para 25%, estima-se que o valor do consumo *per capita* efetivo passaria para 134,23 L/s, uma redução de aproximadamente 16%. Dessa forma a população atendida seria de 443.497 habitantes, ou seja, ao reduzir o índice de perdas teria um acréscimo de 70.250 habitantes. A Tabela 11 mostra a relação entre a diminuição do índice de perdas, a população atendida e o acréscimo de população.

**Tabela 9 – Vazões *per capita* efetivas e vazões de demanda.**

Ano	População (hab)	Qe (L/hab/dia)	Qdemanda (L/s)
2022	373.247	159,5	689,0
2032	406.419	173,6	816,8
2042	430.919	184,0	918,0

**Tabela 10 – Déficits das demandas dos sistemas adutores.**

Sistema Adutor	Qmodelada (L/s)	Ano			Ano		
		2022	2032	2042	2022	2032	2042
		Q estimada (L/s)			Déficit (L/s)		
Prata	817	689	816,8	918	-	-	101
Jucazinho	397	689	816,8	918	292	419,8	521
Prata + Jucazinho	1.065	689	816,8	918	-	-	-

**Tabela 11 – Relação entre o índice de perdas e a população atendida.**

Índice de perdas(%)	População atendida (hab.)	Acréscimo de população (hab.)
40,0	354.798	-18.449

continua...

Tabela 11 – Continuação...

Índice de perdas(%)	População atendida (hab.)	Acréscimo de população (hab.)
36,9	373.247	-
35,0	384.364	11.117
30,0	413.931	40.684
25,0	443.497	70.250
20,0	473.064	99.817

## 5 CONCLUSÃO

Os modelos hidráulicos dos sistemas produtores corresponderam aos sistemas reais em grau satisfatório. Nesse sentido, os resultados apresentados podem facilmente ser utilizados por técnicos da COMPESA para avaliações futuras dos sistemas adutores, tendo potencial de contribuir para decisões mais eficientes e eficazes. Desse modo, a qualidade das informações geradas proporcionará aos técnicos e gestores uma melhor análise das operações presentes e futuras dos sistemas estudados.

No estudo também foi realizada uma análise da capacidade de atendimento dos sistemas adutores para abastecimento da cidade de Caruaru (PE). Nesse sentido, com os dados obtidos, o consumo *per capita* e o índice de perdas na distribuição pela COMPESA, além do cálculo populacional, mostra-se que em um horizonte de futuro de 20 anos o uso conjunto dos sistemas Prata e Jucazinho é capaz de atender ao aumento da população.

## 6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Conceitualização:** Silva Júnior SF, Cirilo JA e Bezerra STM; **Metodologia:** Silva Júnior SF e Bezerra STM; **Investigação:** Silva Júnior SF, Oliveira AAA e Bezerra STM; **Redação (primeira versão):** Silva Júnior SF; **Redação (revisão & edição):** Silva Júnior SF; **Supervisão:** Bezerra STM; **Aquisição de financiamento:** Cirilo JA.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) [contrato CT.PS. 20.7.048] e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) [processos Nº 420012/2021-4 e 308202/2022-8].

## 8 REFERÊNCIAS

- AGUNWAMBA, J. C.; EKWULE, O. R.; NNAJI, C. C. Performance evaluation of a municipal water distribution system using WaterCAD and Epanet. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, London, v. 8, n. 3, p. 459-467, 2018. <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.262>.
- BERREZAL, Y. A.; ABDELBAKI, C.; BENABDELKRIM, M. E. A. Coupling of GIS and hydraulic modeling in management of an urban water distribution network – a case study of Tlemcen (Algeria). In: EGGY, E.; BERMUDEZ, V.; VERMEERSCH, M. (ed.). **Sustainable Energy-Water-Environment Nexus in Deserts**. Cham: Springer, 2022. p. 253-258. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-76081-6-30>.
- BISCOS, C. et al. Optimal operation of water distribution networks by predictive control using MINLP. **Water South Africa**, Gezina, v. 29, n. 4, p. 393-404, 2003. <https://doi.org/10.4314/wsa.v29i4.5044>.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2019.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**: Guia do profissional em treinamento (nível 1). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2009.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto**: Gestão técnica de água



(ano de referência 2020). Brasília, DF: Secretaria Nacional de Saneamento, 2021.

CAMBOIM, W. L. L.; SILVA, S. A; GOMES, H. P. Aplicação de técnicas Fuzzy no controle de pressão em sistemas de abastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 67-77, 2014.

CHATZIVASILIS, S.; PAPADIMITRIOU, K.; KANAKOUDIS, V. Optimizing the formation of DMAs in a water distribution network through advanced modelling. **Water**, Basel, v. 11, n. 2, p. 278, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11020278>.

GIUSTOLISI, O. Enhanced WDN hydraulic modelling and detection of burst leakages. **Procedia Engineering**, Missouri, v. 162, p. 3-14, 2016.

GOMES, H. P. **Sistemas de abastecimento de água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

KARA, S. et al. Hydraulic model of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics. **Procedia Engineering**, Missouri, v. 162, p. 521-529, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.096>.

MABROK, M. A. et al. Modeling and simulations of Water Network Distribution to Assess Water Quality: Kuwait as a case study. **Alexandria Engineering Journal**, Alexandria, v. 61, n. 12, p. 11859-11877, 2022.

MEKONNEN, Y. A. Evaluation of Hydraulic Performances Modeling of Water Distribution Systems and Physicochemical Water Quality Analysis, in the Case of Dangila Town, Amhara Region, Ethiopia. **Water Conservation Science and Engineering**, London, v. 7, n. 3, p. 1-19, 2022, <https://doi.org/10.1007/s41101-022-00140-5>.

SILVA, C. O. **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.