



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

JÚLIO CÉSAR SALVADOR CARPANEZI

**PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO PARA BAURU – SP**



Bauru
2024

JÚLIO CÉSAR SALVADOR CARPANEZI

**PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM BAURU – SP**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Garcia Manzato

Bauru
2024



C294p

Carpanezi, Júlio César Salvador
Procedimento para análise da capacidade de suporte de abastecimento de
água: Estudo de caso em Bauru - SP / Júlio César Salvador Carpanezi. -- Bauru,
2024
99 f. : il., tabs.


Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, Bauru
Orientador: Gustavo Garcia Manzato

1. Análises estocásticas de fronteira. 2. Eficiência de produção. 3.
Infraestrutura urbana de água. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JULIO CESAR SALVADOR CARPANEZI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 16 dias do mês de novembro do ano de 2023, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JULIO CESAR SALVADOR CARPANEZI, intitulada **PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO PARA BAURU - SP.**

A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. GUSTAVO GARCIA MANZATO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Universidade Estadual Paulista - UNESP / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Universidade Estadual Paulista - UNESP / Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos, Prof. Dr. JOZRAEL HENRIQUES REZENDE (Participação Virtual) do(a) Departamento de Meio Ambiente e Recursos Hídricos / Faculdade de Tecnologia de Jahu - Fatec Jahu. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO GARCIA MANZATO
Data: 16/11/2023 16:36:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível através do incentivo e apoio de várias pessoas e, portanto, as agradeço de forma especial.

À minha família, especialmente meus pais, que nunca pouparam esforços para chegar onde estou e de maneira exaustiva sempre me ajudaram com meus estudos.

Aos amigos próximos e colegas de trabalho que ajudaram de diversas maneiras ao longo do curso com seu tempo e paciência.

A todos os professores que passaram por nossas aulas ao longo do curso pelo conhecimento dividido, e especialmente ao Prof. Dr. Gustavo Garcia Manzato pela sua orientação, paciência e atenção ao longo de vários meses na realização deste trabalho.

RESUMO

Ao longo do tempo, a crescente urbanização das cidades brasileiras concentrou cada vez mais as demandas por infraestrutura de modo a atender à população, trazendo problemas complexos aos sistemas urbanos, a exemplo do abastecimento de água. A demanda cada vez maior coloca uma enorme pressão nas capacidades dos mananciais existentes nessas regiões, sejam eles subterrâneos ou superficiais. Em muitas regiões do Brasil, a escassez hídrica já se tornou uma ameaça constante. Enquanto o crescimento das demandas se apresenta com taxas elevadas, a capacidade de expansão produtiva em muitos casos se apresenta limitada, seja por condições ambientais ou por montantes de investimentos impraticáveis. Em função disso, o trabalho elaborou um procedimento para o desenvolvimento de indicadores e análise através de fronteira de produção no âmbito de setores de abastecimento de água, a fim de se verificar a intensidade de solicitação que uma dada população exerce sobre a disponibilidade de produção de água no meio em que ela se insere. Para este fim, o trabalho aprofundou-se nos conceitos de capacidade de suporte e análises estocásticas de fronteira, ferramentas que abordam as unidades de produção como estando pressupostas a produzir de acordo com a tecnologia e os recursos disponíveis, e atingem uma determinada fronteira de produção quando produzem o máximo possível *output* para um dado conjunto de *inputs*, considerando as ineficiências dessas cadeias de produção. Para o alcance dos objetivos propostos, foram conduzidas coletas e análise de dados por meio de estudo de caso em setores de abastecimento da cidade de Bauru, estado de São Paulo, através da coleta de documentos diversos, cadastros, dados de consumo, vazão e demais peças relevantes que foram disponibilizadas pela autarquia municipal responsável. Os resultados indicam que o modelo desenvolvido apresentou saídas consistentes aos dados de verificação compilados, atingindo a proposta de estimar uma função de produção representativa, bem como de desenvolver um banco de dados com os resultados do cálculo da disponibilidade hídrica dos setores do estudo de caso, que refletiu diretamente em uma ferramenta de planejamento que pode ser utilizada e atualizada de forma a prover direcionamento de ações e investimentos de melhorias no sistema. Em conclusão, o objetivo de elaborar um procedimento que possa fomentar modelos visando analisar a capacidade de fronteira produtiva de um setor de abastecimento foi atingido, fornecendo uma ferramenta adicional visando estabelecer melhor utilização de recursos naturais escassos.

Palavras-chave: Análises estocásticas de fronteira, Eficiência de produção, Infraestrutura urbana de água.

ABSTRACT

Over time, the rising urbanization of Brazilian cities have increasingly concentrated the demands of infrastructure in order to support the population, bringing along complex problems to urban systems, as for example, water supply. The rising demand puts an enormous pressure on the capacity of existing water sources in those regions, whether they are from underground or superficial. In many regions of the country, water scarcity has become a constant threat. While the growth of demands presents itself with high rates, the capacity to expand production in most cases presents itself as limited, whether by environmental conditions or by impractical number of investments. Because of that, this work elaborated a procedure to develop indicators and analysis of production frontier in the scope of water supply sectors, in order to verify the intensity of solicitation that a given population exercises over the availability of what production in the region it is inserted. To this end, the work has deepened in the concepts of hydric carrying capacity and stochastic frontier analysis, tools which approach the units of production as being presupposed to produce accordingly to the technology and resources available, and achieve a given production frontier when producing the most possible output to a given set of inputs, considering the inefficiencies of those production chains. In order to achieve those goals, data gathering and analysis were conducted through a case study of water supply sectors in the city of Bauru, state of São Paulo, through the gathering of diverse documents, registrations, data of consumption, flow rate and others of relevance that were made available by the responsible municipal autarchy. The results indicate that the developed model presented outputs consistent to the compiled data for verification, achieving the proposal to estimate a representative production function, as well to develop a database with the results of the calculation for the hydric availability of the sectors from the case study, which directly reflected in a planning tool that can be used and updated in order to provide guidance for actions and investments for improvements in the system. In conclusion, the goal of elaborating a procedure that can foment models aiming to analyze the capacity of productive efficiency of a given water supply sector was achieved, providing with an additional tool to establish better utilization of scarce natural resources.

Keywords: Stochastic frontier analysis, Production efficiency, Urban water infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. População urbana e rural entre 1950-2050	17
Figura 2. Curvas de crescimento populacional baseadas na teoria de Malthus	22
Figura 3. Análise estocástica de fronteira ou modelo de erro composto	24
Figura 4. Classificação das tecnologias de tratamento de água	32
Figura 5. Setor de abastecimento	34
Figura 6. Setores de abastecimento da cidade de Bauru	40
Figura 7. Sub-bacias existentes na região urbana da cidade de Bauru	41
Figura 8. Projeção populacional de acordo com o Plano Diretor de Água	43
Figura 9. Fluxograma do sistema Batalha	51
Figura 10. Fluxograma do sistema Sudeste	52
Figura 11. Fluxograma do sistema Leste	53
Figura 12. Fluxograma do sistema Noroeste	54
Figura 13. Fluxograma do sistema Norte	54
Figura 14. Fluxograma dos setores isolados	55
Figura 15. Fluxograma geral em junho de 2021	56

Figura 16. Fluxograma do desenvolvimento e calibração do modelo	63
Figura 17. Mapa de graduação da vazão de produção de cada setor	67
Figura 18. Mapa de graduação do consumo de produtos químicos de cada setor	67
Figura 19. Mapa de graduação do consumo de energia elétrica de cada setor	68
Figura 20. Mapa de graduação da densidade demográfica de cada setor	68
Figura 21. Mapa de graduação da renda média de cada setor	69
Figura 22. Comparação dos dados observados e calculado pelo modelo na calibração	74
Figura 23. Comparação dos setores de verificação ao modelo na validação	75
Figura 24. Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo de regressão linear	77
Figura 25. Mapa de graduação do indicador de disponibilidade hídrica em junho de 2021	80
Figura 26. Fluxograma geral em fevereiro de 2023	82
Figura 27. Mapa de graduação do indicador de disponibilidade hídrica em fevereiro de 2023	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações de abastecimento de água no Brasil	35
Tabela 2. Etapas de estudo de caso	38
Tabela 3. Evolução populacional de Bauru segundo dados do IBGE	43
Tabela 4. Abastecimento de manancial subterrâneo	44
Tabela 5. Abastecimento de manancial superficial (Rio Batalha)	45
Tabela 6. Unidades de reservação utilizadas no abastecimento dos setores	45
Tabela 7. Setores de abastecimento e seus dados de extensão, usuários e consumo	46
Tabela 8. Densidade populacional, consumo energético e produtos químicos dos setores	57
Tabela 9. Possíveis variáveis do modelo representadas pelo seu logaritmo natural	59
Tabela 10. Matriz de correlação entre as variáveis	60
Tabela 11. Setores unificados e seus dados de vazão média disponível	65
Tabela 12. Análise do AIC para os modelos propostos	71
Tabela 13. Parâmetros iniciais dos modelos calculados	71
Tabela 14. Coeficientes calculados para o modelo	72
Tabela 15. Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo na calibração	72
Tabela 16. Comparação dos setores de verificação ao modelo na validação	75

Tabela 17. Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo de regressão linear	76
Tabela 18. Indicadores de disponibilidade hídrica para os setores em junho de 2021	78
Tabela 19. Indicadores de disponibilidade hídrica para os setores em fevereiro de 2023	83

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Modelo estocástico de fronteira	25
Equação 2. Fórmula de Hazen-Williams	50
Equação 3. Modelo de fronteira de produção proposto #1	70
Equação 4. Modelo de fronteira de produção proposto #2	70
Equação 5. Modelo de fronteira de produção proposto #3	70
Equação 6. Modelo de fronteira de produção proposto #4	70
Equação 7. Modelo de fronteira de produção proposto #5	70
Equação 8. Modelo de fronteira de produção proposto #6	70
Equação 9. Modelo de fronteira de produção proposto #7	70
Equação 10. Modelo de fronteira de produção proposto #8	70
Equação 11. Modelo de fronteira de produção proposto #9	70
Equação 12. Modelo de regressão linear	76

LISTA DE SIGLAS

CSH. Capacidade de Suporte Hídrica

DAE. Departamento de Água e Esgoto de Bauru

DMC. Distritos de Monitoramento e Controle

EBA. *Economic Base Analysis*

ETA. Estação de Tratamento de Água

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ONU/UN. Organização das Nações Unidas

PDA. Plano Diretor de Água

PNRH. Política Nacional de Recursos Hídricos

SFA. *Stochastic Frontier Analysis* (Análises Estocásticas de Fronteira)

SIG. Sistema de Informação Geográfica

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UGRHI. Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNICEF. *United Nations Children's Fund*

UNESCO. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

WHO/OMS. Organização Mundial da Saúde

WWAP. *United Nations World Water Assessment Programme*

ZMC. Zonas de medição e controle

SUMÁRIO

1. Introdução	16
1.1.Objetivos gerais e específicos	19
1.2.Organização do trabalho	20
2. Referencial teórico	21
2.1.Capacidade de suporte	21
2.2.Análises estocásticas de fronteira	23
2.3.Infraestrutura urbana e demanda pelo abastecimento de água	26
2.4.Sistemas de abastecimento de água	29
2.5.Eficiência no abastecimento e o marco regulatório de saneamento básico	35
3. Material e métodos	38
3.1.Caracterização da área de estudo	39
3.2.Considerações realizadas nos dados	48
3.3.Desenvolvimento e calibração do modelo	58
4. Análise e discussões dos resultados	65
4.1.Análise dos modelos desenvolvidos	69
4.2.Cálculo da disponibilidade hídrica	78
5. Considerações finais	86
5.1.Contribuições acadêmicas da pesquisa	87
5.2.Contribuições práticas e gerenciais da pesquisa	87
Referências bibliográficas	90
Anexos	97

1 INTRODUÇÃO

As questões relativas ao saneamento são datadas há tempos na história: as ruínas ao norte da Índia com mais de 4.000 anos de idade evidenciam a existência de hábitos higiênicos, como a presença de banheiros e de sistemas de coleta de esgotos sanitários. Os egípcios dispunham de sistemas de drenagem de água e grandes aquedutos. São apenas exemplos de práticas sanitárias marcantes na Antiguidade. Hoje se sabe que os serviços de saneamento são de vital importância para o desenvolvimento da sociedade e que a sua carência é notória sobre a saúde pública e o meio ambiente, em particular nos recursos hídricos (NASCIMENTO e HELLER, 2005; TEIXEIRA e GUILHERMINO, 2006).

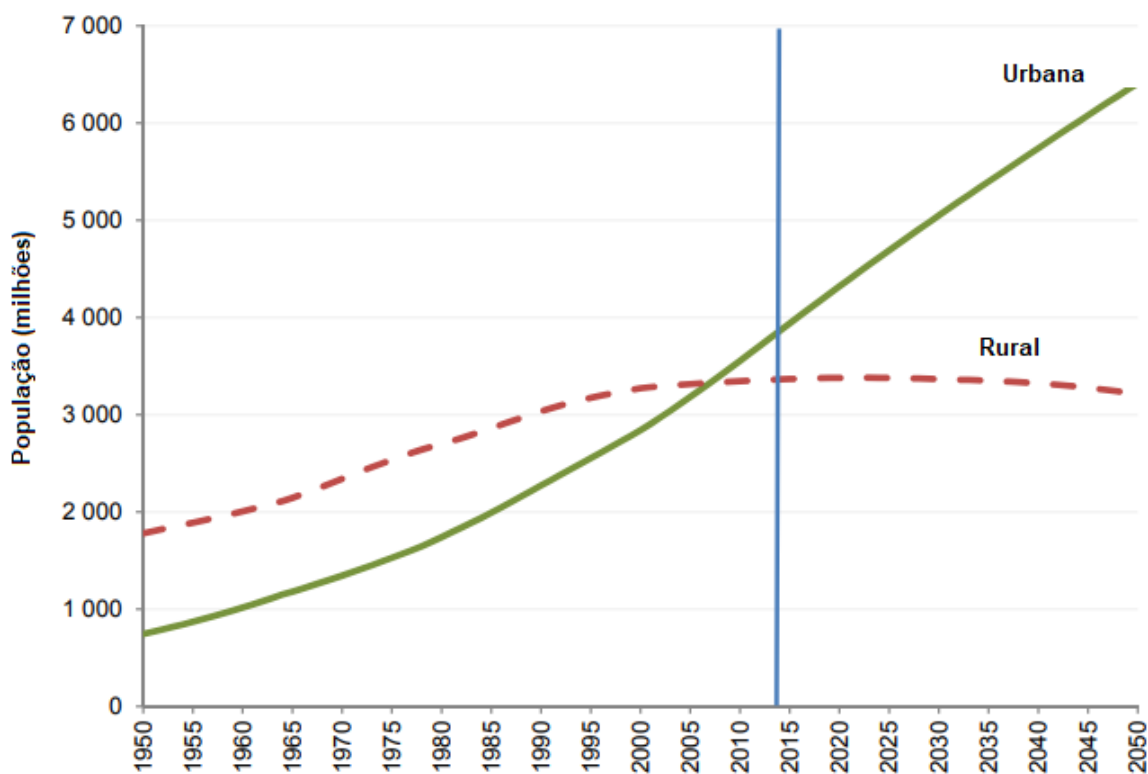
A água, além de um elemento fundamental para as atividades humanas, inclusive e especialmente para a existência das cidades, pode ser também compreendida como um elemento mediador das relações entre população e ambiente. Nas cidades, verifica-se ainda em diversas situações, a distribuição desigual do recurso e também dos riscos relacionados a ele. Trata-se de um recurso que apresenta um ciclo com dinâmicas complexas envolvendo diferentes escalas espaciais e temporais, e sua natureza sazonal traz uma perspectiva de que questões relacionadas à água se resolvem dentro de um mesmo ano: períodos chuvosos compensando períodos secos (RIJSBERMAN, 2006).

Ao longo do tempo, a crescente urbanização das cidades brasileiras concentrou cada vez mais as demandas por infraestrutura de modo a atender este fluxo. Problemas complexos envolvendo transporte público, iluminação, limpeza, coleta e destinação de resíduos sólidos, entre tantos outros, se tornaram alguns dos maiores desafios na gestão das políticas públicas. Com o abastecimento de água não foi diferente. A demanda cada vez maior coloca uma enorme pressão nas capacidades dos mananciais existentes nessas regiões, sejam eles subterrâneos ou superficiais, de atender satisfatoriamente aos habitantes. Em muitas regiões do país, a escassez hídrica já se tornou uma ameaça constante, com diversas cidades recorrendo a racionamentos e/ou rodízios para atravessar momentos de desabastecimento em seus reservatórios. Enquanto o crescimento das demandas se apresenta com taxas elevadas, a capacidade de expansão produtiva em muitos casos se apresenta limitada, seja por condições ambientais ou por montantes de investimentos impraticáveis ou de difícil superação.

Estudos recentes das Nações Unidas (UN, 2015) demonstram que 54% da população mundial vive em áreas urbanas e projetam que a população mundial urbana alcançará a marca de 66% até 2050, conforme Figura 1. No Brasil, segundo dados do Censo de 2010, a população urbana chegou a 84,36%, totalizando 160 milhões de pessoas. Por sua vez, o estado de São Paulo possui um alto grau de urbanização. Segundo o IBGE, a estimativa da população urbana em 2016 chegou a 96,32% da população total do estado. Diante desses números, pode-se afirmar que mudanças significativas estão previstas para

a população global, tanto em termos da quantidade de pessoas no mundo, como em termos de sua distribuição espacial. (DE MELLO, 2017).

Figura 1 – População urbana e rural entre 1950-2050.



Fonte: Adaptado de UN, 2015.

O WWAP – *United Nations World Water Assessment Programme* (2015), em seu lançamento recente “*The United Nations world water development report*”, indica um quadro cada vez mais intenso de usos e conflitos que envolvem a água. No mesmo momento, crescem os riscos para a disponibilidade deste recurso frente as ameaças da poluição e o agravamento do estresse hídrico, agora severo, em muitas partes do mundo. A frequência e a intensidade das crises hídricas locais estão aumentando, implicando em problemas para a saúde pública, sustentabilidade ambiental, conflitos entre diversos atores e setores (população urbana, indústrias e agricultura), segurança alimentar e energética, o que afeta diretamente as possibilidades para o desenvolvimento econômico socialmente justo e ambientalmente responsável (WWAP, 2015).

Dentro deste cenário, o abastecimento de água em regiões urbanas é realizado, majoritariamente, através da figura dos setores de abastecimento: são estruturas compostas por unidades de reservação (reservatórios enterrados, semienterrados, apoiados, elevados), unidades de produção (poços profundos, unidades de captação de água bruta, estações de tratamento de água) e redes de distribuição de diversas

magnitudes e extensão, com o fim de promover em condições satisfatórias o recebimento da produção e distribuição da água tratada aos consumidores, mantendo bom desempenho técnico, operacional e financeiro. Sua configuração e abrangência são definidas por condições de contorno como topografia da região, estimativa de demanda, capacidade de produção entre outros.

Sob essa perspectiva, é fundamental que essas variáveis sejam delimitadas e previstas de maneira mais precisa possível, de modo a promover condições de abastecimento adequadas para a situação atual e em um horizonte futuro de planejamento, sem que a população atendida passe por impactos em momentos de estiagem ou indisponibilidade hídrica, e sem onerar excessivamente os recursos finitos do meio ambiente que deverão atender a gerações futuras.

Apesar dos avanços proporcionados pela engenharia no âmbito do abastecimento de água, ainda há muito que se evoluir neste sentido. A grande disponibilidade hídrica do país é reconhecida mundialmente, o que resulta na falsa impressão de que não ocorrem problemas de escassez de água no território nacional, do ponto de vista quantitativo e qualitativo. Em termos de quantidade, deve-se considerar o fato de que 80% da disponibilidade hídrica nacional localiza-se na Região Norte, na Bacia Amazônica, onde, inversamente, verifica-se a menor concentração populacional e as menores demandas consuntivas do país (BRASIL, 2020).

Assim, os principais centros urbanos do país são suportados por uma pequena fração de toda a disponibilidade hídrica nacional, trazendo desafios para a infraestrutura e a gestão dos serviços de abastecimento de água. Dessa forma, fica evidente a necessidade de avaliar as organizações de saneamento básico de acordo com a sua infraestrutura, gestão, eficiência e sustentabilidade econômico-financeira e socioambiental, além da regularidade e continuidade dos serviços prestados. Por isso, a área de saneamento tem muitos desafios a serem vencidos e a sua gestão está diretamente ligada ao bem-estar e à qualidade de vida da população (LOUREIRO, 2009).

Logo, a busca por métodos para estabelecer indicadores de eficiência no uso e disponibilidade de produção de água se mostra extremamente relevante para uma gestão integrada e contínua dos recursos disponíveis. Salienta-se também a carência de pesquisas sobre o assunto no âmbito de setores de abastecimento, que traz a análise a um nível de detalhamento, e conseqüentemente de planejamento, maior. Evidentemente, há uma diversidade de pesquisas e estudos envolvendo a ferramenta da fronteira estocástica em diversos campos há várias décadas.

Kalijaran (1981), Bagi (1982), Neff, Garcia e Nelson (1993) e Conceição (1998) estudaram a aplicação da ferramenta e a eficiência no âmbito da produção rural em diferentes locais. Ferreira (2010) e Marinho e Ataliba (2000), por exemplo, estudaram a aplicação da ferramenta junto à produção industrial em território nacional.

Essa pesquisa, entretanto, identificou poucas publicações que dessem ênfase ao assunto de sistemas de abastecimento de água, como De Mello (2017), que tratou do assunto com o desenvolvimento de um indicador de capacidade de suporte hídrica (CSH) no âmbito das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do estado de São Paulo. Foi identificado também o trabalho de Rijsberman (2006), que traz um panorama macro de indicadores de escassez hídrica que servem de base a diversas análises macro (entre estes, podem ser citados o *Falkenmark water stress indicator*, o *Water Resources Vulnerability Index* e o *Water Poverty Index*), mas raramente são encontrados indicadores que se apliquem de maneira satisfatória a setores de abastecimento. Por fim, podemos citar também o trabalho de Sampaio (2008), onde é abordado o mercado da água quando analisado o custo de prestação do serviço de distribuição de água e eficiência ambiental, utilizando-se de ferramentas da análise estocástica de fronteira de custos aplicadas a modelos com influências exógenas.

Frente a este cenário, este trabalho tem como estudo de caso a cidade de Bauru, localizada na região central do estado de São Paulo, e que de acordo com o último Censo possui 343.937 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012). A região possui as estações de verão e inverno bem delimitadas com relação à pluviosidade, apresentando durante o inverno e seus períodos de transição, compreendido entre os meses de maio a outubro, períodos consideravelmente secos e precipitações escassas. Além disso, devido a condições geológicas que impedem a viabilidade de exploração em escala suficiente para o abastecimento público dos aquíferos subterrâneos na região oeste da cidade, que compreende atualmente entre 20 a 30% da população total, esta tem seu abastecimento de água oriundo exclusivamente do Rio Batalha, manancial superficial de classe 2 de acordo com a resolução CONAMA n° 357/2005 e segundo o Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru (BAURU, 2008). Nestas condições, tem se tornado frequente que, nos períodos de seca, a vazão disponível no Rio Batalha diminui consideravelmente a ponto de ser insuficiente para manter o abastecimento regular para a região oeste da cidade, ocasionando, portanto, limitações, racionamentos e rodízios de abastecimento, notadamente nos anos de 2014, 2020, 2021 e 2022.

1.1 Objetivos gerais e específicos

Nesse contexto, este trabalho busca elaborar um procedimento para o desenvolvimento de indicadores de limite de produção e eficiência no âmbito de setores de abastecimento de água, a fim de se verificar a intensidade de solicitação que uma dada população exerce sobre a disponibilidade de produção de água no meio em que ela se insere. O foco dos estudos contidos nesta dissertação foi na questão hídrica da cidade de Bauru, estado de São Paulo, abordando variáveis de disponibilidade e produção de água, utilização de recursos, consumo, demografia, e direcionando os resultados para o

desenvolvimento de um procedimento que possa fomentar modelos de avaliação de eficiência e capacidade de suporte de abastecimento de água em um setor de abastecimento.

Como objetivos específicos, o trabalho visa também:

- Estimar uma função de produção de fronteira estocástica representativa para setores de abastecimento de água na cidade de Bauru;
- Desenvolver um banco de dados com os resultados do cálculo da disponibilidade hídrica dos setores de abastecimento existentes na cidade de Bauru;
- Identificar funções alternativas simplificadas e representativas, através de variáveis de disponibilidade imediata, que possam ter seus procedimentos de elaboração sistematicamente replicadas no âmbito de setores de abastecimento.

1.2 Organização do trabalho

O trabalho foi dividido e organizado em diferentes capítulos, abordando as questões pertinentes ao desenvolvimento do texto.

No Capítulo 2 é apresentado o referencial teórico, contendo os temas capacidade de suporte, análises estocásticas de fronteira, infraestrutura urbana de abastecimento de água, setores de abastecimento de água e eficiência no abastecimento e o marco regulatório de saneamento básico, por meio do desenvolvimento teórico conceitual.

Os materiais e métodos de pesquisa são apresentados no Capítulo 3, e detalha a estrutura de desenvolvimento do trabalho através de instrumentos de coletas de dados e tratamento, análise e interpretação dos dados. Além disso, apresenta os dados do estudo de caso, a caracterização dos setores analisados e suas variáveis.

No Capítulo 4 é apresentada a análise e discussão dos resultados obtidos no estudo de caso descrito ao longo do anterior.

Por fim, as considerações finais, bem como as contribuições acadêmicas, práticas e gerenciais previstas para a pesquisa são apresentadas ao longo do Capítulo 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é apresentada a revisão da literatura envolvendo os temas capacidade de suporte, análises estocásticas de fronteira, infraestrutura urbana de abastecimento de água, setores de abastecimento de água e eficiência no abastecimento e o marco regulatório de saneamento básico, para que se tenha embasamento na realização da pesquisa.

2.1 Capacidade de suporte

No final dos anos 1960 e início dos anos 1970, a discussão sobre os iminentes limites da capacidade de suporte do planeta Terra devido ao crescimento populacional e econômico iniciou a dispersão do desenvolvimento da consciência ambiental. O crescimento exponencial da população humana e da economia, e alguns de seus limitadores (por exemplo disponibilidade de alimentos, área cultivável, recursos não renováveis) foram identificados. Outros limitadores não conhecidos causando danos irreversíveis no clima, ou interrompendo severamente processos naturais vitais, foram vislumbrados ou previstos. Posteriormente, a discussão também destacou padrões de consumo em países industrializados e suas tecnologias como novos pressionadores na capacidade de suporte da Terra. Atualmente, poucos duvidam do rápido declínio e deterioração dos recursos ambientais (como água, biodiversidade, solo, minerais, recursos fósseis), e do excesso de utilização dos recursos disponíveis que causam deterioração e destroem ecossistemas e conseqüentemente condições de existência de seres humanos e outras espécies. Sem dúvidas, o conceito de capacidade de suporte tem sido uma parte significativa em promover políticas públicas de conscientização e compreensão dos iminentes limites existentes às atividades econômicas (SEIDL e TISDELL, 1999).

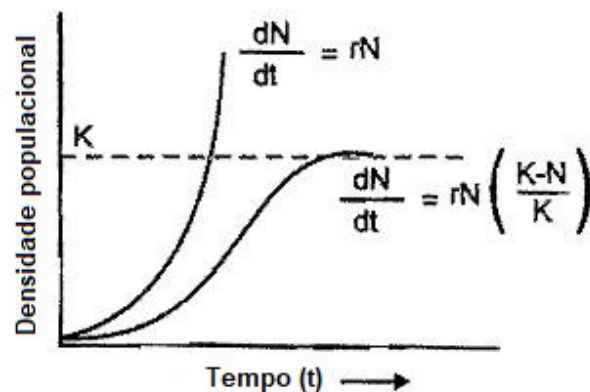
Dentro deste contexto, a contribuição acadêmica e cultural de Thomas Robert Malthus e sua teoria sobre o crescimento populacional, especialmente dos seres humanos, podem ser considerados como a base fundamental para o conceito de capacidade de suporte, iniciados ao final do século XVIII. Sua teoria partiu de três premissas básicas:

- A existência e disponibilidade de comida foi considerada como necessária para a existência humana e o único fator limitante ao crescimento populacional humano;
- Assumiu-se que o crescimento populacional humano se dá geometricamente, sendo esse crescimento deduzido pela observação do crescimento populacional exclusivamente na América do Norte, à época. Salienta-se assim o grande impacto da imigração nesta observação, o que foi ignorado por Malthus;

- Por fim, foi assumido que a produção de alimentos só poderia ser aumentada de maneira linear e que, portanto, isso levaria à escassez de alimentos quando confrontada à evolução geométrica da população.

Já em 1838, o matemático belga Pierre François Verhulst desenvolveu a primeira equação logística de crescimento populacional, ilustrada na Figura 2, como uma potencial solução para o dilema do crescimento exponencial de Malthus. Um século depois, essa equação foi introduzida na área da Biologia pelo biólogo americano Raymond Pearl como um modelo simples para calcular a autorregulação de populações (KINGSLAND, 1995; GABRIEL et al., 2005).

Figura 2 – Curvas de crescimento populacional baseadas na teoria de Malthus.



Fonte: Adaptado de Verhulst, 1838.

Com a crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável, as teorias de Malthus começaram a ser revisitadas sob o prisma da capacidade de suporte dos recursos disponíveis à humanidade. Os recursos ambientais de que todas as atividades econômicas dependem incluem sistemas ecológicos que produzem uma variedade de serviços. Essa base de recursos é finita. Portanto, o uso imprudente dos recursos ambientais pode reduzir irreversivelmente a capacidade futura de gerar produção material. Tudo isso implica que existem limites para a capacidade de suporte do planeta. É possível que melhorias no gerenciamento dos sistemas de recursos, acompanhadas por mudanças estruturais de conservação de recursos na economia, permitiriam o crescimento populacional e econômico apesar dos recursos finitos, pelo menos por um período de tempo. Entretanto, para que isso seja concebível, sinais que reflitam, efetivamente, a crescente escassez da base de recursos, precisam ser gerados dentro do sistema econômico (ARROW et al., 1995). Sumarizando, a capacidade de suporte é usualmente definida como a máxima população, de uma dada espécie, que pode ser suportada por um dado habitat sem que haja prejuízos na produtividade desse habitat (REES e WACKERNAGEL, 1996).

Ao se tentar calcular a capacidade de suporte humana usando os princípios Malthusianos, vários questionamentos sobre a precisão e veracidade do método surgiram após expressivas discrepâncias em resultados de diferentes pesquisadores em análises muito parecidas. Por exemplo, Cohen (1998) estudou dezenas de publicações que pretenderam calcular a capacidade de suporte da Terra e encontrou resultados que variaram entre 1 bilhão e 1 trilhão de pessoas. (DE MELLO, 2017).

No entanto, alguns autores entendem que as análises de capacidade de suporte na natureza não são fixas, estáticas ou relações simplistas. Elas se relacionam com o nível tecnológico da população, cultura, estrutura de produção e consumo, o estado das relações entre o meio físico e biótico que estão em constante mudança. Esses argumentos fazem com que a simples análise da capacidade de suporte humana seja somente um número sem significado, pois não considera fatores como a inovação humana e a evolução biológica (ARROW et al., 1995).

Até agora foi evidenciado que todos os seres humanos vivendo neste planeta possuem sua carga de impacto sobre a Terra pois todos consomem produtos e serviços oriundos da natureza. O impacto ecológico corresponde ao quanto o ser humano usufrui da natureza para viver. Em outras palavras, o quanto de capital natural uma pessoa, cidade ou sociedade requer para funcionar (WACKERNAGEL e REES, 1996).

2.2 Análises estocásticas de fronteira

Os modelos estocásticos de fronteira possuem suas raízes nas Análises Econômicas Fundamentais (EBA, do inglês: *Economic Base Analysis*), as quais consideram que as dinâmicas de mercado podem ser divididas em processos oriundos das indústrias básicas e não-básicas. As indústrias básicas são aquelas que possuem abrangência externa, importando e exportando produtos e serviços para outras regiões. Já as indústrias não-básicas concentram suas atividades a nível local. Estes princípios indicam que as atividades econômicas relacionam os recursos disponíveis com um ambiente produtivo, e ao mesmo tempo, necessitam um mínimo de abastecimento para continuar desempenhando suas atividades. (MANZATO, 2012).

As unidades de produção (fábricas, empresas, cidades, regiões, países, etc.) estão pressupostas a produzir de acordo com a tecnologia e os recursos disponíveis, e atingem a fronteira de produção quando produzem o máximo possível *output* para um dado conjunto de *inputs*. As ineficiências dessas cadeias de produção podem ocorrer por problemas estruturais, variações do mercado ou pouca experiência de gerenciamento e controle que acarretam em uma produção abaixo da máxima possível (MASTROMARCO, 2008). Ao longo do tempo, os modelos vêm sendo adequados para modelagem de capacidade de suporte em diferentes áreas de estudo.

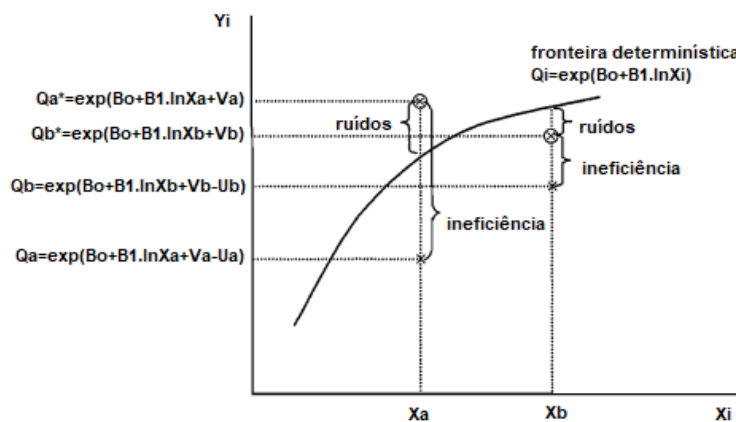
Coelli et al. (1999) utilizaram a modelagem estocástica de fronteira de produção para medir a eficiência de companhias aéreas. Obtiveram medidas de eficiência técnica através de funções de análise estocástica de fronteira que foram ajustadas para levar em consideração influências ambientais como condições de rede, fatores geográficos etc. Ambas as metodologias de avaliação realizadas neste trabalho concluíram que as companhias da Ásia e Oceania eram tecnicamente mais eficientes que as europeias e norte-americanas, mas que as diferenças se davam essencialmente devido a condições ambientais mais favoráveis. Ainda assim, foi entre as companhias asiáticas que as principais melhorias de gestão foram observadas no período analisado, entre 1977 e 1990.

Oum et al. (2008) também aplicaram a modelagem estocástica de fronteira de custo para investigar o nível de eficiência de aeroportos ao redor do mundo, concluindo, entre outras coisas, que a gestão destes tende a ser mais eficiente quando realiza pela iniciativa privada.

Recentemente, De Mello (2017) também tratou do assunto no âmbito da modelagem ambiental, trazendo uma abordagem com enfoque ecológico à utilização da análise estocástica de fronteira, em que foram apontadas regiões com maior vulnerabilidade em períodos de seca considerando-se a disponibilidade de água nas bacias e municípios do estado de São Paulo.

De maneira simplificada, modelagens são realizadas utilizando modelos determinísticos ou estocásticos. Nos modelos determinísticos os resultados são funções diretas dos dados de entrada, o que significa que seu comportamento é pré-determinado pelas variáveis independentes de entrada. Já nos modelos estocásticos, os resultados não dependem apenas das variáveis de entrada pois componentes aleatórias estão inclusas nos cálculos, e ao considerar estes efeitos, os modelos estocásticos avaliam acontecimentos acidentais que interferem nos resultados e que não são previstos pelos modelos determinísticos. Por conta disto, o método também é conhecido como modelo de erro composto, já que incorpora tanto os erros residuais de produção quanto também ruídos, conforme Figura 3.

Figura 3 – Análise estocástica de fronteira ou modelo de erro composto.



Fonte: Elaboração própria.

A definição teórica de uma função de produção expressando o valor máximo de saída (*output*) possível de determinados pacotes de entradas (*input*) com tecnologia fixa vinha sendo aceita por muitas décadas. E por quase o mesmo período, os estudiosos de econometria vinham estimando as funções de produção. Foi apenas desde o trabalho pioneiro de Farrel (1957) que sérias considerações foram feitas sobre a possibilidade de se estimar as chamadas funções de fronteira de produção, em um esforço para diminuir a distância entre teoria e trabalhos empíricos. Por uma variedade de razões estes esforços não foram completamente bem-sucedidos (AIGNER et al., 1977).

Por fim, os trabalhos de Aigner et al. (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977), vieram para aperfeiçoar os problemas associados com as fronteiras de produção determinísticas e probabilística ao definir o modelo da fronteira de produção estocástica. Nessa especificação a saída (*output*) de cada empresa é delimitada superiormente pela fronteira que é estocástica no senso que sua localização é permitida variar randomicamente entre empresas. Do ponto de vista econômico essa técnica permite às empresas serem tecnicamente ineficientes relativamente à sua própria fronteira ao contrário de alguma norma amostral. As variações entre fronteiras das empresas presumidamente capturam os efeitos de choques exógenos, favoráveis e desfavoráveis, além do controle das empresas. Erros de observação e medidas na saída constituem outra fonte de variação da fronteira. A especificação estatística é que o termo de perturbação é feito de duas partes: um componente simétrico (normal) capturando aleatoriedades além do controle da empresa; e um componente unidirecional (não positivo) capturando aleatoriedades sob controle da empresa (por exemplo, ineficiência). Estimar a fronteira é então um problema estatístico, e os tipos usuais de inferência estatística são possíveis. (SCHMIDT e LOVELL, 1979).

De maneira simplificada, o modelo estocástico de fronteira é aplicado utilizando-se a forma de Cobb-Douglas na base logarítmica (MEEUSEN e VAN DEN BROECK, 1977; COELLI et al., 1999), expresso na Equação (1).

$$\log y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^N (\beta_n \cdot \log x_i) \pm v_i - u_i \quad (1)$$

Onde:

y_i = variável de Saída/Fronteira de produção (*output*)

x_i = variáveis de Entrada (*input*)

β_0 e β_n = parâmetros estimados pelo modelo

v_i = termo de erro randômico

u_i = ineficiência técnica

2.3 Infraestrutura urbana e demanda pelo abastecimento de água

O conceito básico dos atuais sistemas centralizados de infraestrutura de água para abastecimento em áreas urbanas em diversos países data de mais de 100 anos atrás. Desde então os sistemas têm sido continuamente estendidos nas áreas urbanas que se disseminam, adaptando-se às necessidades da população servida, e a diferentes requisitos no que diz respeito à saúde pública e conscientização ambiental. Além disso, esses sistemas de infraestrutura são caracterizados por longos períodos de vida útil e custos não recuperáveis. Assim, a infraestrutura de abastecimento de água pode ser caracterizada como fortemente dependente dos avanços tecnológicos (HIESSL et al., 2001).

De acordo com Serageldin (1995), a migração da população rural para centros urbanos resultou em cidades e aglomerações urbanas expandido rapidamente. Por exemplo, entre 1950 e 1990 o número de cidades com populações de mais de 1 milhão de pessoas aumentou de 78 para 290, e esse número deve exceder 600 até 2025. Ainda em uma escala global, Hinrichsen et al. (2002) afirmava que ao ano 2025, haverá quatro moradores de centros urbanos em países emergentes para cada um em países desenvolvidos. O aumento da concentração populacional em áreas urbanas e o crescimento de grandes cidades coloca uma tensão nos serviços públicos existentes e, conjuntamente à realidade econômica prevalecente, resulta em condições caóticas em muitas cidades do mundo em desenvolvimento. De acordo com um estudo da WHO e UNICEF, o número de residentes urbanos sem acesso às melhorias de fontes de água aumentou de 113 milhões em 1990 (portanto 5% da população urbana total) para 173 milhões em 2020 (6% da população urbana total) (VAIRAVAMOORTHY et al., 2008).

Pesquisas anteriores mostraram, conforme Bradley et al. (2002), Falkenmark e Lindh (1974), McDonald et al. (2011), Postel et al. (1996), que conforme as cidades crescem em população, o total de água necessário para o adequado abastecimento municipal também cresce. Conforme Bartlett (2003) e Bhatia e Falkenmark (1993), esse aumento na demanda total municipal é fruto não apenas do aumento da população urbana, mas também de uma tendência de desenvolvimento econômico de aumentar a fração da população que utiliza o abastecimento municipal em vez de outras fontes como poços particulares e demais. De fato, Howard e Bartram (2003) indicam que aumentar o acesso ao abastecimento municipal de água para as regiões mais pobres é um dos objetivos de desenvolvimento deste milênio. Além disso, McDonald et al. (2011) afirma que o desenvolvimento econômico que geralmente segue o aumento da urbanização aumenta o uso *per capita* de água, já que novas tecnologias como máquinas de lavar roupas e louças aumentam o uso residencial. Assim, Alcott et al. (2013) e Brown et al. (2009) afirmam que o aumento generalizado na demanda municipal de água faz as cidades buscarem por novas fontes de água mais adequadas e limpas, levando a criação de sistemas de infraestrutura urbana de água amplamente complexos (MCDONALD et al., 2014).

Cidades, por sua natureza, concentram espacialmente a demanda por água de centenas de milhões de pessoas em uma pequena área, o que por si só levaria ao aumento da solicitação hídrica nos suprimentos finitos disponíveis. Entretanto, conforme Bettencourt et al. (2007), as cidades também representam uma concentração de poder econômico e político, que as cidades usam para construir infraestrutura urbana de água para atender às suas demandas. Como essa infraestrutura pode se estender a longas distâncias de seu centro urbano, ou então a exploração de novas fontes de águas superficiais, subterrâneas ou dessalinização, isso pode ajudar as cidades a mitigar o *stress* hídrico (MCDONALD et al., 2014).

Além dos problemas trazidos pela rápida urbanização e aumento da demanda por água nas cidades, há também o contraste apresentado pela limitada capacidade de investimento existente em grande parte dos países em desenvolvimento, como também a baixa eficiência operacional apresentada pelos sistemas de abastecimento existentes. No Brasil, a média das perdas de faturamento total em 2019 foi de 39,02% de acordo com o SNIS (BRASIL, 2020). Esses fatores, quando combinados, levam a um cenário de bastante preocupação quanto à capacidade de manutenção regular do abastecimento de água em diversos locais.

De modo a completar o cenário de preocupação, há que se levar em conta também as mudanças climáticas iminentes a serem enfrentadas. Os últimos séculos testemunharam significantes mudanças antropogênicas no sistema atmosférico da Terra, acelerados por inúmeros fatores como rápida industrialização, aumento populacional, maior uso de energia e mudanças no uso e ocupação do solo. Guiado por estas mudanças, o sistema climático global tem mostrado sinais de mudanças persistentes que vem se acelerando com o tempo. Talvez o mais reconhecido desses sintomas é o aumento de temperatura. Conforme Jones e Moberg (2003), a temperatura média global aumentou cerca de 0,1°C por década no período entre 1920 e 2000. Ainda segundo Hadley Centre (2005), o aquecimento global é uma das mais sérias ameaças ambientais do mundo atual, e modelos climáticos atuais preveem que as temperaturas podem subir entre um a vários graus Celsius dentro dos próximos 100 anos, a depender da quantidade de gases de efeito estufa emitidos e a sensibilidade do sistema climático. O aumento global de temperatura, mesmo que em pequena escala, pode perturbar seriamente o balanço natural climático, resultando então em mudanças significativas no ciclo da água (VAIRAVAMOORTHY et al., 2008).

Todos esses fatores levam então à possibilidade de escassez de água. Quando um indivíduo não possui acesso à água de maneira segura e em condições acessíveis para satisfazer suas necessidades de ingerir água, limpeza ou subsistência, pode-se dizer que este indivíduo possui insegurança hídrica. Quando um grande número de pessoas em uma área possui insegurança hídrica por um período significativo de tempo, então essa área é chamada de área com escassez hídrica. É importante notar,

entretanto, que não há uma definição comumente aceita para escassez hídrica. Se uma área é qualificada ou não em tal nomenclatura, dependerá, por exemplo:

- Como as necessidades da população são definidas;
- Que fração dos recursos são disponibilizados, ou podem ser disponibilizados, para satisfazer essas necessidades;
- As escalas temporais e espaciais usadas para definir essa escassez (RIJSBERMAN, 2006).

Em várias regiões do mundo a demanda tem superado a disponibilidade hídrica. Mesmo os cenários mais otimistas indicam que essa situação tende a se agravar devido à combinação de vários fatores, tais como crescimento da renda, da população e do seu estilo de vida, cada vez mais demandantes de recursos. Mesmo na América do Sul, onde se tem a segunda maior disponibilidade hídrica per capita do mundo, já se observam desequilíbrios entre a oferta e a demanda hídrica, que ocorre, em grande parte das vezes, pelo fato dos recursos hídricos não serem uniformemente distribuídos na região. Isto é, nem sempre ele está presente em quantidades adequadas onde se localizam as maiores concentrações urbanas e as altas demandas (BATES, 2008).

Ocorrendo a escassez hídrica, seguem consequências importante a esse cenário. Segundo Galaiti et al. (2016), serviços de água contínuos são o padrão internacionalmente aceito para água tratada municipal. Entretanto, de acordo com Bivins et al. (2017), aproximadamente 1 bilhão de pessoas receberam água através de tubulações com disponibilidade inferior a 24 horas por dia. O fornecimento intermitente de água possui diversas implicações negativas aos usuários, incluindo qualidade inferior da água. É amplamente documentado, incluindo por Burt et al. (2018), Ercumen et al. (2015), Kaminsky e Kumpel (2018) e Kumpel e Nelson (2016), que o fornecimento intermitente de água aumenta o risco de contaminação devido à pressão de água insuficiente nas tubulações, aumentando o risco de doenças veiculadas pela água aos consumidores. Além disso, o fornecimento intermitente também imputa a necessidade da utilização de reservatórios domiciliares, que acabam por ser outra grande fonte de eventuais contaminações no abastecimento. De acordo com Kumpel e Nelson (2016), uma das maneiras óbvias de combater essa questão é manter pressão suficiente de água, pois isso impediria que materiais contaminantes entrassem nas tubulações. (BEARD e MITLIN, 2021).

Portanto, postos os desafios apresentados à expansão dos sistemas urbanos de infraestrutura, como a rápida urbanização (especialmente nos países em desenvolvimento) e seus consequentes aumentos na demanda por água, as limitadas capacidades de investimento e baixa eficiência operacional dos sistemas existentes, e as iminentes mudanças climáticas, levam a um cenário em que a escassez de água e os desabastecimentos periódicos dos sistemas públicos podem trazer graves dificuldades quanto à saúde pública e bem-estar de grande parte da população, conferindo grande importância à discussão

ampla sobre a importância dos estudos e inovações no tema de infraestrutura urbana para o abastecimento de água.

2.4 Sistemas de abastecimento de água

Define-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Essa água fornecida pelo sistema deverá ser, em quantidade suficiente e da melhor qualidade, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico. Um sistema de abastecimento público de água compreende diversas unidades, a saber: Manancial de captação, adução de água bruta, adução de água tratada, estações de tratamento, unidades de reservação (reservatórios enterrados, semienterrados, apoiados e elevados), redes de distribuição e quando necessárias, estações elevatórias de água bruta e de água tratada (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Os mananciais naturais de água, passíveis de aproveitamento para fins de abastecimento público, podem ser classificados em dois grandes grupos:

- Manancial subterrâneo: entende-se por manancial subterrâneo todo aquele cuja água provenha dos interstícios do subsolo, podendo aflorar à superfície ou ser elevada artificialmente através de conjuntos moto bomba (poços profundos);
- Manancial superficial: é constituído pelos córregos, rios, lagos, represas etc., que, como o próprio nome indica, tem o espelho de água na superfície terrestre.

As águas desses mananciais deverão preencher requisitos mínimos no que tange à qualidade das mesmas no ponto de vista físico, químico, biológico e bacteriológico, assim como no que diz respeito aos aspectos quantitativos, ou seja, se o manancial é capaz de suprir a comunidade por um período considerado razoável do ponto de vista técnico-econômico (AZEVEDO NETTO et al., 1998). No Brasil, os padrões de potabilidade da água para consumo humano são definidos pela Portaria n° 888 do Ministério da Saúde de 04 de maio de 2021.

Quanto à captação de água subterrânea, em geral para o abastecimento público utiliza-se os chamados lençóis profundos. Estes encontram-se normalmente entre duas camadas impermeáveis de terreno, que o protegem contra a contaminação. A extração de água desse lençol se faz mediante a perfuração de poços tubulares profundos, que devido à grande variedade de tipos de terreno e de formações aquíferas, assim como a diversidade de métodos construtivos empregados, apresentam-se com características construtivas que diferem bastante em cada caso. Após a perfuração, para a água do lençol atingir a superfície terá de ser elevada mediante conjuntos moto bomba. Os poços tubulares são de um modo geral revestidos internamente com tubos de aço, a fim de evitar a entrada de água indesejável e

não permitir o desmoronamento de camadas instáveis de terreno que foram atravessadas na perfuração. O diâmetro útil desses poços é função direta da vazão de aproveitamento do poço, que por sua vez determina as características do equipamento a ser implantado no mesmo para a elevação de água, variando normalmente entre 150 a 300 milímetros. Além disso, quando a camada aquífera é constituída de material granular, são colocados no extremo inferior do revestimento, dispositivos que permitam a fácil passagem da água a ser captada, evitando-se o arrastamento desse material granular para o interior da bomba. Esses dispositivos são conhecidos como filtros, telas ou crivos, sendo normalmente constituídos de peças metálicas tubulares com orifícios destinados a dar passagem à água (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Já a captação de águas superficiais, constituídas por rios, córregos, lagos etc., são definidos para utilização no sistema de acordo com características quantitativas e qualitativas destes, tais como:

- Dados hidrológicos da bacia em estudo, e na falta, dados referentes a bacias próximas e/ou semelhantes para estudos de correlação, notadamente no que tange à vazão específica da bacia;
- Dados fluviométricos do curso d'água a ser aproveitado, e na sua falta, elementos que digam respeito às oscilações do nível de água nos períodos de estiagem e de enchentes, assim como por ocasião de chuvas torrenciais;
- Elementos referentes às características físicas, químicas e bacteriológicas da água a ser aproveitada, dando especial ênfase à determinação dos eventuais focos poluidores e/ou contaminantes existentes a montante do local de captação escolhido.

De um modo geral, os elementos componentes de uma captação e tomada de água em mananciais superficiais são: barragens de acumulação ou de manutenção de nível (a fim de complementar a vazão na época das estiagens ou facilitar a retirada de água); dispositivo de tomada de água devidamente protegido, a fim de impedir a entrada de materiais grosseiro na água (grades, caixas de remoção de areia etc.); mecanismos de controle de entrada de água; tubulações; poço de sucção das bombas; casa de bombas para alojamento dos conjuntos elevatórios, se necessário (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

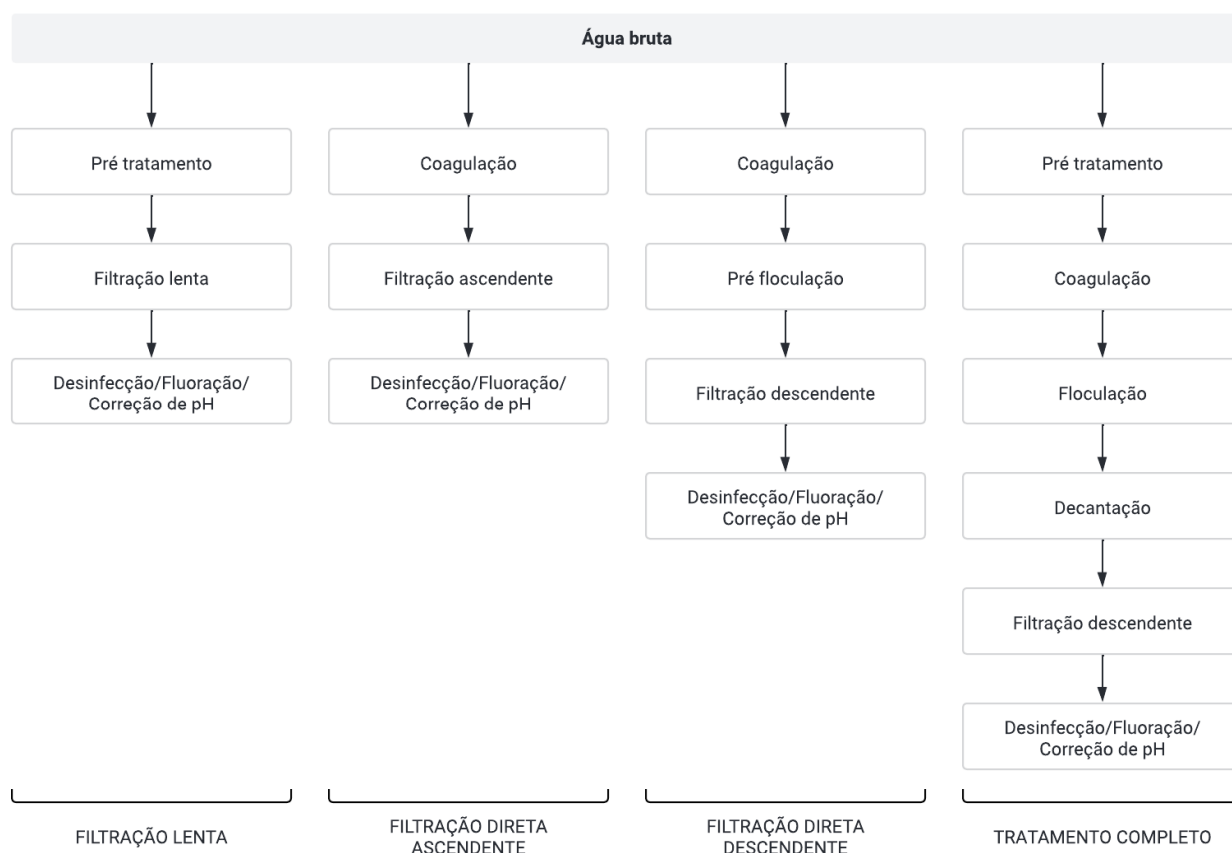
Tem-se também as tubulações principais destinadas a conduzir água entre as unidades de um sistema que antecedem a rede distribuição, são as chamadas adutoras. Elas interligam a captação e tomada de água à estação de tratamento de água, esta aos reservatórios do sistema. As adutoras são unidades de um sistema público de abastecimento, devendo-se tomar cuidados especiais na elaboração dos projetos e implantação das obras. Em função da natureza da água conduzida, as adutoras podem ser divididas entre as de água bruta e as de água tratada. Também podem ser divididas pelo tipo de energia utilizada para transportar a água, podendo ser por gravidade, por recalque ou mistas (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Já o tratamento de água deverá ser efetuado quando for comprovada a sua necessidade, sendo a desinfecção e a correção do pH indispensáveis, compreendendo os processos imprescindíveis à obtenção da qualidade necessária para o abastecimento público. É importante salientar que a necessidade do tratamento e os processos exigidos deverão ser determinados em função dos padrões de potabilidade aceitos, e para atender a várias finalidades, como finalidades higiênicas (remoção de bactérias, eliminação ou redução de substâncias tóxicas ou nocivas, redução do excesso de impurezas, redução de teores elevados de compostos orgânicos e outros microrganismos), estéticas (correção da cor, turbidez, odor e sabor) e econômicas (redução do nível de corrosão, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor e sabor) (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

A produção de água que atenda consistentemente o padrão de potabilidade requer, na maioria dos casos, a filtração, pois somente nessa etapa é que são removidas, quase que em sua totalidade, as partículas coloidais, suspensas e microrganismos em geral, de forma que a desinfecção final seja efetiva. Muitas vezes, a água bruta contém componentes químicos que exigem tratamentos específicos, conduzindo à formação de precipitados e posterior remoção por sedimentação e/ou filtração, ou à adsorção em hidróxidos e óxidos ou carvão ativado. As tecnologias de tratamento podem ser divididas entre aquelas em que é utilizada a coagulação química e as que prescindem desse processo. De outra forma, a classificação das tecnologias de tratamento poderia ser feita em função da filtração, rápida ou lenta (DI BERNARDO, 1993). Na Figura 4 é apresentada a classificação das tecnologias de tratamento de água destinada ao consumo humano:

Figura 4 – Classificação das tecnologias de tratamento de água.

Classificação das tecnologias de tratamento de água



Fonte: Adaptado de Di Bernardo, 1993.

A seguir, são descritos de forma simplificada os principais processos de tratamento e operações adotados no tratamento completo:

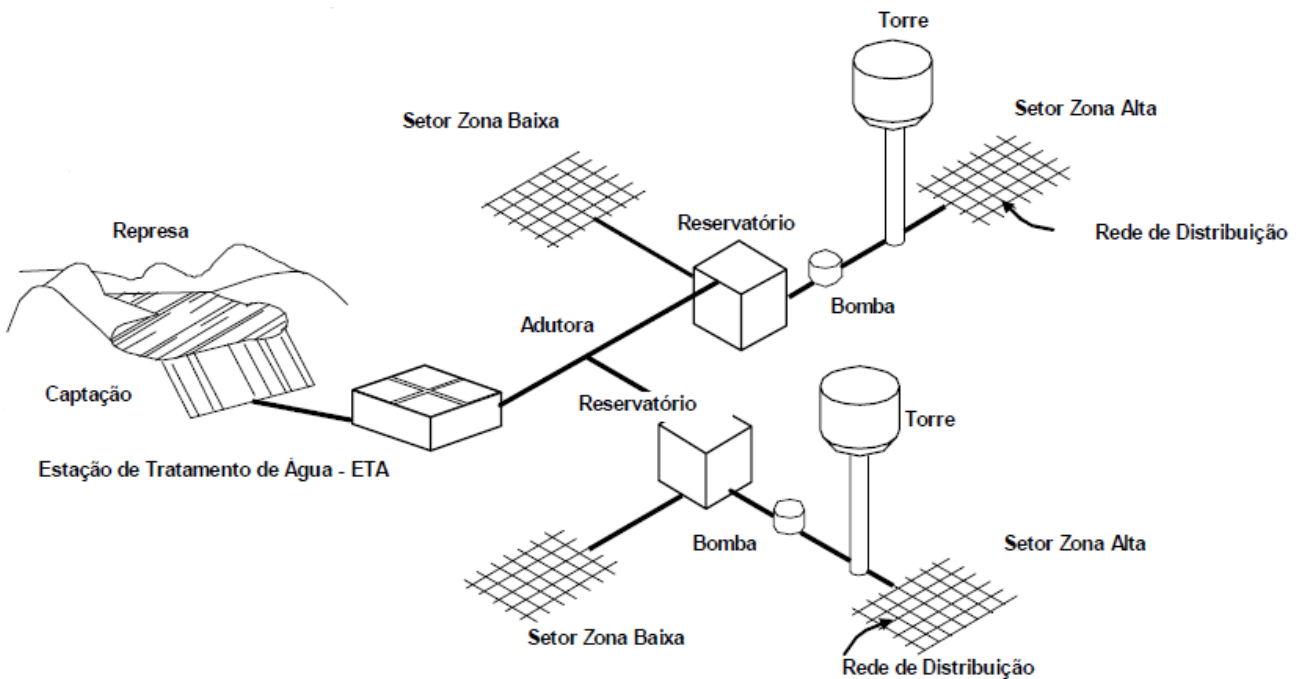
- Peneiramento: para remoção de sólidos finos não coloidais em suspensão, como algas, por exemplo;
- Coagulação e floculação: é um processo químico que visa aglomerar impurezas que se encontram em suspensões finas, em estado coloidal, em partículas sólidas que possam ser removidas por sedimentação ou filtração. As partículas agregam-se, constituindo formações gelatinosas chamadas flocos. O coagulante mais comumente empregado é o sulfato de alumínio, que é facilmente obtido e tem baixo custo, podendo ser melhorada mediante o emprego de agentes auxiliares como sílica ativada. A primeira fase do processo consiste na mistura rápida, que consiste na adição dos compostos químicos e sua dispersão uniforme na água, e a segunda onde ocorre a formação dos flocos e seu desenvolvimento ou condicionamento;

- Decantação ou sedimentação: São operações dinâmicas de separação de partículas sólidas suspensas na água. Essas partículas, sendo mais pesadas que a água, tenderão a cair para o fundo, verificando-se então a sedimentação. A água livre destas partículas é então removida por vertedouros superficiais. Emprega-se a sedimentação com as finalidades de remoção de areia, remoção de partículas sedimentáveis finas e retenção de flocos;
- Filtração: é o processo de purificação que consiste em fazer a água atravessar camadas porosas capazes de reter impurezas. O material comumente utilizado como meio filtrante é a areia, sendo que outros materiais como carvão duro (antracito) e a granada também tem sido utilizado;
- Desinfecção: A desinfecção para fins de abastecimento constitui medida obrigatoriamente adotada em todos os sistemas públicos, utilizando normalmente a adição de cloro (gasoso ou líquido), hipoclorito de sódio e cal clorada, aplicados à água através de dosadores (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Outro componente importante dos sistemas são os reservatórios, que são unidades destinadas a compensar as variações horárias de vazão e garantir a alimentação da rede de distribuição em casos de emergência, fornecendo também os níveis necessários à manutenção de pressões na rede. Tem-se também como componente a rede de distribuição, que é a unidade do sistema que conduz a água para os pontos de consumo (prédios, indústrias etc.). É constituída por um conjunto de tubulações e peças especiais dispostas convenientemente, a fim de garantir o abastecimento dos consumidores de forma contínua nas quantidades e pressões recomendadas (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Por fim, tem-se os setores de abastecimento, que será parte importante deste trabalho por ser a escala de estudo deste. A concepção dos setores de abastecimento tem como diretriz principal a definição das zonas de influências das principais unidades que atendem o setor (reservatórios, elevatórias, *boosters* etc.). Para definir um setor de abastecimento é necessário levar em conta, principalmente, as condições topográficas e o perfil dos consumidores na área a ser atendida. Definidos esses parâmetros será possível posicionar os reservatórios, dimensionar as linhas de distribuição e definir todos os acessórios necessários ao abastecimento. A NBR 12.218 (ABNT, 1994) estabelece que a pressão estática máxima a que as redes de distribuição podem ser submetidas é de aproximadamente 50 metros de coluna d'água e a mínima dinâmica é de 10 metros de coluna d'água. A partir desse limite de pressões inicia-se a concepção propriamente do setor de abastecimento, definindo-se o posicionamento de reservatórios, limites de zona de pressão, áreas abastecidas por *boosters* e áreas controladas por válvulas redutoras de pressão, quando necessários. Os setores de abastecimento podem ter uma ou mais zonas de pressão que serão determinadas conforme a configuração topográfica da área a ser abastecida. A Figura 5 a seguir apresenta um setor de abastecimento típico (MOTTA, 2010).

Figura 5 – Setor de abastecimento.



Fonte: Adaptado de Motta (2010).

Atualmente, a maioria dos sistemas de abastecimento de água estão implantados. Embora as normas e a boa prática discipline a implantação dos setores de abastecimento, na prática os sistemas de distribuição são frequentemente ampliados sem respeitar critérios técnicos rígidos. Em muitos centros urbanos, que experimentaram crescimento populacional acelerado, as redes de distribuição avançam para atender às novas ocupações sem preocupação com a setorização dos sistemas de água. Em sistemas existentes, mesmo que a implantação tenha sido precedida de um adequado projeto de engenharia, as ampliações da distribuição para atender as áreas de expansão nem sempre ocorrem de modo organizado. Portanto, a necessidade dos sistemas públicos de abastecimento é a organização da distribuição de água em setores controlados que permitam maior eficiência e controle dos volumes de água distribuídos e ações mais eficazes de controle de perdas (MOTTA, 2010).

Frente a este cenário, surgem os esforços das concessionárias e empresas de saneamento em implantar o que é chamado de setorização. A setorização consiste na divisão do sistema em redes de menor dimensão, com fronteiras conhecidas e bem delimitadas. Essas redes são chamadas de setores de medição, distritos de monitoramento e controle (DMC) ou zonas de medição e controle (ZMC). É importante ressaltar que é comum, nas empresas de saneamento, a divisão dos sistemas de abastecimento de água em grandes setores, que não necessariamente são DMCs, e sim, zonas de pressão. A setorização é uma das principais formas de controle de vazão e pressão, permitindo, conseqüentemente, a implantação de projetos direcionados ao combate de perdas de água.

Nas últimas décadas, a setorização foi aplicada com sucesso em sistemas do mundo inteiro. Ela permite avaliar as perdas de água através de um balanço hídrico comparando-se a vazão macro medida, na entrada do DMC, com as micro medidas pelos consumidores contidos na área de abrangência do distrito correspondente. Permite, também, adequar as pressões disponíveis aos usuários dentro de limites aceitáveis e facilita as opções de manobras das redes para possíveis interrupções do sistema. De modo geral, a adoção de DMCs permite: conhecer o comportamento dos consumos da área, determinar a vazão mínima noturna, agilizar a identificação da ocorrência de vazamentos na rede, otimizar a gestão das perdas reais e aparentes no distrito, analisar os resultados (causa/efeito) com maior precisão e a elaboração de um planejamento eficaz no direcionamento das ações de combate às perdas (GOMES, 2019).

2.5 Eficiência no abastecimento e o marco regulatório de saneamento básico

Frente aos desafios elencados anteriormente quanto ao abastecimento de água de maneira global em função das mudanças climáticas, investimentos necessários à ampliação e sustentabilidade no longo prazo dos sistemas de abastecimento, soma-se à problemática a situação nacional do saneamento básico. De acordo com dados do SNIS (BRASIL, 2020), a população atendida com abastecimento de água ainda gira em torno de 175,5 milhões de pessoas, cerca de 84% da população total e 93% da população urbana. Dentro deste cenário, os prestadores de serviços são divididos entre administração pública direta (54,28%), autarquias (34,27%), empresas privadas (8,35%) e em menor parte por empresas públicas e organizações sociais. Na Tabela 1, foram selecionados alguns indicadores relevantes que permitem caracterizar o cenário nacional do abastecimento de água.

Tabela 1 – Informações de abastecimento de água no Brasil.

Indicador	Unidade	Valor
População total atendida com água	Habitantes	170.804.516
Quantidade de economias residenciais ativas	Unidades	60.018.464
Extensão de rede de água	Quilômetros	680.362
Volume de água produzido	Mil metros cúbicos	16.613.022
Volume de água consumido	Mil metros cúbicos	9.761.352
Consumo per capita	Litros/habitantes/dia	152,13
Perdas de distribuição	Percentual	40,14
Consumo de energia	Quilowatt-hora/metro cúbico	0,73

Fonte: SNIS (BRASIL, 2020).

Uma das ações que visam atacar esta problemática veio através do novo marco regulatório de saneamento básico, que através da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, busca estimular a concorrência,

a desestatização do setor e privatização de empresas públicas estatais de saneamento, entre outras mudanças para fazer face aos graves problemas ambientais e de saúde pública, causados pela insuficiência dos serviços de saneamento no país. Entre suas metas, o marco visa a universalização para os serviços de saneamento no Brasil, estipulando que, até o final do ano de 2033, 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% da população tenha acesso à coleta e tratamento de esgoto, além de previsão de redução das perdas e diminuição do desperdício de água, e aproveitamento de água de chuva. Para que estas metas sejam alcançadas, o Ministério da Economia estima que seja necessário atrair entre R\$ 500 bilhões a R\$ 700 bilhões em investimentos até a data limite (GADELHA et al., 2021).

Tanto é que a nova legislação preconiza pela privatização de estatais do setor, alinhado ao estímulo de investimento privado, e extinção do modelo atual de contrato entre municípios e empresas estaduais de água esgoto, tornando obrigatória a licitação da concessão destes serviços e, portanto, abrindo espaço tanto para a continuidade das empresas públicas quanto para empresas privadas para a prestação dos serviços, além ainda da previsão de perdas de direito sobre o serviço em caso de descumprimento das metas. De acordo com dados do SNIS (BRASIL, 2020), neste panorama atual a operação por empresas privadas contempla cerca de 9% dos municípios do país e o equivalente a 21% da população.

Além disto, a importância do acesso ao saneamento básico se reflete diretamente nas condições sociais e de saúde. Atualmente, de acordo com o SNIS (BRASIL, 2020), cerca de 35 milhões de pessoas no Brasil não têm acesso à água tratada e 100 milhões não têm acesso à coleta de esgoto, resultando em doenças e contaminações que poderiam ser evitadas com as condições adequadas.

Frente a este cenário de abertura de mercado, e mediante a importância do acesso da população à água potável bem como ao esgotamento sanitário, justifica-se a necessidade de avaliar a eficiência dos serviços de fornecimento de água e saneamento. Quando se fala em resultado de uma empresa, imagina-se logo o resultado financeiro por ela gerado, sendo que intuitivamente todos tendem a pensar que a mais eficiente é aquela que conseguiu gerar o maior lucro, por exemplo. Ao se avaliar empresas prestadoras de serviços públicos, em especial as companhias de saneamento, onde a presença do Estado no controle do capital ainda é significativa, medir a eficiência dessas empresas apenas pelos índices financeiros pode não ser a melhor alternativa. Isto porque essas empresas, mesmo quando não estatais, são sempre reguladas por diferentes governanças e os preços de mercado, quando existem, são raramente comparáveis (DA HORA, 2015).

Entretanto, dada a heterogeneidade das condições ambientais e socioeconômicas do Brasil, tão importante quanto buscar o *benchmarking* para a mensuração da eficiência, com base em outras empresas do setor, é definir critérios adequados de comparabilidade das mesmas. Por exemplo, comparar os níveis

de custos, para uma dada produção, entre uma grande capital e uma localidade de menor densidade demográfica pode significar, na prática, inviabilizar economicamente esta última, e não por esta ser necessariamente ineficiente, mas porque a extensão média de rede de água por unidade consumidora tende a ser maior, gerando custos mais elevados de manutenção, quando comparada à primeira, mesmo as duas podendo ser eficientes. Ou, ainda, dada a diversidade topográfica do país, em determinados municípios a necessidade de bombeamento para o abastecimento de água pode ser maior do que em outras localidades mais planas, dentre outros fatores (GHINIS e FOCHEZATTO, 2019).

Frente aos desafios e especificidades elencados no setor de saneamento e suas regulamentações e perspectivas futuras, é de suma importância que sejam avaliados e discutidos de maneira contínua a elaboração e avaliação de métricas de eficiência e qualidade nos setores de abastecimento de água, de modo a subsidiar análises mais precisas e menos enviesadas sobre um setor de tamanha importância na evolução da infraestrutura e até mesmo saúde pública do país.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos propostos, foram conduzidas coleta e análise de dados por meio de estudo de caso em setores de abastecimento da cidade de Bauru, estado de São Paulo.

O estudo de caso é um trabalho de natureza empírica, que investiga e analisa um determinado fenômeno dentro de um contexto real de vida. É uma estratégia de pesquisa que compreende um método que abrange abordagens específicas de coletas e análise de dados (MIGUEL, 2007).

De acordo com Eisenhardt (1989), o estudo de caso deve seguir algumas etapas, conforme descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Etapas de estudos de caso.

Etapas	Atividades a serem desenvolvidas
Início	Definição das questões de pesquisa. Desenvolvimento inicial das ideias
Selecionando casos	Seleção dos casos a serem estudados, especificamente com bases teóricas
Coletas de instrumentos e protocolos	Seleção de diversos métodos e informações. Combinação de análises qualitativas e quantitativas
Pesquisa em campo	Conciliar a coleta de informações e análises de campo mediante métodos de coletas flexíveis e oportunos
Análise das informações	Análise do caso
Ajuste das hipóteses	Tabulação interativa das evidências, pesquisa de evidência dos porquês
Envolvimento da literatura	Comparações com literaturas similares e conflitantes
Encerramento	Saturação teórica

Fonte: EISENHARDT (1989).

O estudo de caso pode envolver tanto a análise de somente um caso, quanto de múltiplos casos. Além disso, pode englobar vários níveis de análises. Tipicamente, os estudos de caso combinam a coleta de informações de métodos como entrevistas, aplicação de questionários e análise de observações. As evidências devem ser qualitativas, quantitativas ou ambas. A finalidade deste tipo de estudo é fornecer descrições, testar ou gerar teorias (EISENHARDT, 1989).

Para este estudo, as etapas apresentadas na Tabela 2 foram seguidas em sua totalidade. A primeira etapa foi conduzida de modo a questionar como se dá a modelagem da capacidade de suporte hídrica para setores de abastecimento. Foi questionado se uma proposta de modelagem traria benefícios ao planejamento neste setor, bem como quais ações poderiam ser tomadas em nível de gestão dos sistemas baseados nos resultados desta modelagem. Neste estudo, a princípio, optou-se pela análise de casos dos setores de abastecimento da cidade de Bauru.

A coleta de dados e pesquisa em campo se deu majoritariamente por observação, bem como coleta de documentos diversos, cadastros, dados de consumo e vazão, e demais peças relevantes que foram disponibilizadas pela autarquia municipal responsável pelo abastecimento de água na cidade.

Na etapa de análise das informações, estes dados coletados foram então analisados comparativamente entre si, tabelados e formatados de modo a se tornarem entradas (*input*) quando da modelagem proposta.

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange parte da bibliografia disponível em relação ao tema do estudo. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com a literatura relevante sobre o tema (MARCONI e LAKATOS, 2010).

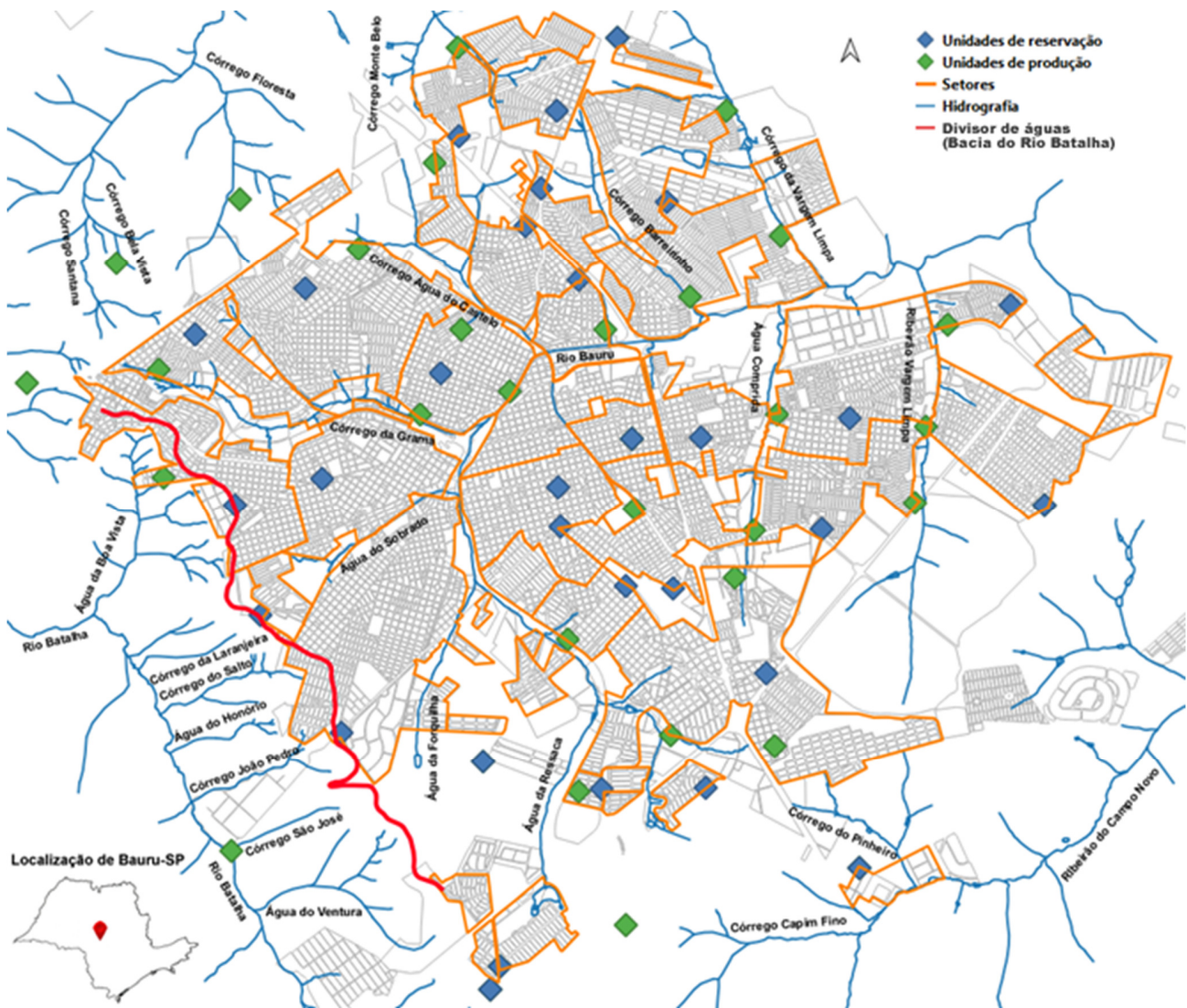
Para este estudo, a busca de literatura se deu por meio de levantamentos nas principais bases de dados disponíveis, como SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, ERIC (*Educational Resources Information Center*), Scopus, Web of Science, Google Scholar, visando prioritariamente publicações de artigos em revistas científicas. Foram utilizadas palavras-chaves pertinentes ao tema, notadamente “*hydric carrying capacity*”, “*stochastic frontier analysis*”, “*watter supply sectors*”, “*urban infrastructure*” e demais que fossem relevantes.

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo de caso foi aplicado em todos os setores de abastecimento existentes na cidade de Bauru, estado de São Paulo, caracterizando uma área de aproximadamente 103,77 quilômetros quadrados, conforme a Figura 6. Está localizada aproximadamente entre as latitudes 22°15' e 22°24' e entre as longitudes 48°58' e 49°08', com topografia variando entre 490 e 600 metros de altitude, aproximadamente. Segundo o último Censo, o município como um todo apresenta área de 667.681 quilômetros quadrados e 343.937 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012).

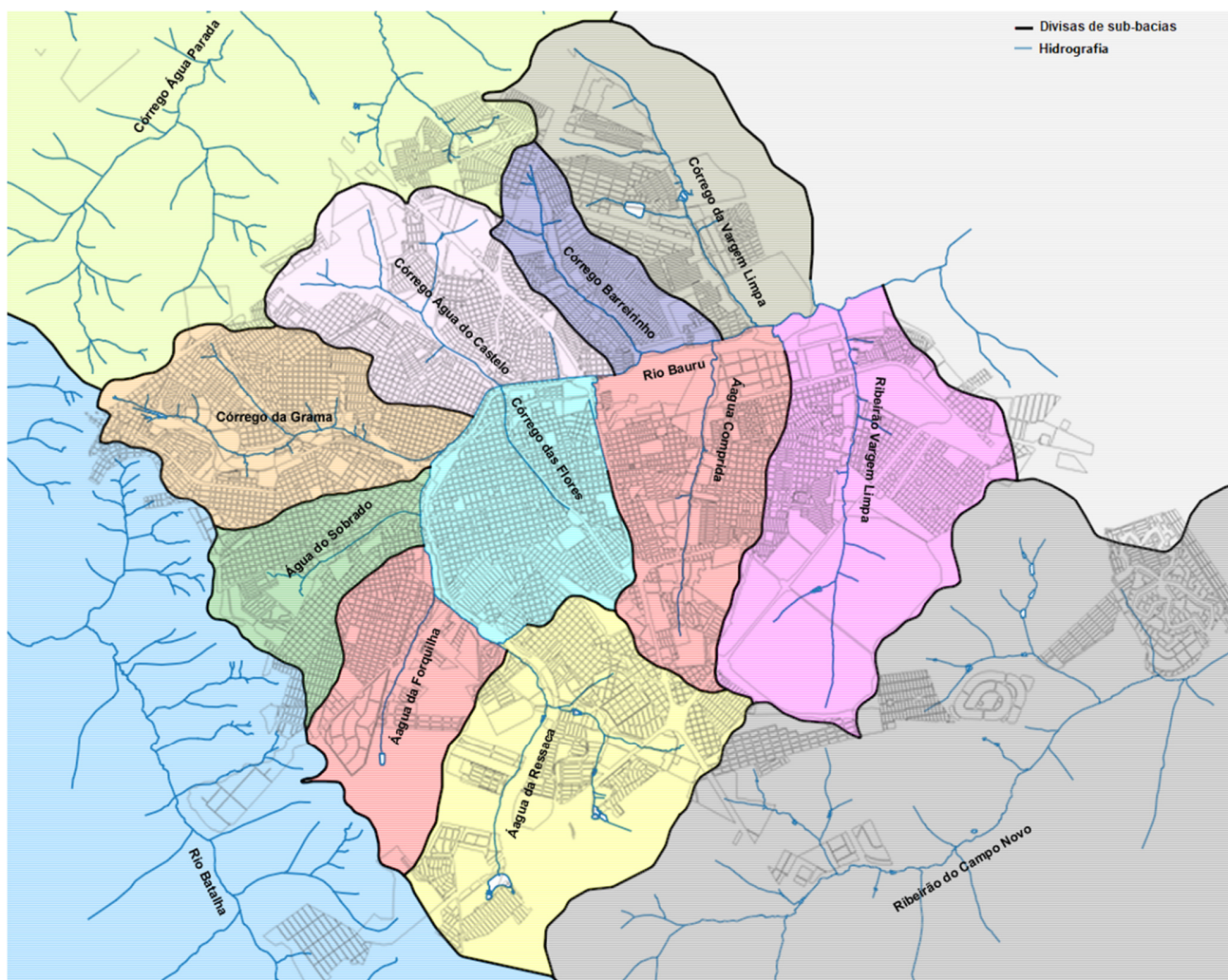
Inicialmente, o estudo aborda apenas as regiões urbanas da cidade atendidas com sistemas de abastecimento público de água, conforme delimitados na Figura 6, e excluindo-se, portanto, regiões com soluções próprias de abastecimento, loteamentos irregulares/clandestinos, ocupações precárias, loteamentos de chácaras entre outros que por ventura encontram-se dentro do perímetro urbano. Em sua maioria, a zona urbana efetivamente ocupada está inserida na bacia hidrográfica do Rio Bauru (as sub-bacias existentes estão representadas na Figura 7), com exceção de parte das regiões norte e sul da cidade, inseridas na bacia hidrográfica do córrego Água Parada e ribeirão do Campo Novo, respectivamente, bem como de pequenos trechos no extremo oeste da cidade que ocupam a bacia do Rio Batalha.

Figura 6 – Setores de abastecimento da cidade de Bauru.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7 – Sub-bacias existentes na região urbana da cidade de Bauru.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a classificação climática proposta por Thornthwaite, o município enquadra-se no clima BB'sb, ou seja, clima úmido (B), mesotérmico (B), com moderada eficiência de umidade no verão (s) e marcha anual da temperatura (b) concentrada em cerca de seis meses no ano, de outubro a março (FIGUEIREDO et al., 2010).

Em Bauru, as estações verão e inverno são bem definidas. Esta diferenciação está relacionada à pluviosidade e não à temperatura. Variações de temperatura não são determinantes para diferenciar as estações, já que Bauru apresenta temperaturas elevadas mesmo no inverno. A média de temperatura no verão é de 25,2 °C e no inverno é de 19,8 °C. No entanto, no inverno o número de dias sem chuva varia entre 82 a 91%, representando quase três meses sem chuva, e no verão apenas 49%. A umidade relativa do ar no município varia entre a média de 70% no verão e outono e 40% na primavera e inverno (FIGUEIREDO et al., 2010).

Outra característica da região são as chamadas chuvas tropicais, conhecidas por sua alta intensidade e curta duração. Estas ocorrem principalmente no período de final de tarde e início da noite, devido ao aquecimento ocorrido durante o dia, e são escassas nos meses de outono e inverno. O índice de pluviosidade em Bauru tem seu ápice durante os meses de outubro a março, com maior ênfase em janeiro, durante este período é que ocorre grande parte do total de chuvas esperado anualmente. Os meses secos ocorrem entre abril e setembro, sendo agosto o mês mais crítico. De acordo com dados de precipitações compilados pelo Instituto de Pesquisa Meteorológicas de Bauru entre 2001 e 2009, a média anual para a cidade foi de 1.147,52 milímetros, com máximo de 1.584,50 milímetros em 2009 e mínima de 870,90 milímetros em 2002 (ECOSSISTEMA CONSULTORIA AMBIENTAL, 2017).

Os solos são classificados como latossolo vermelho distrófico a leste do município de Bauru, argilossolo vermelho amarelo, argilossolo vermelho amarelo eutrófico e latossolo vermelho distrófico a oeste, com ocorrências de neossolo litólico ao sul (SILVA, 2009).

A vegetação nativa que recobria a área da cidade era constituída pelo cerrado e floresta tropical. O cerrado estava associado aos solos muito profundos e muito permeáveis, característicos do latossolo. A floresta tropical subcaducifólia era predominante nos solos podzólicos. Atualmente a mata nativa é considerada uma grande reserva urbana de cerrado, típico da região, e está presente na cabeceira do rio Bauru e no Jardim Botânico (SILVA, 2009).

Já com relação às águas subterrâneas e hidro estratigrafia do município, compreende o Sistema Aquífero Bauru (SAB), o Aquífero Serra Geral (ASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG), tendo como limite basal dessa sequência, o Aquicludo Passa Dois (APD). O Sistema Aquífero Bauru, de natureza granular, estende-se por todo o município de Bauru onde ocupa área de 667 quilômetros quadrados e alcança espessuras máximas da ordem de 200 metros nas regiões topográficas mais elevadas. Este sistema está representado, do topo para a base, pelas unidades hidro estratigráficas Marília, Adamantina e Araçatuba. O Aquífero Serra Geral (ASG) constitui o substrato do Sistema Aquífero Bauru em praticamente todo o estado de São Paulo, ressalvada a área de ocorrência da janela dada pela estrutura do Alto de Piratininga, sendo formado predominantemente por rochas vulcânicas basálticas, conferindo um comportamento de aquífero fissural. Por fim, o Sistema Aquífero Guarani (SAG), de natureza granular, é formado pelas unidades hidro estratigráficas Botucatu, superior, e Pirambóia inferior. Este possui ocorrência generalizada em todo o município de Bauru e, como resultado do soerguimento provocado pelo Alto de Piratininga, apresenta espessuras variando desde pouco mais de 20 metros, na porção sudoeste, até 320 metros, na porção nordeste do município (SIMONATO et al., 2017).

A situação e projeção demográfica para o município de Bauru foi apresentada no Plano Diretor de Águas (PDA), com o crescimento populacional sendo analisado por diversos métodos com diferentes

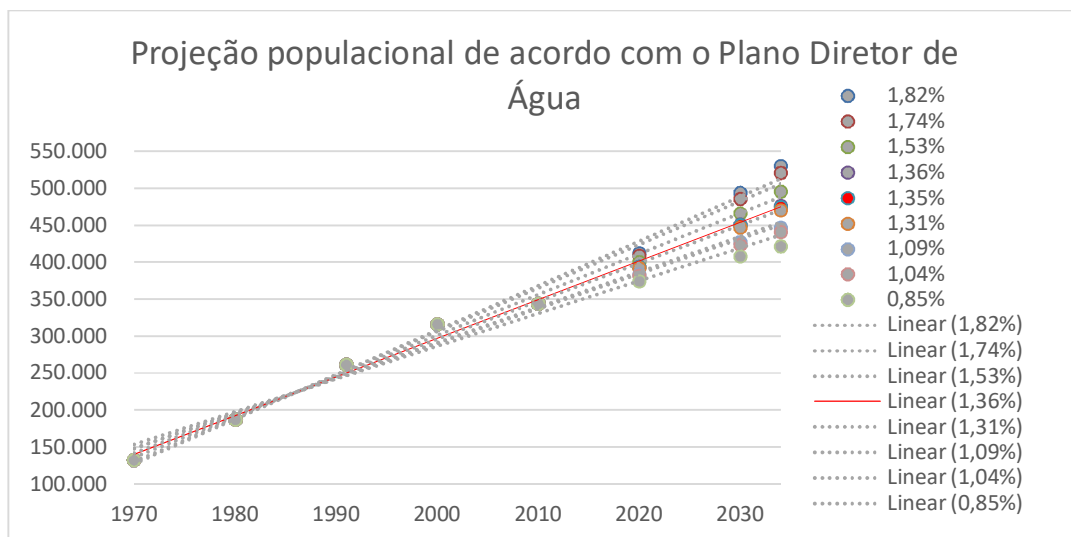
taxas de crescimento, sendo definido o método geométrico e adotada a taxa de crescimento anual de 1,35% (HIDROSAN, 2014), conforme Tabela 3 e Figura 8. Dos habitantes registrados no censo de 2010, 338.184 correspondem à população urbana e 5.733 à população rural. Em 2021, a estimativa de população total é de 381.706 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021).

Tabela 3 – Evolução populacional de Bauru segundo dados do IBGE.

Ano do censo	População (habitantes)	Taxa geométrica de crescimento anual (%)
1970	131.936	-
1980	186.659	3,53
1991	261.112	3,10
2000	316.064	2,14
2010	343.937	0,85

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021).

Figura 8 – Projeção populacional de acordo com o Plano Diretor de Água.



Fonte: Adaptado de Hidrosan (2014).

Já com relação aos setores de abastecimento, ficam em sua maioria inseridos na bacia do rio Bauru, sendo a maior parte do abastecimento de água provido através de águas subterrâneas de diversos poços profundos do aquífero Guarani – à exceção da unidade de produção UP41 – Tibiriçá, do aquífero Bauru, com parte da região oeste da cidade sendo abastecida através de águas superficiais do rio Batalha. Isso se dá devido a condições geológicas que impedem a viabilidade de exploração em escala suficiente para o abastecimento público dos aquíferos subterrâneos na região oeste da cidade, que compreende atualmente entre 20 a 30% da população total. Posteriormente, essa produção é armazenada em unidades

de reservação e então distribuída através de cerca 1.700 quilômetros de tubulações de variados materiais e diâmetros, conforme Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Abastecimento de manancial subterrâneo.

Unidade de produção	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Vazão (m³/h)
UP18 – Beija Flor	701.060,000	7.532.261,000	90,72
UP25 – Gasparini	697.496,000	7.536.081,000	214,42
UP26 – Bíblia	698.296,000	7.530.817,000	99,43
UR27 – Cruzeiro do Sul	702.381,000	7.530.466,000	101,48
UP31 – Mary Dota	702.447,000	7.533.207,000	272,66
UP32 – Nicéia	701.733,000	7.527.975,000	85,61
UP33 – Parque Real	692.988,000	7.529.499,000	57,43
UP34 – Bauru XXV	704.488,000	7.529.430,000	79,31
UP35 – Distrito III	694.171,000	7.533.774,000	128,52
UP36 – Samambaia	700.750,000	7.525.565,000	144,14
UP40 – Lotes Urbanizados	701.605,000	7.535.111,000	252,61
UP43 – Bauru XVI II	692.860,000	7.531.107,000	53,17
UP44 – Vargem Limpa	704.661,000	7.530.278,000	248,51
UP45 – Primavera	699.750,000	7.534.767,000	254,02
UP46 – Villagio	699.342,000	7.524.690,000	50,65
UP48 – Lago Sul	698.149,000	7.522.017,000	47,12
UP49 – Cardia	700.165,000	7.530.000,000	203,00
UP50 – Marabá	702.354,000	7.525.387,000	149,15
UP51 – Octávio Rasi	705.006,000	7.531.833,000	218,98
UP52 – Bauru XVI III	692.913,000	7.531.159,000	175,39
UP53 – Nações Unidas	700.195,000	7.529.029,000	180,43
UP54 – Manchester	706.478,000	7.529.090,000	153,61
UP55 – Roosevelt	695.980,000	7.533.007,000	183,24
UP56 – Zona Norte	699.937,000	7.536.231,000	207,54
UP57 – Val de Palmas	692.270,000	7.532.780,000	153,04
UP58 – Jardim TV	697.150,000	7.534.330,000	170,32
UP59 – Imperial	697.880,000	7.525.160,000	118,91
UP60 – Padilha	697.560,000	7.531.760,000	78,34
UP61 – Alphaville	700.079,000	7.522.655,000	56,45
UP62 – Estoril Premium	698.002,333	7.521.675,279	107,82
UP63 – Jardim América	699.176,770	7.527.028,020	174,24
UP64 – Geisel	701.974,674	7.528.647,910	209,92
UP65 – Santa Cândida	690.901,280	7.530.959,160	158,65

continua

conclusão

Unidade de produção	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Vazão (m³/h)
UP41 – Tibiriçá	683.617,000	7.539.691,000	23,04
UP47 – Chácaras Bauruenses	703.654,000	7.523.526,000	18,09
UP66 – Praça Portugal	698.975,550	7.528.705,190	110,00
UP67 – Infante Dom Henrique	700.791,000	7.527.807,000	180,00
UP68 – Alto Paraíso	695.427,000	7.529.486,000	20,00
Vazão total de produção subterrânea (m³/h)			5.229,96

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 – Abastecimento de manancial superficial (Rio Batalha).

Ponto de captação	Latitude 22°23'55"; Longitude 49°06'51"
Área contribuinte	120,64 km²
Vazão média plurianual	3.528,00 m³/h
Vazão de outorga para abastecimento	1.252,80 m³/h

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 – Unidades de reservação utilizadas no abastecimento dos setores.

Unidade de reservação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Volume (m³)
UR00 – ETA	695.721,000	7.525.597,000	5.500
UR01 – Praça Portugal	699.074,000	7.528.753,000	6.350
UR02 – Sede	699.038,000	7.529.359,000	2.000
UR03 – Bela Vista	697.244,000	7.531.101,000	1.850
UR04 – Parque Paulistano	701.218,000	7.530.118,000	1.350
UR05 – Alto Paraíso	695.427,000	7.529.486,000	5.750
UR06 – Ipê	698.530,000	7.533.362,000	850
UR07 – Geisel	703.068,000	7.528.703,000	2.900
UR08 – Jasmins	699.355,000	7.532.534,000	1.900
UR10 – Beija Flor	701.120,000	7.533.364,000	650
UR11 – Jardim América	700.080,000	7.527.833,000	650
UR12 – IX de Julho	695.161,000	7.532.400,000	3.900
UR15 – Vila Seca	694.085,000	7.529.073,000	2.200
UR16 – Octávio Rasi	705.952,000	7.532.128,000	1.150
UR19 e UR25 – Redentor	703.478,000	7.530.484,000	2.250
UR23 – Gasparini	697.524,000	7.534.726,000	2.150
UR28 – Mary Dota	700.704,000	7.533.739,000	3.850

continua

conclusão

Unidade de reservação	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Volume (m³)
UR29 – Shopping	700.791,000	7.527.807,000	2.250
UR32 – Nova Esperança	693.474,000	7.531.691,000	1.200
UR34 – Sabiás	694.481,000	7.527.395,000	1.250
UR35 – Santos Dummont	702.227,000	7.526.508,000	1.000
UR36 – Manchester	706.478,000	7.529.090,000	350
UR37 – Zona Norte	699.937,000	7.536.231,000	2.450
UR38 – Villagio	699.702,000	7.524.734,000	150
UR41 – Cardia	700.165,000	7.530.000,000	450
UR42 – Imperial	697.880,000	7.525.160,000	350
UR43 – Alphaville	701.287,840	7.524.755,640	250
UR44 – LEB	700.870,110	7.537.621,990	250
UR45 – Estoril Premium	698.002,333	7.521.675,279	250
UR39 – Chácaras Bauruenses	703.623,340	7.523.560,470	40
UR20 – Tibiriçá	683.220,730	7.539.882,010	120
Volume total de reservação (m³)			55.610

Fonte: Elaboração própria.

Os setores e suas denominações são representados na Tabela 7, bem como extensão territorial, número de ligações e economias, consumo mensal (que compreendem a média mensal calculada para o período de um ano imediatamente anterior ao mês de referência) e extensão de redes, todos com referência de junho de 2021.

Tabela 7 – Setores de abastecimento e seus dados de extensão, usuários e consumo.

ID	Setor	Território (m²)	Ligações	Economias	Consumo (m³/mês)	Redes (km)
1	UR00 Elevado	1.901.527,00	3.234	4.522	37.549	43,40
2	UR00 Terra 1	4.269.746,33	7.562	11.249	99.627	95,45
3	UR01 Elevado	651.231,84	1.182	2.974	32.086	18,10
4	UR01 Terra	1.986.954,73	4.206	8.306	80.369	47,45
5	UR02 Terra	2.413.789,18	4.457	8.426	68.914	44,28
6	UR03 Elevado 1	863.770,20	2.301	2.773	24.483	24,33
7	UR03 Terra 2	520.337,11	1.098	1.421	11.824	10,55
8	UR03 Elevado 2	855.164,24	2.077	2.836	25.991	19,98
9	UR03 Terra 1	546.678,07	1.126	1.858	15.035	12,00
10	UR04 Elevado	1.557.176,79	2.340	3.915	43.773	32,35
11	UR04 Terra	503.213,61	585	710	8.051	7,17

continua

ID	Setor	Território (m²)	Ligações	Economias	Consumo (m³/mês)	Redes (km)
12	UR05 Elevado	1.402.842,95	3.022	3.604	34.921	35,46
13	UR05 Terra	2.307.233,77	4.571	7.287	61.936	46,00
14	UR06 Elevado	804.430,59	1.771	2.207	24.690	21,94
15	UR06 Terra 1	981.459,64	1.515	2.232	22.324	18,40
16	UR07 Elevado	688.257,48	1.563	1.904	23.186	19,00
17	UR07 Terra	2.242.455,54	4.581	6.510	73.815	52,49
18	UR08 Elevado 1	617.435,16	1.520	1.847	18.916	16,41
19	UR08 Terra	702.909,68	969	1.217	14.335	13,75
20	UR11 Bomba	359.087,05	583	1.475	17.306	9,48
21	UR11 Terra	962.306,66	1.185	1.525	22.178	20,86
22	UR12 Elevado	2.147.106,14	4.256	5.072	50.370	48,49
23	UR12 Terra 1	3.952.769,36	8.835	10.457	106.999	85,19
24	UR15 Elevado	2.930.311,39	5.266	5.968	59.365	68,88
25	UR15 Terra 1	614.716,90	1.465	2.185	16.383	13,55
26	UR16 Terra	785.361,84	1.059	2.396	31.170	19,58
27	UR19 Elevado	2.490.027,99	4.337	5.438	54.619	51,82
28	UR20 Elevado	335.499,45	345	412	3.593	6,94
29	UR23 Elevado 2	693.690,44	1.351	1.750	18.142	17,40
30	UR23 Terra	472.485,62	901	965	10.827	9,86
31	UR25 Terra	2.372.795,57	1.637	2.226	41.998	23,51
32	UR28 Elevado 1	326.703,59	1.027	1.124	13.468	12,56
33	UR 28 Terra	3.684.679,16	8.068	9.045	100.160	75,43
34	UR29 Elevado	790.563,78	913	4.036	45.183	22,98
35	UR29 Terra	2.125.731,66	2.671	9.730	104.099	47,89
36	UR32 Elevado	1.237.258,52	2.785	3.114	29.985	29,16
37	UR32 Terra 1	817.896,52	1.631	3.305	26.612	20,85
38	UR34 Elevado	708.094,52	850	1.715	22.361	15,16
39	UR35 Terra 1	8.359.543,17	3.384	6.504	96.151	104,98
40	UR36 Elevado 1	3.710.497,37	892	1.076	14.094	30,37
41	UR37 Terra 1	1.414.311,33	2.641	3.131	33.013	45,23
42	UR38 Elevado	499.733,38	456	460	13.811	11,03
43	UR39 Terra	688.940,71	20	26	262	4,47
44	UR40 Elevado	1.044.851,54	483	486	14.272	17,73
45	UR41 Elevado	939.364,83	1.580	3.257	35.018	21,29

continua

ID	Setor	Território (m ²)	Ligações	Economias	Consumo (m ³ /mês)	Redes (km)
46	UR42 Elevado 2	593.340,23	567	657	10.958	12,92
47	UR43 Elevado	475.817,61	56	58	1.412	12,27
48	UR44 Elevado 3	2.947.032,54	3.019	3.551	33.758	25,74
49	UR36 Elevado 2	965.821,52	1.287	1.525	15.647	16,34
50	UR42 Elevado 5	442.971,16	132	135	2.429	9,71
51	UR42 Elevado 1	224.028,04	42	42	1.220	4,18
52	UR42 Elevado 3	78.213,69	74	75	1.479	1,79
53	UR42 Elevado 4	77.924,04	68	85	715	1,31
54	UR00 Terra 2	100.719,09	137	201	1.585	2,68
55	UR00 Terra 5	842.733,31	775	1.097	17.783	18,93
56	UR00 Terra 3	724.750,84	162	199	4.481	6,10
57	UR00 Terra 4	422.099,77	316	325	5.681	6,49
58	UR 06 Terra 2	928.489,67	1.494	1.608	19.916	18,49
59	UR08 Elevado 2	183.193,37	600	625	7.863	4,28
60	UR12 Terra 2	97.392,74	275	349	2.981	2,14
61	UR15 Terra 3	207.023,97	282	403	2.876	4,26
62	UR15 Terra 2	210.798,15	353	680	7.496	7,06
63	UR23 Elevado 1	443.279,21	1.135	1.253	14.281	14,28
64	UR28 Elevado 2	1.064.197,89	1.183	1.273	13.863	17,08
65	UR32 Terra 2	345.102,47	217	233	2.651	2,90
66	UR35 Terra 2	131.590,66	47	48	735	4,10
67	UR37 Terra 2	921.308,31	2.156	2.477	25.110	18,17
68	UR44 Elevado 1	322.619,83	5	5	259	3,84
69	UR44 Elevado 2	61.276,27	7	696	7.602	0,13
70	UR01 Bomba	450.451,86	478	1.625	23.997	11,10
71	UR37 Elevado	283.727,12	590	592	3.662	9,32
72	UR45 Elevado	240.420,17	25	27	331	5,99

Fonte: Elaboração própria.

3.2 Considerações realizadas nos dados

Os setores já especificados no item anterior, serão agora descritos em função dos dados de interesse para o desenvolvimento da modelagem, no caso a vazão média disponível de produção, consumo micro medido e número total de economias, estes dois últimos já apresentados anteriormente. Além disso, os setores citados anteriormente de uma mesma unidade de reservação e seus respectivos dados foram unificados, portanto como exemplo, os setores UR00 Terra 1, UR00 Terra 2, UR00 Terra 3,

UR00 Terra 4, UR00 Terra 5 e UR00 Elevado serão todos representados daqui em diante unicamente como o setor UR00 – ETA. Também foram compilados dados relativos a consumo energético e consumo de produtos químicos utilizados em cada setor de abastecimento.

Para a definição da vazão média de produção disponível, os critérios abaixo foram utilizados. Definições análogas foram utilizados para definição do consumo energético e consumo de produtos químicos quando necessário:

- Foram definidas quais as unidades de reservação abastecidas por unidade de produção, bem como a capacidade nominal e máxima da ETA;
- A produção captada e tratada na ETA, com o sistema em pleno funcionamento, atualmente é de em média 1.980,00 m³/h (apesar de possuir vazão de outorga de 1.252,80 m³/h) do manancial superficial em questão, o Rio Batalha, sendo este o valor considerado neste trabalho. Esta produção abastece diretamente três diferentes unidades de reservação: UR00 – ETA, com reservatório imediatamente após a saída de água tratada; UR01 – Praça Portugal, através de uma adutora de aproximadamente 4.600 metros que contém um *booster*; e UR05 – Alto Paraíso, através de uma adutora de aproximadamente 4.700 metros que também contém um *booster* para proporcionar, quando necessário, aumento da pressão de água aduzida. Como estes diferentes reservatórios não possuem medidores de vazão em suas entradas de água, fora considerada uma porcentagem da vazão total produzida como sendo encaminhada para cada um deles, totalizando 100%, definidas através da análise do histórico existente. Esta porcentagem foi definida proporcionalmente ao número de economias existentes em cada um dos setores;
- No caso das unidades de produção de poços que, através de manobras diárias, abasteçam duas unidades de reservação diferentes, fora considerada, devido à ausência de macro medidores instalados, que cada reservatório receba metade da produção, visto que o histórico de realização destas manobras apresenta grande variação em função de demandas pontuais. Foram os casos da unidade de produção UP18 – Beija Flor, que divide sua produção entre os reservatórios UR08 – Jasmins e UR28 – Mary Dota; da UP27 – Cruzeiro do Sul, entre os reservatórios UR04 – Parque Paulistano e UR19 – Redentor; da UP32 – Nicéia, entre os reservatórios UR29 – Shopping e UR07 – Geisel; da UP36 – Samambaia, entre os reservatórios UR29 – Shopping e UR35 – Santos Dummont; da UP49 – Cardia, entre os reservatórios UR41 – Cardia e UR04 – Parque Paulistano; e da UP52 – Bauru XVI III, entre os reservatórios UR32 – Nova Esperança e UR12 – IX de Julho;
- As vazões de produção referentes aos poços profundos receberam uma minoração da ordem de 0,833 em relação às vazões nominais citadas na Tabela 3, visto que seus períodos máximos de bombeamento são limitados a 20 horas diárias (DAEE, 2018);

- Eventos de importação e exportação de água entre diferentes reservatórios (através de bombeamento ou adução) foram considerados através da vazão nominal das bombas ou *boosters* existentes, bem como a vazão de adução das adutoras através da fórmula de Hazen-Williams, expressa na Equação (2). Para estes eventos, foram considerados as curvas das bombas e do sistema no bombeamento entre a unidade UR23 – Gasparini com destino à UR12 – IX de Julho; no bombeamento entre a UR05 – Alto Paraíso e a UR15 – Vila Seca; no bombeamento entre a UR00 – ETA e a UR34 – Sabiás; na adução entre a UR00 – ETA e a UR01 – Praça Portugal; na adução entre a UR00 – ETA e a UR05 – Alto Paraíso; na adução entre a UR01 – Praça Portugal e a UR02 – Sede; na adução entre a UR05 – Alto Paraíso e a UR03 – Bela Vista; no bombeamento entre a UR19 – Redentor e a UR07 – Geisel; no bombeamento entre a UR08 – Jasmins e a UR06 – Ipê; e no bombeamento entre a UR37 – Zona Norte e a UR44 – LEB.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot R^{1,17} \cdot A^{1,85}} \quad (2)$$

Onde:

$\frac{\Delta P}{L}$ = perda de carga por comprimento da tubulação

Q = vazão de escoamento na tubulação

C = coeficiente de rugosidade para o material

R = raio hidráulico

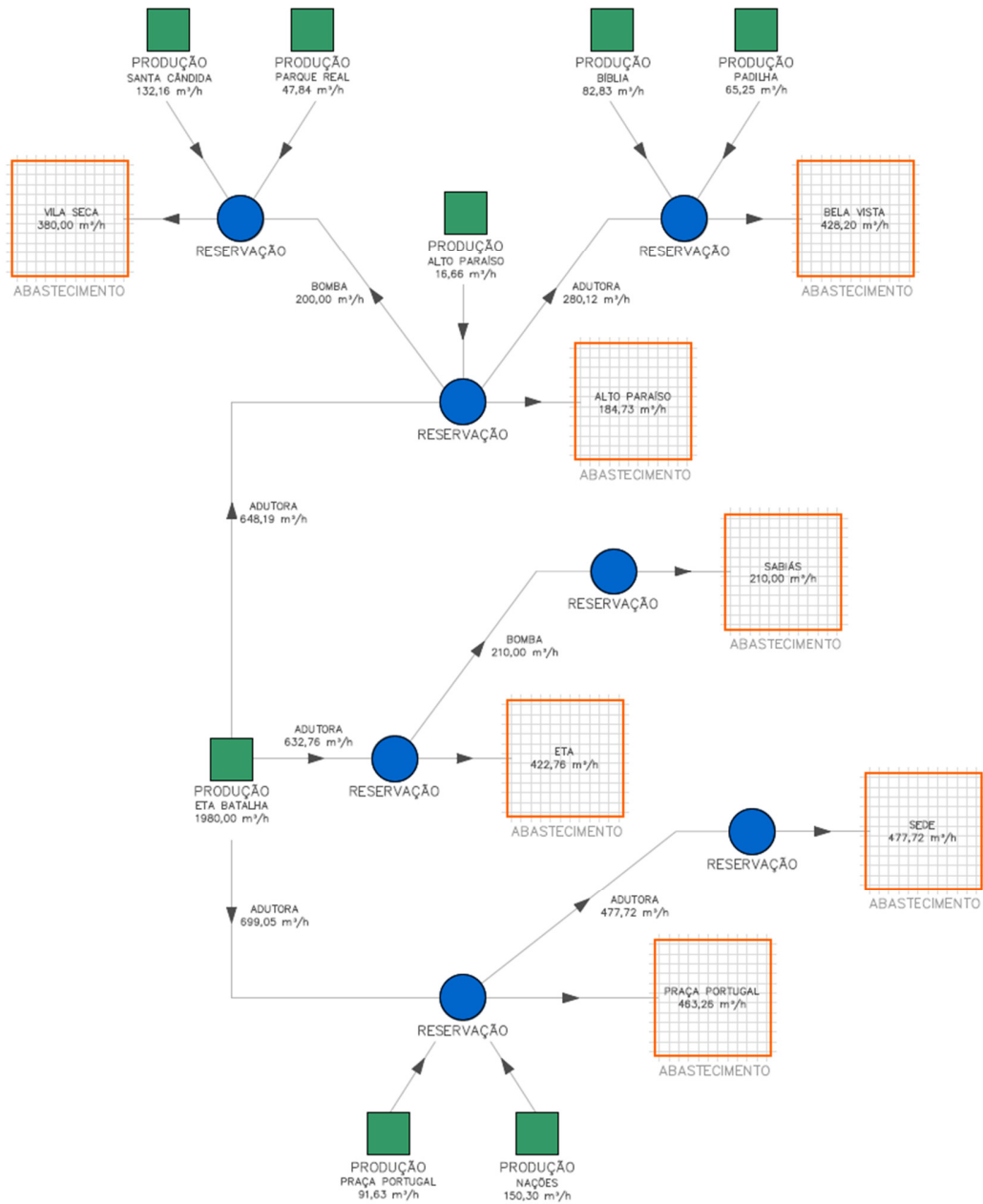
A = área interna da tubulação

- Por fim, foi aplicado o atual índice total de perdas na distribuição na cidade de Bauru/SP, de 46,50% do volume produzido, obtido através do indicador IN049 do SNIS (BRASIL, 2020).

Desta maneira, foram elaborados os fluxogramas exibidos nas Figuras 9 a 15, que definem os fluxos de produção de água e seus setores abastecidos. Para cada setor de abastecimento considerado, foram definidas as vazões oriundas das unidades de produção (poços profundos e estação de tratamento de água) e dos eventos de importação/exportação (através de adutoras e bombeamentos diversos), desta maneira, ao considerar-se as vazões que chegam ao nó (de sinal positivo) e as que saem (de sinal negativo), é possível obter o saldo, ou seja, a vazão média disponível em cada um dos nós representados pelos fluxogramas a seguir:

Figura 9 – Fluxograma do sistema Batalha.

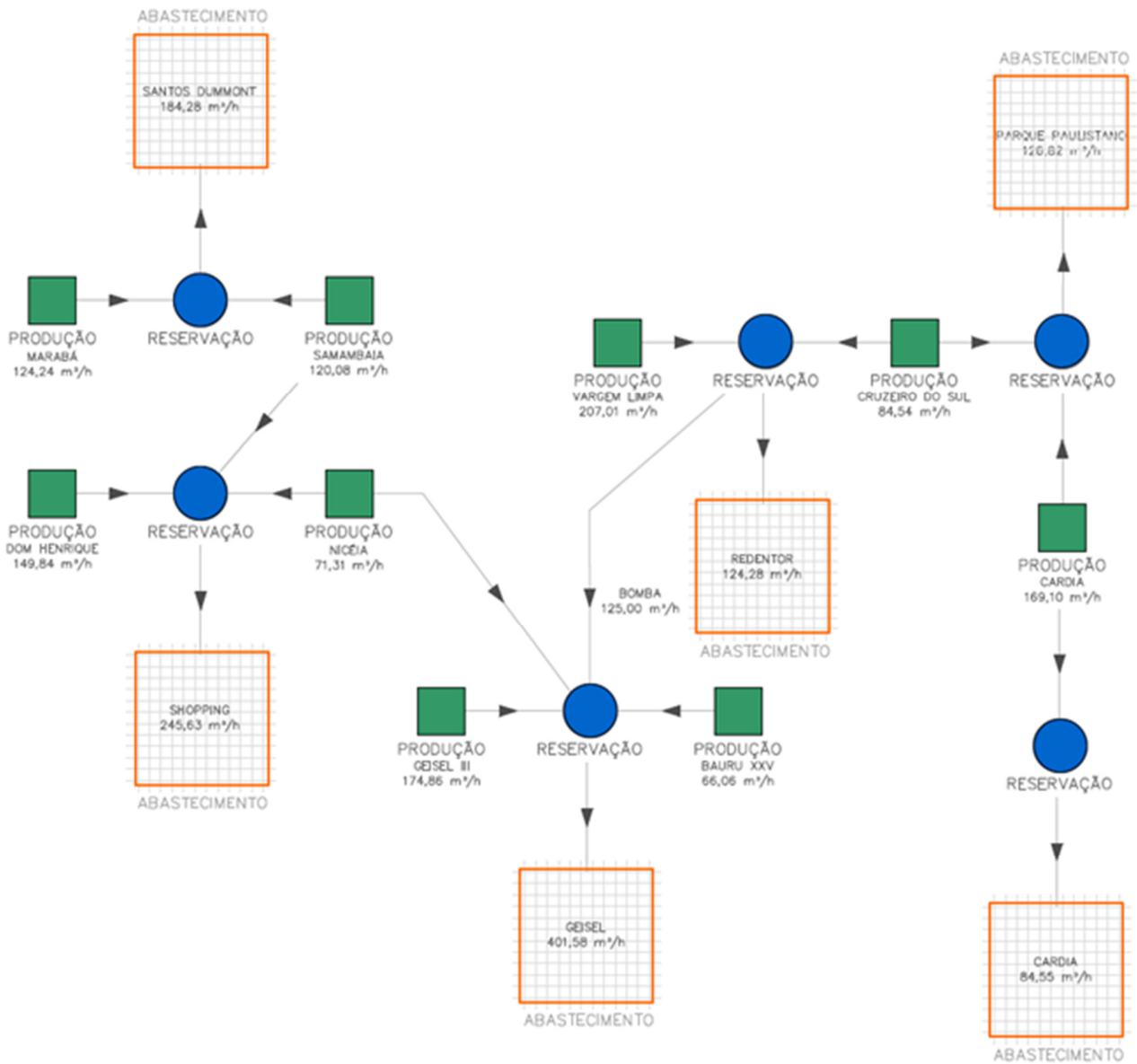
SISTEMA BATALHA



Fonte: Elaboração própria.

Figura 10 – Fluxograma do sistema Sudeste.

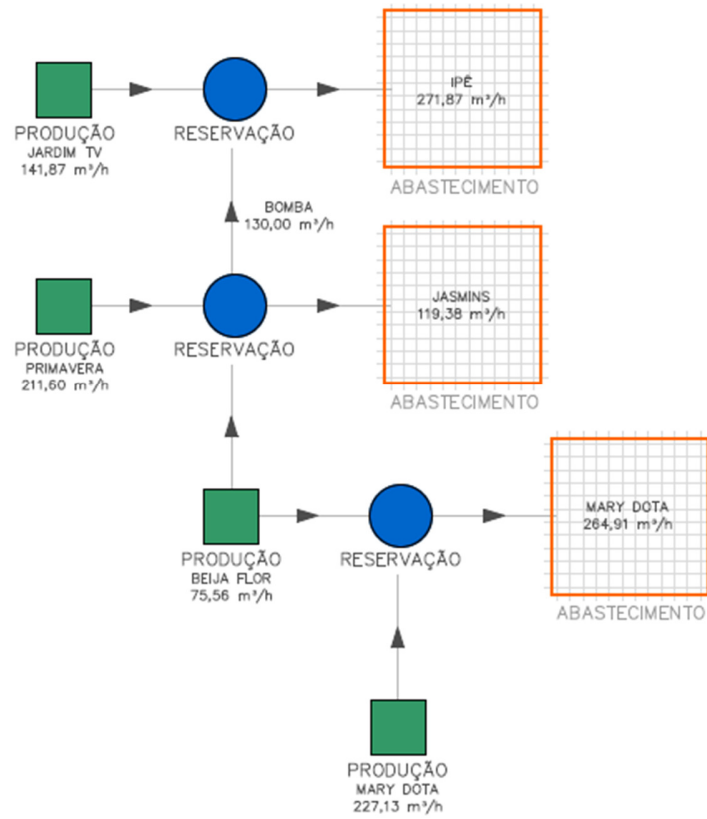
SISTEMA SUDESTE



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 – Fluxograma do sistema Leste.

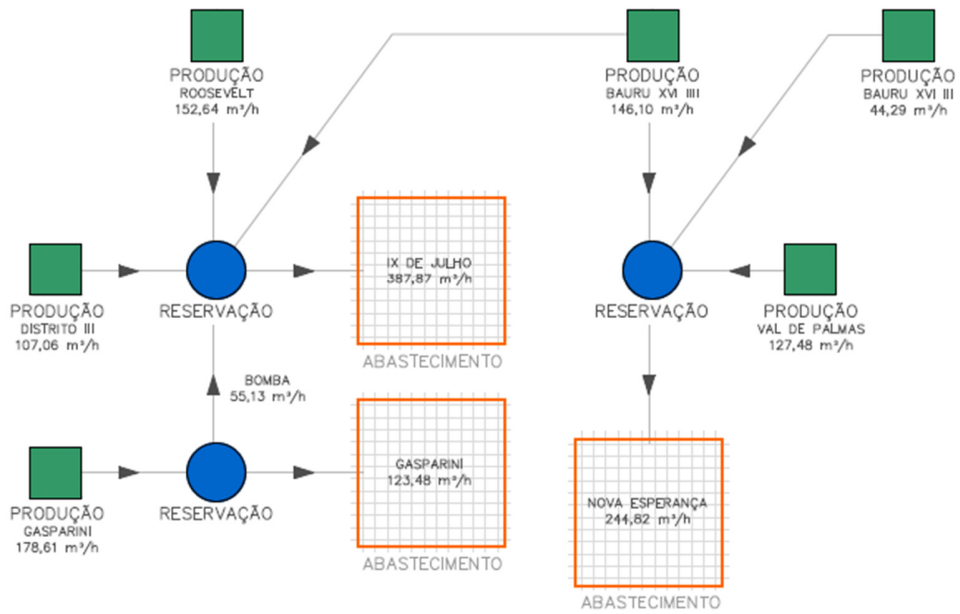
SISTEMA LESTE



Fonte: Elaboração própria.

Figura 12 – Fluxograma do sistema Noroeste.

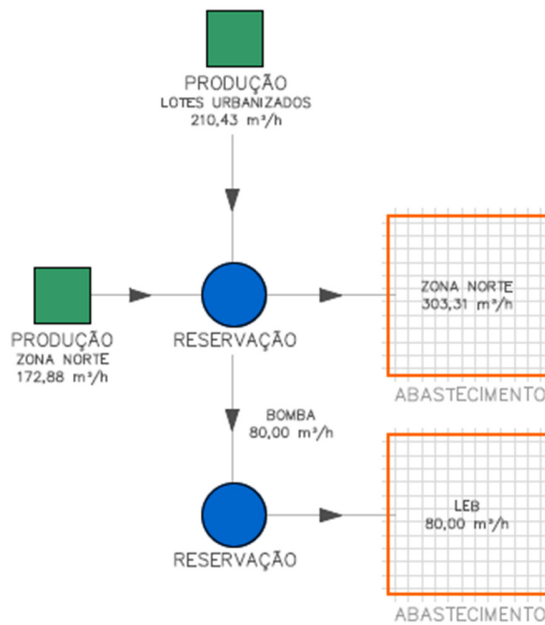
SISTEMA NOROESTE



Fonte: Elaboração própria.

Figura 13 – Fluxograma do sistema Norte.

SISTEMA NORTE



Fonte: Elaboração própria.

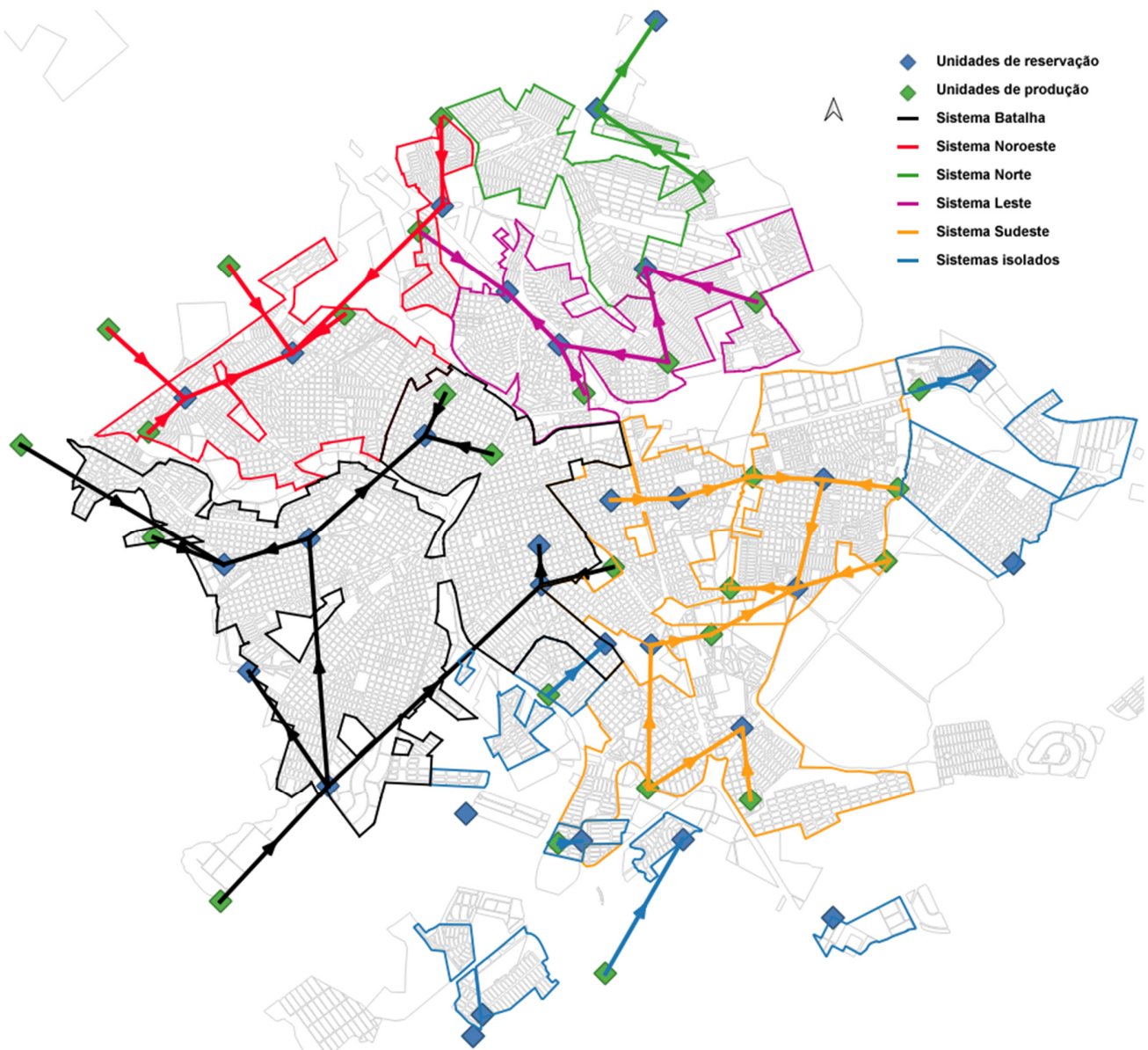
Figura 14 – Fluxograma dos setores isolados.

SISTEMAS ISOLADOS



Fonte: Elaboração própria.

Figura 15 – Fluxograma geral em junho de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, para se estimar a densidade populacional de cada setor, definiu-se a relação entre a população total na época de tratamento dos dados, estimada em 381.706 pessoas (IBGE, 2021), e o número total de economias residenciais ativas, também na mesma época de 182.520, chegando ao valor de 2,09 habitantes/economia, e posteriormente, multiplicando este valor pelo número de economias cadastradas em cada setor, chegando aos dados representados na Tabela 8, onde constam também os dados de consumo energético, produtos químicos e dados demográficos diversos de cada setor:

Tabela 8 – Densidade populacional, consumo energético e produtos químicos dos setores.

ID	Setor	Economias	Consumo energético (kWh)	Consumo de produtos químicos (kg)	Renda média (R\$)	Habitantes	Território (km ²)	Densidade demográfica (hab/km ²)
1	ETA	17.593	215.307	68.816	2.024,07	36.792	8,26	4.453,44
2	Praça Portugal	12.905	324.396	35.954	4.571,88	26.988	3,09	8.737,95
3	Sede	8.426	187.472	72.483	1.962,97	17.621	2,41	7.300,30
4	Bela Vista	8.888	219.528	43.855	1.609,62	18.588	2,79	6.671,90
5	Parque Paulistano	4.625	120.757	1.051	1.973,03	9.672	2,06	4.694,41
6	Alto Paraíso	10.891	187.298	41.104	2.174,14	22.776	3,71	6.139,08
7	Ipê	6.047	128.836	2.361	1.510,46	12.646	2,71	4.658,95
8	Geisel	8.414	241.728	4.160	1.485,50	17.596	2,93	6.004,10
9	Jasmins	3.689	203.762	1.219	1.558,59	7.715	1,50	5.131,13
10	Jardim América	3.000	102.623	1.139	6.370,81	6.274	1,32	4.747,97
11	IX de Julho	15.878	373.481	3.711	1.246,97	33.206	6,20	5.358,14
12	Vila Seca	9.236	221.846	26.525	1.257,69	19.315	3,96	4.874,10
13	Octávio Rasi	2.396	34.737	443	1.485,50	5.011	0,79	6.380,22
14	Redentor	7.664	206.223	1.541	1.414,09	16.028	4,86	3.295,99
15	Tibiriçá	412	4.901	213	1.485,50	862	0,34	2.568,17
16	Gasparini	3.968	131.099	1.041	1.220,60	8.298	1,61	5.155,98
17	Mary Dota	11.442	215.234	3.594	1.398,85	23.929	5,08	4.714,49
18	Shopping	13.766	163.930	792	4.336,08	28.789	2,92	9.871,76
19	Nova Esperança	6.652	197.993	3.509	1.284,99	13.911	2,40	5.795,79
20	Sabiás	1.715	19.977	26.553	1.485,50	3.587	0,71	5.065,14
21	Santos Dummont	6.552	207.361	1.734	8.436,17	13.702	8,49	1.613,71
22	Manchester	2.601	96.583	1.381	1.142,63	5.439	4,68	1.163,20
23	Zona Norte	6.200	374.611	3.675	1.201,22	12.966	2,62	4.950,14
24	Villagio	460	20.067	300	14.484,00	962	0,50	1.925,03
25	Chácaras Bauruenses	26	3.927	50	4.989,50	54	0,69	78,92
26	Lago Sul	486	16.992	342	14.484,00	1.016	1,04	972,75
27	Cardia	3.257	70.648	814	2.599,05	6.811	0,94	7.251,07
28	Imperial	994	60.164	384	11.631,59	2.079	1,42	1.467,56
29	Alphaville	58	3.804	24	14.484,00	121	0,48	254,92

continua

ID	Setor	Economias	Consumo energético (kWh)	Consumo de produtos químicos (kg)	Renda média (R\$)	Habitantes	Território (km ²)	Densidade demográfica (hab/km ²)
30	LEB	4.252	12.583	773	1.043,00	8.892	3,33	2.669,60
31	Estoril Premium	27	3.579	13	10.522,50	56	0,24	234,86

Fonte: Elaboração própria.

3.3 Desenvolvimento e calibração do modelo

Inicialmente, são apresentadas as variáveis a serem utilizadas na estimação do modelo da fronteira de produção estocástica de cada setor:

- Vazão média disponível (Q_i): Variável dependente da quantidade produzida, calculada considerando as vazões nominais de produção, os eventos de importação e exportação entre os setores e as perdas existentes no sistema, em metros cúbicos por hora (m³/h);
- Território (A_i): Área territorial total atendida pelo setor de abastecimento, em quilômetros quadrados (km²);
- Redes de abastecimento (L_i): Extensão linear total de redes de diversos diâmetros existentes dentro do território de cada setor de abastecimento, responsável pelo transporte da vazão produzida entre unidades e pela distribuição ao consumidor final, em quilômetros (km);
- Economias (N_i): Número total de unidades consumidoras existentes no setor de abastecimento, compilada em unidades;
- Consumo energético (E_i): Consumo energético utilizado em cada setor, considerando os consumos referentes aos poços profundos, bombas de captação de água bruta, *boosters* e bombeamentos diversos em unidades para realização do devido abastecimento, compilado em quilowatt-hora (kWh);
- Consumo de produtos químicos (P_i): Consumo de produtos químicos diversos (sulfato de alumínio, cal, cloro, ácido fluossilícico, poli fosfato, dióxido de cloro, ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio) utilizados no tratamento de água produzida, tanto na estação de tratamento de água bruta como nas unidades de tratamento dos poços profundos, compilado em quilogramas (kg);
- Densidade demográfica (D_i): Relação entre o número de habitantes estimado para o setor pela área territorial total abrangida, compilada em habitantes por quilômetros quadrados (hab/km²);

- Renda média (R_i): Composição da renda média para cada setor de abastecimento, obtido através de dados do IBGE, compilada em unidade monetária vigente (R\$).

Portanto, o eventual modelo a ser utilizado, se composto por todas as possíveis variáveis elencadas, segue a especificação original de Battese e Coelli (1995), com logaritmo natural. O provável modelo é uma versão linearizada da função de produção Cobb-Douglas, onde a produção é uma função dos produtos químicos e energia utilizada nas unidades produtoras, extensão de redes de abastecimento, número de economias, área de abrangência, densidade demográfica e renda média do setor em questão. Os dados utilizados correspondem a apenas um período de observação (referência de junho de 2021), portanto pode-se considerar o modelo como um caso particular do modelo geral considerando-se o fator tempo como unitário.

Frente a utilização da forma de Cobb-Douglas na base logarítmica natural, as variáveis de interesse são representadas através de seu logaritmo natural na Tabela 9:

Tabela 9 – Possíveis variáveis do modelo representadas pelo seu logaritmo natural.

ID	Setor	$\ln(Q_i)$	$\ln(P_i)$	$\ln(E_i)$	$\ln(L_i)$	$\ln(N_i)$	$\ln(A_i)$	$\ln(R_i)$	$\ln(D_i)$
1	ETA	5,50	11,14	12,28	5,07	9,78	2,11	7,61	8,40
2	Praça Portugal	5,51	10,49	12,69	4,34	9,47	1,13	8,43	9,08
3	Sede	5,54	11,19	12,14	3,79	9,04	0,88	7,58	8,90
4	Bela Vista	5,43	10,69	12,30	4,20	9,09	1,02	7,38	8,81
5	Parque Paulistano	4,22	6,96	11,70	3,68	8,44	0,72	7,59	8,45
6	Alto Paraíso	4,76	10,62	12,14	4,40	9,30	1,31	7,68	8,72
7	Ipê	4,90	7,77	11,77	3,70	8,71	1,00	7,32	8,45
8	Geisel	5,32	8,33	12,40	4,27	9,04	1,08	7,30	8,70
9	Jasmins	4,32	7,11	11,22	3,41	8,21	0,41	7,35	8,54
10	Jardim América	4,35	7,04	11,54	3,41	8,01	0,28	8,76	8,47
11	IX de Julho	5,31	8,22	12,83	4,91	9,67	1,82	7,13	8,59
12	Vila Seca	5,22	10,19	12,31	4,54	9,13	1,38	7,14	8,49
13	Octávio Rasi	4,58	6,09	10,46	2,97	7,78	-0,24	7,30	8,76
14	Redentor	4,35	7,34	12,24	4,32	8,94	1,58	7,25	8,10
15	Tibiricá	2,36	5,36	8,50	1,94	6,02	-1,09	7,30	7,85
16	Gasparini	4,26	6,95	11,78	3,73	8,29	0,48	7,11	8,55
17	Mary Dota	4,95	8,19	12,28	4,65	9,35	1,62	7,24	8,46
18	Shopping	4,88	6,67	12,01	4,26	9,53	1,07	8,37	9,20
19	Nova Esperança	4,88	8,16	12,20	3,97	8,80	0,88	7,16	8,66
20	Sabiás	4,54	10,19	9,90	2,72	7,45	-0,35	7,30	8,53
21	Santos Dummont	4,59	7,46	12,24	4,69	8,79	2,14	9,04	7,39
22	Manchester	4,23	7,23	11,48	3,84	7,86	1,54	7,04	7,06
23	Zona Norte	5,13	8,21	12,83	4,04	8,73	0,96	7,09	8,51
24	Villagio	3,12	5,70	9,91	2,40	6,13	-0,69	9,58	7,56
25	Chácaras Bauruenses	2,09	3,91	8,28	1,50	3,26	-0,37	8,52	4,37

continua

ID	Setor	ln(Q _i)	ln(P _i)	ln(E _i)	ln(L _i)	ln(N _i)	ln(A _i)	conclusão	
								ln(R _i)	ln(D _i)
26	Lago Sul	3,04	5,83	9,74	2,88	6,19	0,04	9,58	6,88
27	Cardia	3,81	6,70	11,17	3,06	8,09	-0,06	7,86	8,89
28	Imperial	3,97	5,95	11,00	3,40	6,90	0,45	9,36	7,19
29	Alphaville	3,23	3,18	8,24	2,51	4,06	-0,74	9,58	5,54
30	LEB	3,57	6,65	9,44	3,39	8,36	1,20	6,95	7,89
31	Estoril Premium	3,87	2,56	8,18	1,79	3,30	-1,43	9,26	5,46

Fonte: Elaboração própria.

Na sequência, de modo a avaliar eventuais redundâncias nas variáveis elencadas, foi verificada a correlação linear entre as variáveis apresentadas, através do coeficiente de correlação de Pearson, calculado conforme Tabela 10:

Tabela 10 – Matriz de correlação entre as variáveis.

Correlação linear	ln(Q _i)	ln(P _i)	ln(E _i)	ln(L _i)	ln(N _i)	ln(A _i)	ln(R _i)	ln(D _i)
ln(Q _i)	1,00	0,79	0,86	0,83	0,81	0,69	-0,44	0,71
ln(P _i)	0,79	1,00	0,75	0,73	0,81	0,66	-0,52	0,73
ln(E _i)	0,86	0,75	1,00	0,92	0,91	0,83	-0,45	0,75
ln(L _i)	0,83	0,73	0,92	1,00	0,90	0,94	-0,42	0,65
ln(N _i)	0,81	0,81	0,91	0,90	1,00	0,83	-0,59	0,89
ln(A _i)	0,69	0,66	0,83	0,94	0,83	1,00	-0,44	0,48
ln(R _i)	-0,44	-0,52	-0,45	-0,42	-0,59	-0,44	1,00	-0,57
ln(D _i)	0,71	0,73	0,75	0,65	0,89	0,48	-0,57	1,00

Fonte: Elaboração própria.

Pode se observar uma correlação linear significativa, superior a 90%, entre as variáveis:

- Consumo energético (E_i) e Redes de abastecimento (L_i): 0,91. Apesar de a alta correlação linear verificada pelo coeficiente de correlação de Pearson, o consumo energético foi mensurado através das informações da concessionária de energia elétrica local para o consumo de cada unidade produtora (poço profundo, estação de tratamento de água, *booster*, entre outros), enquanto que a extensão da rede de abastecimento contempla a mensuração das redes existentes no setor, portanto entende-se tratar de variáveis que refletem componentes e aspectos distintos em um setor de abastecimento, respectivamente produção e distribuição;
- Consumo energético (E_i) e Economias (N_i): 0,91. Novamente, apesar de a alta correlação linear verificada pelo coeficiente de Pearson, o consumo energético foi mensurado através das informações da concessionária de energia elétrica local para o consumo de cada unidade produtora (poço profundo, estação de tratamento de água, *booster*, entre outros), enquanto que o número de economias retrata diretamente o número de unidades consumidoras no setor, portanto

entende-se tratar de variáveis que refletem componentes e aspectos distintos em um setor de abastecimento, respectivamente produção e consumo;

- Redes de abastecimento (L_i) e Economias (N_i): 0,90. Em que pese tratar-se de variáveis que refletem componentes distintos em um setor de abastecimento, respectivamente distribuição e consumo, esta distinção só se faz presente caso haja considerável variabilidade de ocupação verticalizada entre os diferentes setores analisados. Caso contrário, haverá considerável relação direta entre a extensão das redes de abastecimento e o número de economias atendidas, o que se nota como o caso dado o valor do coeficiente de Pearson;
- Redes de abastecimento (L_i) e Território (A_i): 0,94. Novamente, a distinção entre estas variáveis só se faz presente em caso de considerável variabilidade de ocupação verticalizada entre os setores analisados, o que não se mostra o caso dado o valor do coeficiente de Pearson.

Nota-se também a presença da variável Redes de abastecimento (L_i) em três dos quatro casos analisados. Sendo assim, é considerável sua correlação linear com outras variáveis presentes do modelo, e, de modo a evitar possíveis vieses, a mesma será excluída do modelo proposto. Além disso, a variável de Densidade demográfica (D_i) é uma relação expressa entre as variáveis Economias (N_i) e Território (A_i) multiplicada por um fator que representa o número médio de habitantes por economia. Sendo assim, também de modo a evitar possíveis vieses será utilizada apenas a variável de Densidade demográfica (D_i).

Em sequência, para o desenvolvimento do modelo ante os 31 setores analisados, foi considerada uma proporção de cerca de 80% deles destinados à calibração do modelo (25 setores), e os outros 20% destinados à verificação e validação do modelo (6 setores), buscando ajustar os parâmetros do modelo para que ele reproduza resultados realistas, no período de Junho de 2021.

São então inseridas as variáveis em seu formato logarítmico natural, sendo calculados pelos *softwares nLogit e Frontier* os diversos parâmetros e dados de interesse para composição e posterior verificação do modelo.

De modo a avaliar os modelos propostos, foram comparados seus respectivos valores do Critério de Informação de Akaike. O Critério de Informação de Akaike (AIC) foi desenvolvido por Hirotugu Akaike, pioneiro no campo da modelagem de dados estatísticos e identificação de modelos estatísticos. Originado da minimização da informação de Kullback-Leibler (KULLBACK e LEIBLER, 1951) e proposto em Akaike (1973), o AIC é um critério que avalia a qualidade do ajuste do modelo paramétrico, estimado pelo método da máxima verossimilhança (MOURA, 2021).

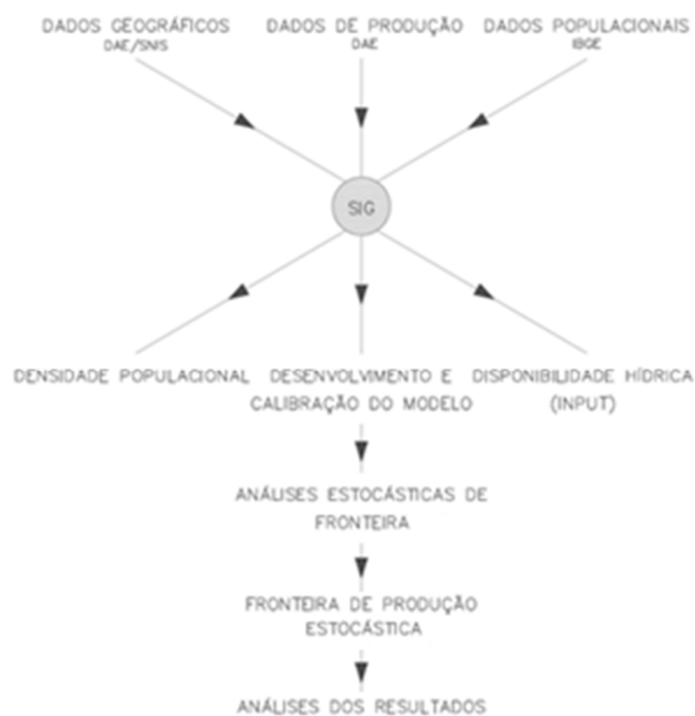
Portanto, o resultado da equação do modelo a ser definido delimita, com seus parâmetros calculados, a forma funcional Cobb-Douglas para estimar a fronteira de produção estocástica em um

dado setor de abastecimento de água, em função de suas variáveis independentes e permitindo a análise e avaliação de eficiência de cada amostra. Logo, o desenvolvimento do modelo seguiu as seguintes etapas:

- Foram inseridos na ferramenta SIG os dados geográficos, hídricos, populacionais e cadastrais de cada um dos setores unificados de abastecimento;
- Através dos dados de produção, importação e exportação e os fluxogramas de adução de água, foi definida a vazão média disponível (ou disponibilidade hídrica do setor) em m³/h, uma das possíveis variáveis do modelo;
- Através de dados operacionais, foram definidos também os dados de consumo de energia elétrica e produtos químicos, de modo a compor outras possíveis variáveis do modelo juntamente aos dados cadastrais (território do setor, número de economias atendidas, extensão de redes, densidade demográfica e renda média);
- Ajuste e gerenciamento dos dados obtidos através de planilhas e mapas na ferramenta SIG;
- Definição, através de análise qualitativa, dos setores a serem utilizados na calibração e no desenvolvimento e verificação do modelo;
- Levantamento inicial das variáveis a serem aplicados no modelo;
- Análise de correlação linear entre as variáveis de interesse utilizando o coeficiente de Pearson;
- Inserção das variáveis escolhidas para compor o modelo nos *softwares nLogit e Frontier* para o cálculo da fronteira de produção estocástica;
- Tratamento, exibição e análise dos resultados através de gráficos e mapas temáticos gerados na ferramenta SIG.

A Figura 16 ilustra o fluxograma do método proposto conforme os passos anteriores:

Figura 16 – Fluxograma do desenvolvimento e calibração do modelo.



Fonte: Elaboração própria.

Para realizar as operações matemáticas oriundas da modelagem estocástica de fronteira (SFA), foi utilizado o *software nLogit v5* desenvolvido pela empresa *Econometric Software, Inc*, bem como o *software Frontier 4.1* desenvolvido pelo pesquisador Timothy Coelli. Foi utilizado também, o *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) *QGIS 3* da *Free Software Foundation, Inc.*, de licença gratuita, onde foi possível manipular os dados e os resultados, bem como elaborar a exibição deles através de mapas temáticos.

Os dados relativos aos sistemas de abastecimento foram coletados junto ao Departamento de Água e Esgoto de Bauru (DAE), autarquia municipal responsável pelo abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto na cidade. Dados complementares, como o índice de perdas existente no sistema de distribuição da cidade, também puderam ser obtidos através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Salienta-se que alguns destes dados possuem variabilidades que não são refletidas efetivamente nos valores tabelados. Os dados de produção, por exemplo, tanto dos poços profundos quanto da estação de tratamento de água do rio Batalha, são estimados através de horímetros, ou seja, pelo produto das horas de funcionamento de determinada unidade pela sua vazão de produção média, o que acaba por não totalizar fielmente variações de vazão e outras singularidades que seriam devidamente contabilizadas caso houvesse medidores de vazão e totalizadores de volume em todas as unidades. São poucos também

os reservatórios que possuem medidores de vazão de saída. Além disso, existem diversos eventos de importação e exportação entre diferentes setores (como manobras em adutoras e bombeamentos entre reservatórios) que são realizados conforme imposições de demanda e manutenções que não são registrados por equipamentos de medição.

Outro ponto a ser destacado, é que os setores de abastecimento apresentam uma delimitação que não condiz na totalidade com a realidade em campo, visto que poucas regiões são verdadeiramente setorizadas, ou seja, nem sempre há uma clara divisão entre as redes de um setor e outro, o que impossibilita, por exemplo, a realização de balanços hídricos totalmente fidedignos, visto que podem haver eventos de importação e exportação de água entre as redes de diferentes setores de acordo com demandas pontuais de consumo e outras situações onde não há capacidade de registro e medição adequada destes.

4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com os modelos desenvolvidos e suas implicações, bem como o cálculo da disponibilidade hídrica para os setores de abastecimento analisados no estudo de caso da cidade de Bauru – SP.

Através dos fluxogramas previamente elaborados ao longo do capítulo 3, onde em cada setor é considerada a vazão de produção (seja por poços profundos ou pela estação de tratamento de água) e os eventos de importação/exportação (seja por bombeamentos ou adutoras diversas), resultando no saldo, ou vazão média disponível de cada setor, foi possível chegar à Tabela 11:

Tabela 11 – Setores unificados e seus dados de vazão média disponível.

ID	Setor		Vazão média disponível (m ³ /h)				Saldo após perdas
			Origem	Produção	Importação	Exportação	
1	UR00	ETA	Batalha	632,76	-	-	244,94
			Sabiás	-	-	-174,93	
2	UR01	Praça Portugal	Batalha	699,05	-	-	247,84
			Praça Portugal	91,63	-	-	
			Nações	150,30	-	-	
			Sede	-	-	-477,72	
3	UR02	Sede	Praça Portugal	-	477,72	-	255,58
4	UR03	Bela Vista	Padilha	65,25	-	-	299,09
			Bíblia	82,83	-	-	
			Alto Paraíso	-	280,12	-	
5	UR04	Parque Paulistano	Cruzeiro do Sul	42,27	-	-	67,85
			Cardia	84,55	-	-	
6	UR05	Alto Paraíso	Batalha	648,19	-	-	116,70
			Alto Paraíso	16,66	-	-	
			Vila Seca	-	-	-166,60	
			Bela Vista	-	-	-280,12	
7	UR06	Ipê	Jardim TV	141,87	-	-	133,84
			Jasmins	-	108,29	-	
8	UR07	Geisel	Bauru XXV	66,06	-	-	203,68
			Nicéia	35,66	-	-	
			Geisel III	174,86	-	-	
			Redentor	-	104,13	-	
9	UR08	Jasmins	Primavera	211,60	-	-	75,48
			Beija Flor	37,78	-	-	
			Ipê	-	-	-108,29	
10	UR11	Jardim América	Jardim América	145,14	-	-	77,65
11	UR12	IX de Julho	Distrito III	107,06	-	-	202,59
			Roosevelt	152,64	-	-	
			Bauru XVI III	73,05	-	-	
			Gasparini	-	45,92	-	

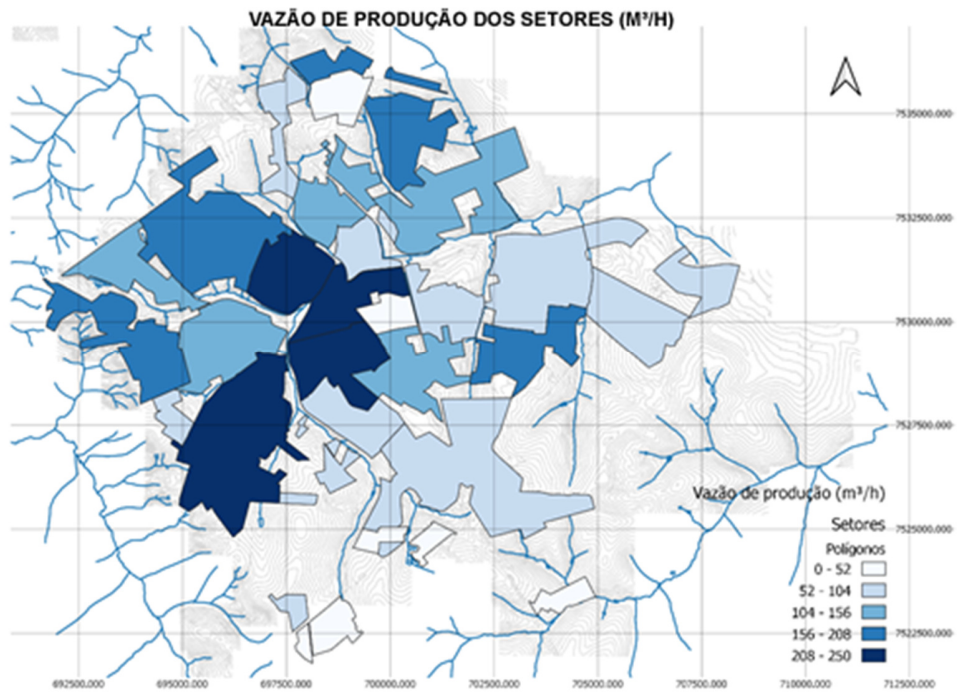
continua

ID	Setor		Vazão média disponível (m³/h)				Saldo após perdas
			Origem	Produção	Importação	Exportação	
12	UR15	Vila Seca	Alto Paraíso	-	166,60	-	185,43
			Santa Cândida	132,16	-	-	
			Parque Real	47,84	-	-	
13	UR16	Octávio Rasi	Octávio Rasi	182,41	-	-	97,59
14	UR19	Redentor	Vargem Limpa	207,01	-	-	77,66
			Cruzeiro do Sul	42,27	-	-	
			Geisel	-	-	-104,13	
15	UR20	Tibiriçá	Tibiriçá	19,70	-	-	10,54
16	UR23	Gasparini	Gasparini	178,61	-	-	70,99
			IX de Julho	-	-	-45,92	
17	UR28	Mary Dota	Mary Dota	227,13	-	-	141,73
			Beija Flor	37,78	-	-	
18	UR29	Shopping	Infante Dom Henrique	149,94	-	-	131,41
			Nicéia	35,66	-	-	
			Samambaia	60,04	-	-	
19	UR32	Nova Esperança	Val de Palmas	127,48	-	-	130,98
			Bauru XVI III	73,05	-	-	
			Bauru XVI II	44,29	-	-	
20	UR34	Sabiás	ETA	-	174,93	-	93,59
21	UR35	Santos Dummont	Samambaia	60,04	-	-	98,59
			Marabá	124,24	-	-	
22	UR36	Manchester	Manchester	127,96	-	-	68,46
23	UR37	Zona Norte	Zona Norte	172,88	-	-	169,42
			Lotes Urbanizados	210,43	-	-	
			LEB	-	-	-66,64	
24	UR38	Villagio	Villagio III	42,19	-	-	22,57
25	UR39	Chácaras Bauruenses	Chácaras Bauruenses	15,07	-	-	8,06
26	UR40	Lago Sul	Lago Sul	39,25	-	-	21,00
27	UR41	Cardia	Cardia	84,55	-	-	45,23
28	UR42	Imperial	Jardim Imperial	99,05	-	-	52,99
29	UR43	Alphaville	Alphaville	47,02	-	-	25,16
30	UR44	LEB	Zona Norte	-	66,64	-	35,65
31	UR45	Estoril Premium	Estoril Premium	89,81	-	-	48,05
Vazão média disponível total (m³/h)							3.460,34

Fonte: Elaboração própria.

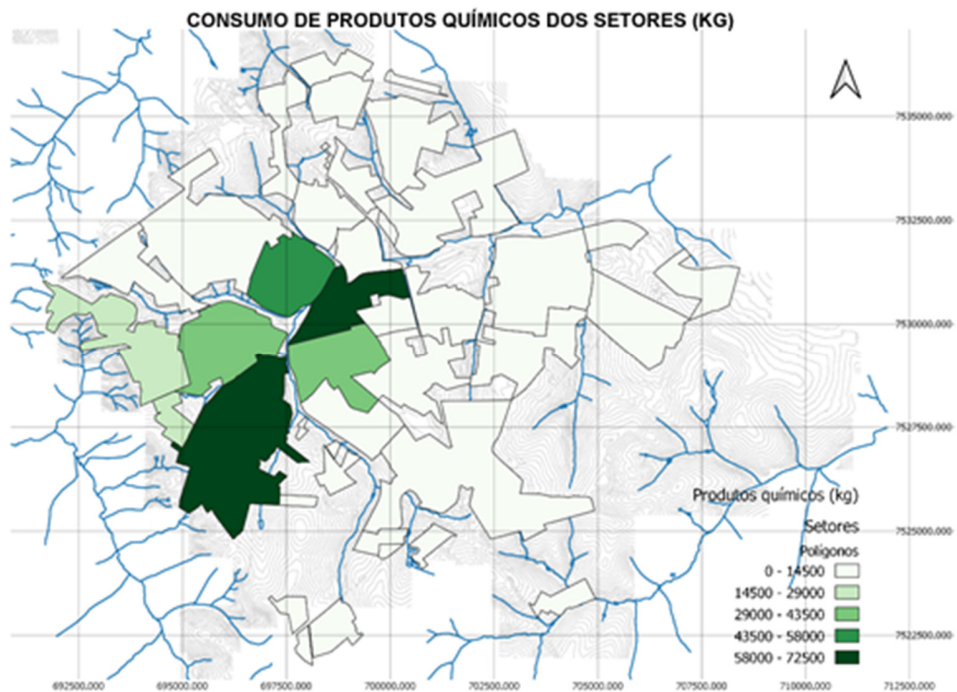
Frente a definição da vazão média disponível e demais variáveis de interesse no capítulo 3, foram elaborados mapas temáticos de graduação dessas variáveis em cada um dos setores, conforme Figuras 17 a 21 a seguir:

Figura 17 – Mapa de graduação da vazão de produção de cada setor.



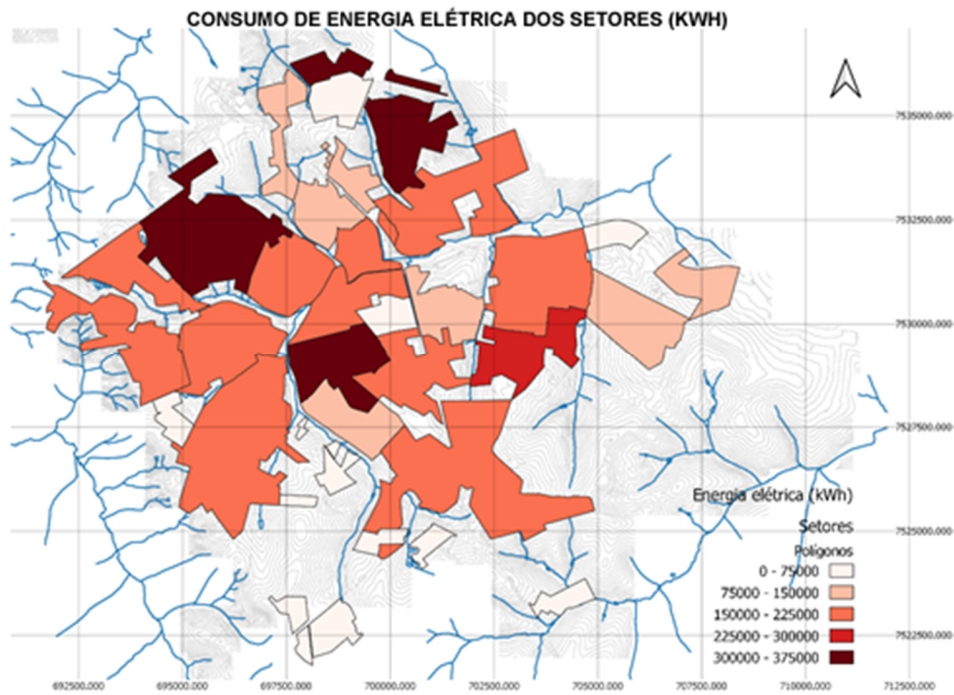
Fonte: Elaboração própria.

Figura 18 – Mapa de graduação do consumo de produtos químicos de cada setor.



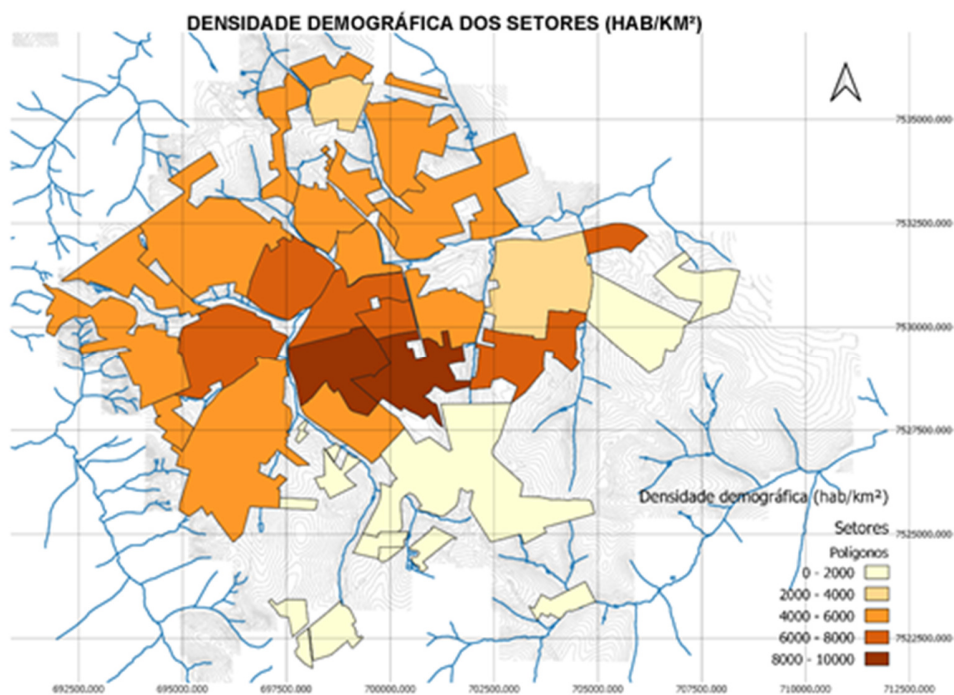
Fonte: Elaboração própria.

Figura 19 – Mapa de graduação do consumo de energia elétrica de cada setor.



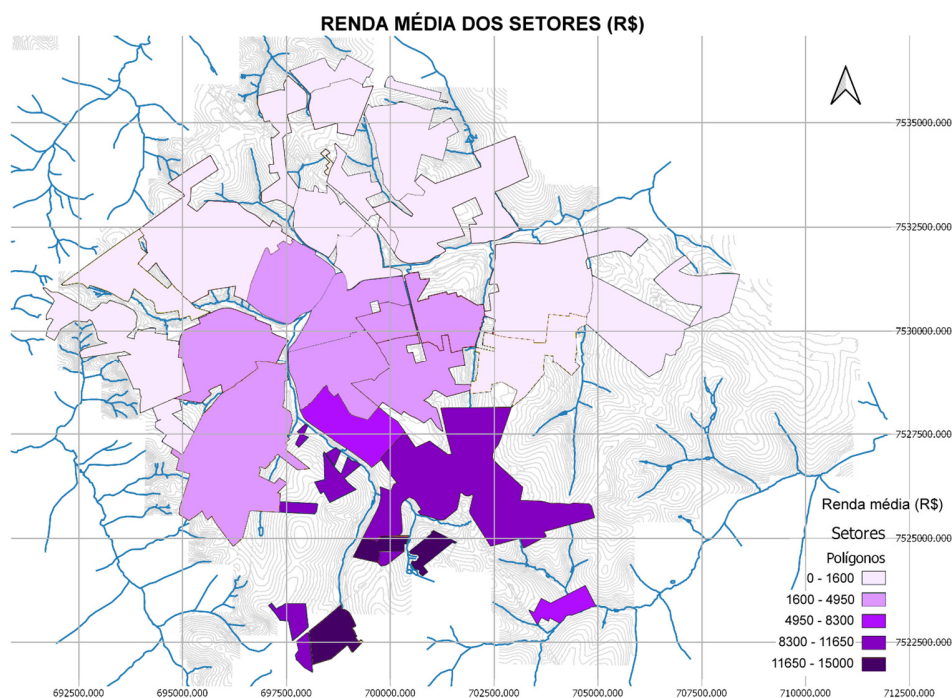
Fonte: Elaboração própria.

Figura 20 – Mapa de graduação da densidade demográfica de cada setor.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 21 – Mapa de graduação da renda média de cada setor.



Fonte: Elaboração própria.

Pode observar-se, pelos mapas temáticos das Figuras 17 a 21, a relação direta entre a vazão de produção dos setores e, principalmente, consumo de energia elétrica, visto esse ser o principal insumo utilizado para a produção de água para abastecimento, bem como da densidade demográfica, visto estar diretamente relacionada à demanda de consumo do produto. Por fim, observa-se também que o consumo de produtos químicos se apresenta consideravelmente superior na região oeste da cidade, que é abastecida em sua maioria por água produzida via captação superficial e estação de tratamento de água bruta, onde o consumo de produtos químicos é mais diversificado (sulfato de alumínio, cal, cloro, ácido fluossilícico, poli fosfato, dióxido de cloro, ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio) e em maior volume quando em comparação às regiões abastecidas por água produzida via captação subterrânea (poços profundos), onde utiliza-se apenas o tratamento final através de cloração e fluoração.

4.1 Análise dos modelos desenvolvidos

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com o modelo de fronteira de produção dos setores de abastecimento de água, bem como sua análise e discussão sobre os parâmetros obtidos. É importante salientar neste ponto que a situação de fronteira a ser descrita pelos modelos é composta por suas respectivas variáveis independentes e parâmetros de erros calculados pela ferramenta de análise

estocástica de fronteira, ou seja, o limite da função descrita é construído pela modelagem como um todo, e não apenas pelas variáveis que o compõem.

Foi identificado na Tabela 10 uma considerável correlação linear entre a vazão média disponível, consumo de energia elétrica e consumo de produtos químicos, sendo, portanto, todas estas variáveis significantes ao ponto de serem possíveis variáveis dependentes do modelo a ser construído. De maneira prática, estas variáveis de consumo de produtos químicos, consumo de energia elétrica e vazão média disponível compõem a oferta produtiva de um setor de abastecimento (variáveis dependentes), enquanto que as variáveis de densidade demográfica e renda média compõem a demanda de um setor de abastecimento (variáveis independentes). Sendo assim, foram elaborados outros modelos com combinações diversas entre as variáveis elencadas, buscando a combinação que melhor descreverá o fenômeno a ser representado. Tais modelos são representados pelas Equações 3 a 11 abaixo:

$$\ln Q_i = \beta_1 \cdot \ln D_i + \beta_2 \cdot \ln R_i + v_i - u_i \quad (3)$$

$$\ln E_i = \beta_1 \cdot \ln D_i + \beta_2 \cdot \ln R_i + v_i - u_i \quad (4)$$

$$\ln P_i = \beta_1 \cdot \ln D_i + \beta_2 \cdot \ln R_i + v_i - u_i \quad (5)$$

$$\ln Q_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i + v_i - u_i \quad (6)$$

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i + v_i - u_i \quad (7)$$

$$\ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i + v_i - u_i \quad (8)$$

$$\ln Q_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i + \beta_2 \cdot \ln R_i + v_i - u_i \quad (9)$$

$$\ln E_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i + \beta_2 \cdot \ln R_i + v_i - u_i \quad (10)$$

$$\ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i + \beta_2 \cdot \ln R_i + v_i - u_i \quad (11)$$

Onde:

$Q_i, E_i e P_i$ = variáveis de saída/fronteira de produção (*output*)

$D_i e R_i$ = variáveis de entrada (*input*)

$\beta_0, \beta_1 e \beta_2$ = parâmetros estimados pelo modelo

v_i = termo de erro randômico

u_i = ineficiência técnica

Os modelos das equações (3) a (11) foram estimados no *software nLogit* e os resultados referentes à significância das variáveis e os valores do Critério de Informação de Akaike – AIC estão reproduzidos na Tabela 12:

Tabela 12 – Análise do AIC para os modelos propostos.

ID	Equação	AIC	Variável dependente	Variáveis independentes		
				Constante	Densidade	Renda
1	(3)	43,90	Vazão	---	0,52700***	0,10749
2	(6)	43,80		1,32467	0,46669***	---
3	(9)	45,80		1,22200	0,47137***	0,00833
4	(4)	80,60	Energia elétrica	---	1,18772***	0,42727*
5	(7)	77,00		5,18584***	0,87762***	---
6	(10)	78,90		5,84132	0,86263***	-0,07650
7	(5)	97,70	Produtos químicos	---	1,21642***	-0,26229
8	(8)	---		---	---	---
9	(11)	---		---	---	---

Legenda: ***, ** e * - Significância ao nível de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Fonte: Elaboração própria.

Avaliando os valores de AIC calculados para os diferentes modelos, observa-se que aquela com o menor valor foi o referente à ID (2), composto pela variável dependente vazão média de produção (Q_i) e pela variável independente densidade demográfica (D_i – com significância de 1%), além da constante, sendo este então o modelo escolhido para descrever o fenômeno em questão. Neste modelo, foram realizadas duas estimativas de fronteira de produção estocástica, uma sob a pressuposição de que o termo do erro que capta a ineficiência u_i tem distribuição normal truncada e outra, sob a pressuposição de que a distribuição seria meio normal. Os parâmetros e coeficientes retornados pelo *software nLogit* estão sumarizados nas Tabelas 13 e 14. Estes dados também foram incluídos no *software Frontier 4.1*, com resultados similares:

Tabela 13 – Parâmetros iniciais dos modelos calculados.

Parâmetro	Modelo
Função log de verossimilhança	-16,89094
$\sigma^2(v)$	0,00000
$\sigma(v)$	0,00002
$\sigma^2(u)$	1,70342
$\sigma(u)$	1,30515
$\sigma = \sqrt{\sigma^2(u) + \sigma^2(v)}$	1,30515
$\gamma = \sigma(u)^2 / \sigma^2$	1,00000
$Var(u) / [Var(u) + Var(v)]$	1,00000
$\chi^2 = 2 *$	12,595
Kodde-Palm C 95%	2,706
Kodde-Palm C 99%	5,412

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 – Coeficientes calculados para o modelo.

Variáveis e parâmetros		Coeficiente	Erro padrão	z	Prob. z >z	Intervalo confiança 95%	
Constante	β_0	1,32467	0,81099	1,63	0,1024	-0,26484	2,91418
Dens. demográfica (hab/km ²)	β_1	0,46669	0,09276	5,03	0,0000	0,28488	0,64850
	λ	57723,4	0,1349e ⁹	0,00	0,9997	---	264371522
	σ	1,30515	0,85881	1,52	0,1286	-0,37809	2,98839

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados mostram um bom ajuste da função de produção Cobb-Douglas, visto que o principal parâmetro estimado da densidade demográfica é significativo ao nível de 1%. Como a função de produção Cobb-Douglas é estimada em sua forma logarítmica, os parâmetros expressam as elasticidades da produção com relação aos insumos. Os demais parâmetros, como a constante, não foram representativos dentro do modelo em função dos valores do teste Z, sendo assim, o fato desta apresentar um erro padrão e intervalo de confiança de valores absolutos elevados não apresenta impacto significativo na construção do modelo. Os resultados encontrados são coerentes tanto no que se refere aos sinais esperados quanto à importância de cada insumo na explicação da produção. Os resultados observados para a calibração também apresentaram resultados adequados aos retornados pelo *software*, conforme Tabela 15 e Figura 22:

Tabela 15 – Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo na calibração.

Setor	Dados observados	Modelo		
		Calculado	Diferença	%
1	5,5128	5,5622	-0,0494	-0,90
2	5,4341	5,4362	-0,0021	-0,04
3	4,2173	5,2682	-1,0509	-24,92
4	4,7596	5,3942	-0,6346	-13,33
5	4,8966	5,2682	-0,3716	-7,59
6	5,3166	5,3849	-0,0683	-1,28
7	4,3522	5,2775	-0,9253	-21,26
8	5,2227	5,2869	-0,0642	-1,23
9	4,5808	5,4129	-0,8321	-18,16
10	4,3523	5,1049	-0,7526	-17,29
11	2,3552	4,9882	-2,6330	-111,79
12	4,2625	5,3149	-1,0524	-24,69
13	4,8783	5,6182	-0,7399	-15,17

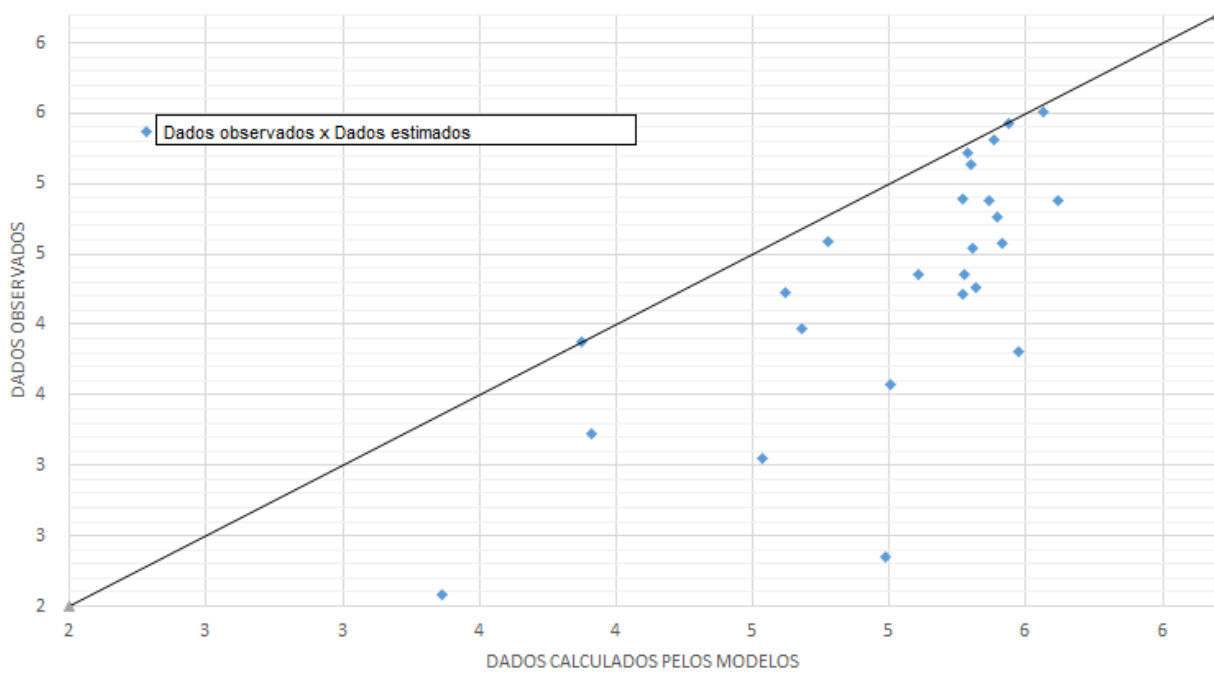
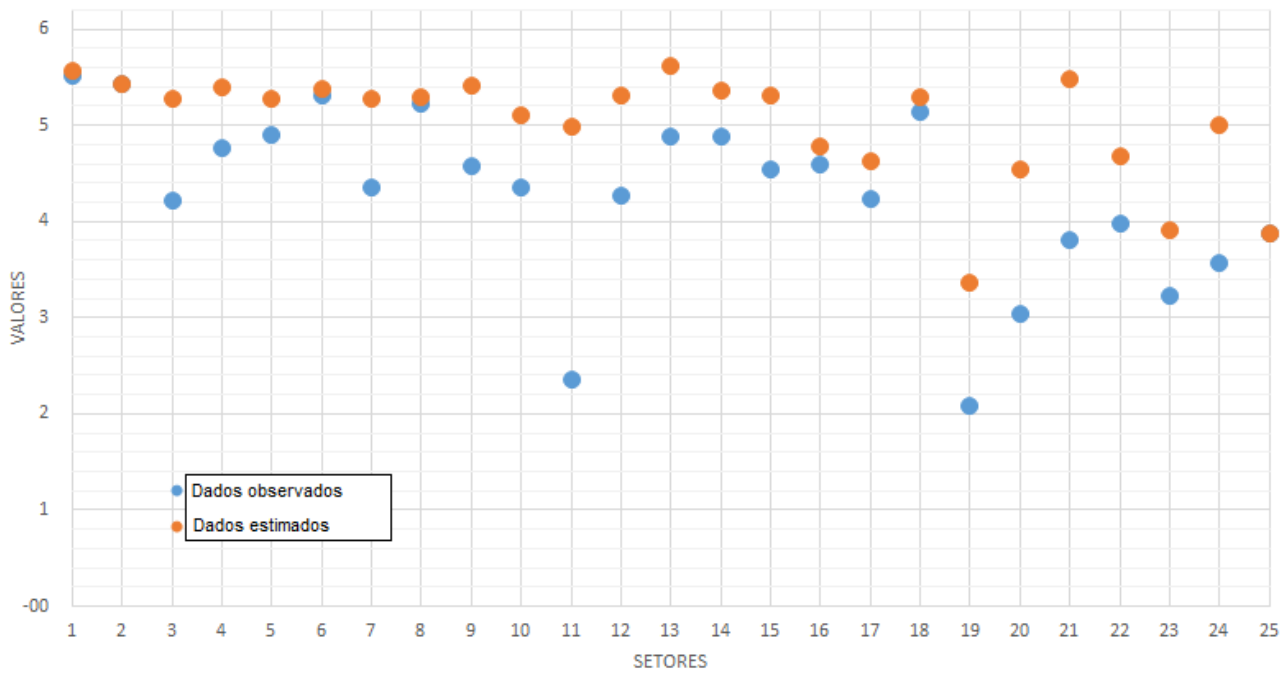
continua

conclusão

Setor	Dados observados	Modelo		
		Calculado	Diferença	%
14	4,8750	5,3662	-0,4912	-10,08
15	4,5389	5,3055	-0,7666	-16,89
16	4,5910	4,7735	-0,1825	-3,98
17	4,2262	4,6195	-0,3933	-9,31
18	5,1324	5,2962	-0,1638	-3,19
19	2,0869	3,3641	-1,2772	-61,20
20	3,0445	4,5355	-1,4910	-48,97
21	3,8118	5,4735	-1,6617	-43,59
22	3,9701	4,6802	-0,7101	-17,89
23	3,2253	3,9101	-0,6848	-21,23
24	3,5737	5,0069	-1,4332	-40,10
25	3,8722	3,8728	-0,0006	-0,02

Fonte: Elaboração própria.

Figura 22 – Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo na calibração.



Fonte: Elaboração própria.

Na sequência, são utilizados os outros 6 setores (20% da amostra total) destinados à verificação e validação dos modelos construídos, conforme Tabela 16 e Figura 23. Pode-se observar que, assim como nos dados dos setores destinados à calibração dos modelos, há em geral boa aderência entre os dados

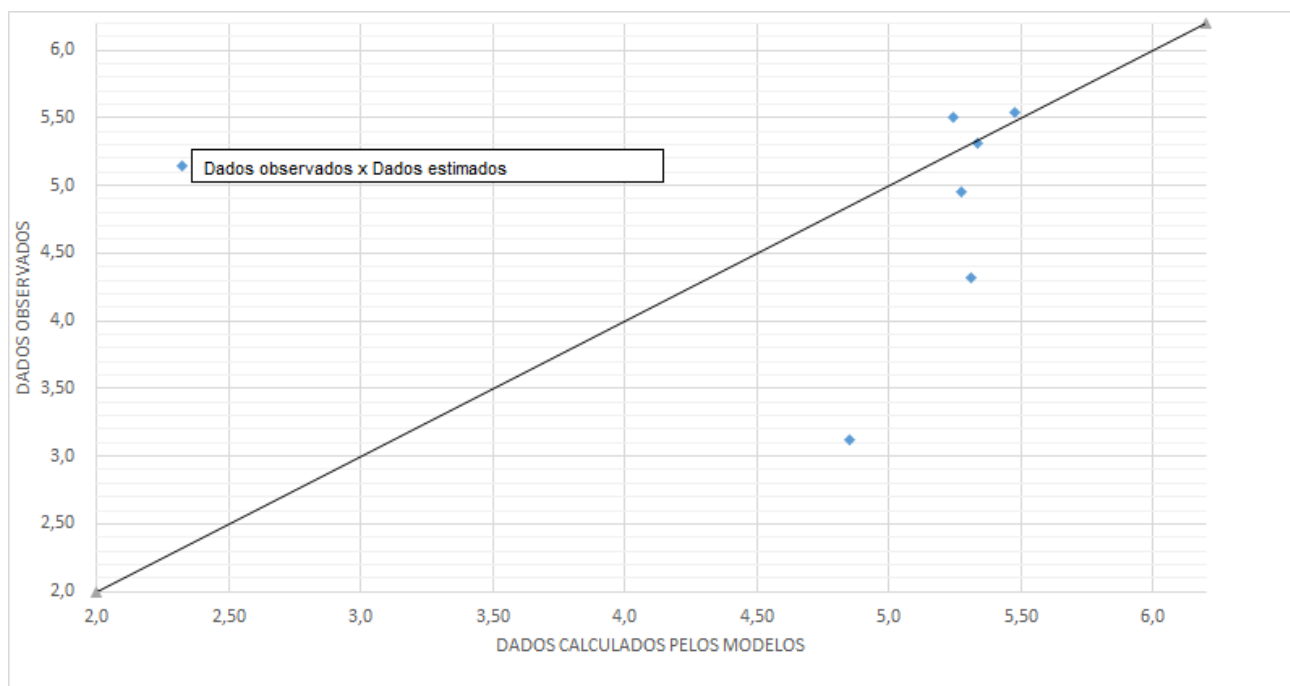
gerados pelo modelo construído e os dados observados, ratificando assim sua aplicabilidade para descrever a disponibilidade hídrica de setores de abastecimento.

Tabela 16 – Comparação dos setores de verificação ao modelo na validação.

Setor	Dados observados	Modelo		
		Calculado	Diferença	%
1	5,5010	5,2449	0,2561	4,66
2	5,5435	5,4782	0,0653	1,18
3	4,3239	5,3102	-0,9863	-22,81
4	5,3112	5,3335	-0,0223	-0,42
5	4,9539	5,2729	-0,3190	-6,44
6	3,1166	4,8528	-1,7362	-55,71

Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 – Comparação dos setores de verificação ao modelo na validação.



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, busca-se analisar se a ferramenta da análise estocástica de fronteiras de produção, em comparação ao mesmo modelo quando utilizando uma ferramenta de regressão linear simples. Assim como anteriormente, foi utilizado o *software nLogit* para o cálculo dos coeficientes que irão compor a equação do modelo, com a diferença de que na regressão linear não há o componente do erro composto relativo às ineficiências da cadeia de produção e aos erros e ruídos aleatórios. Portanto, o modelo é descrito pela Equação (12):

$$\ln Q_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln D_i \quad (12)$$

Onde:

Q_i = variável de saída/fronteira de produção (*output*)

D_i = variável de entrada (*input*)

β_0 e β_1 = parâmetros estimados pelo modelo

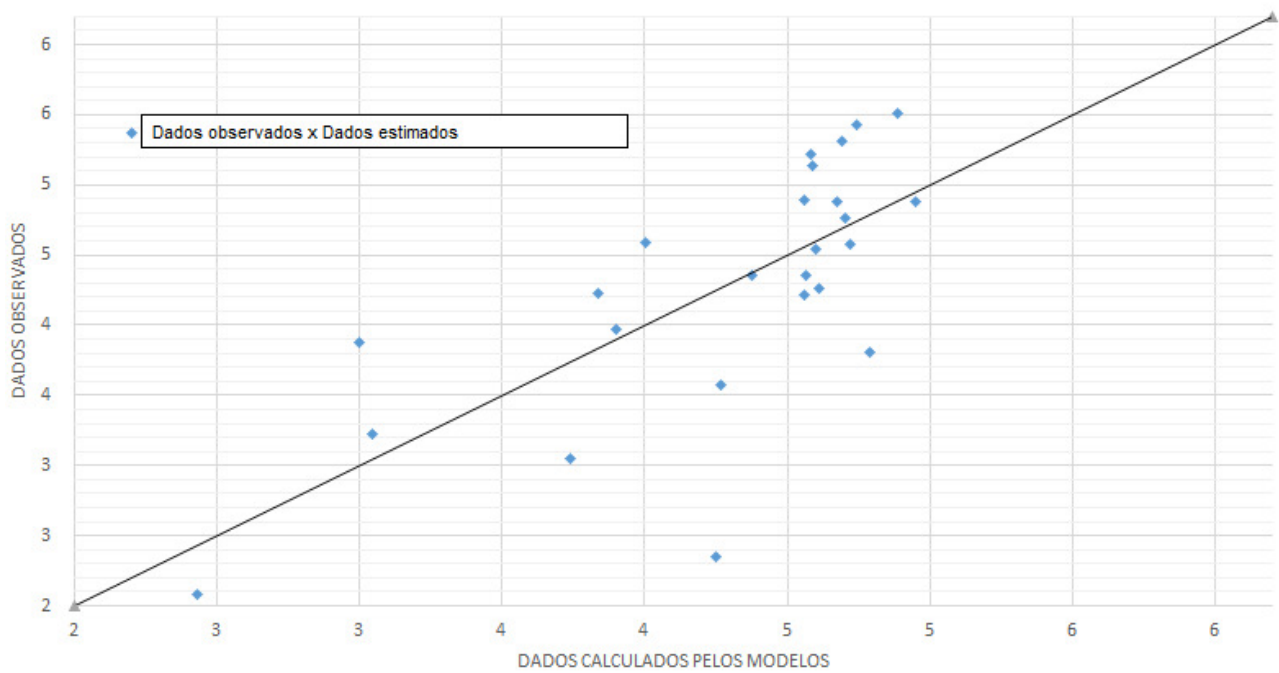
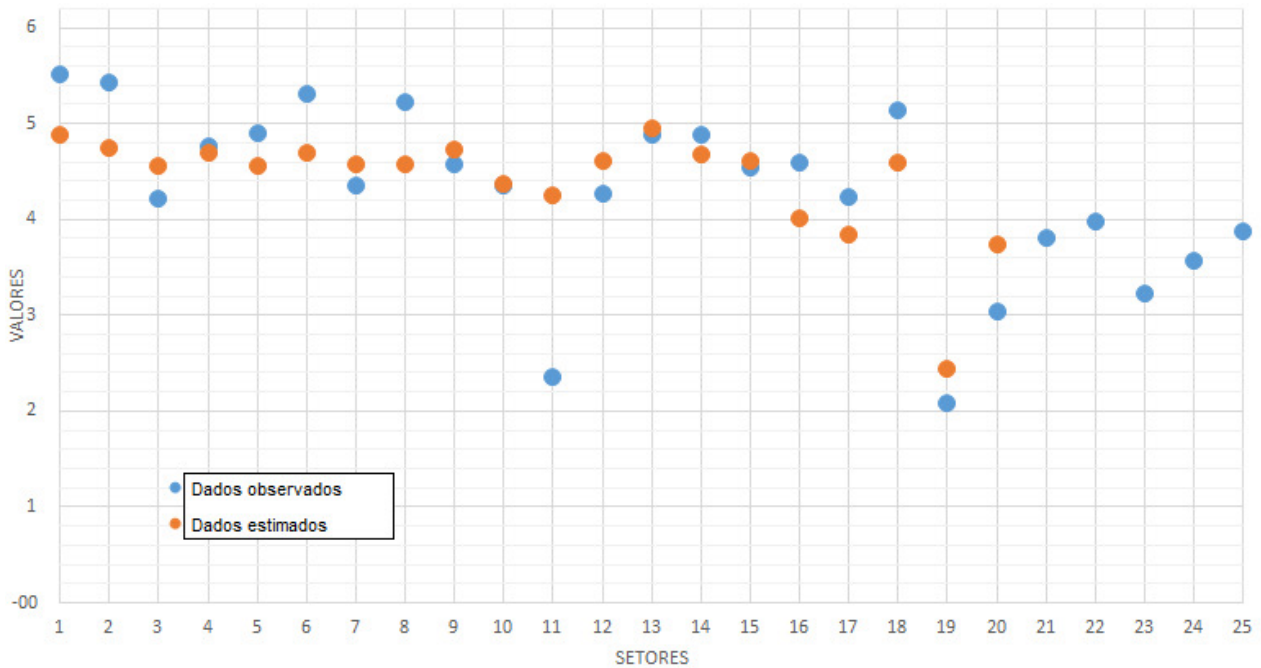
Como a ferramenta da regressão linear é utilizada apenas como comparativo à ferramenta da análise estocástica de fronteiras de produção, os parâmetros e coeficientes retornados pelo software serão omitidos, sendo representados abaixo, tanto na Tabela 17 quando na Figura 24, os resultados já calculados para os 25 setores de calibração:

Tabela 17 – Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo de regressão linear.

Setor	Dados observados	Modelo		
		Calculado	Diferença	%
1	5,5128	4,8860	0,6268	11,37
2	5,4341	4,7454	0,6887	12,67
3	4,2173	4,5623	-0,3450	-8,18
4	4,7596	4,7020	0,0576	1,21
5	4,8966	4,5583	0,3383	6,91
6	5,3166	4,6905	0,6261	11,78
7	4,3522	4,5682	-0,2160	-4,96
8	5,2227	4,5818	0,6409	12,27
9	4,5808	4,7221	-0,1413	-3,09
10	4,3523	4,3780	-0,0257	-0,59
11	2,3552	4,2480	-1,8928	-80,37
12	4,2625	4,6111	-0,3486	-8,18
13	4,8783	4,9495	-0,0712	-1,46
14	4,8750	4,6721	0,2030	4,16
15	4,5389	4,6019	-0,0629	-1,39
16	4,5910	4,0059	0,5851	12,74
17	4,2262	3,8353	0,3909	9,25
18	5,1324	4,5899	0,5425	10,57
19	2,0869	2,4336	-0,3467	-16,61
20	3,0445	3,7422	-0,6977	-22,92
21	3,8118	4,7888	-0,9770	-25,63
22	3,9701	3,9020	0,0681	1,72
23	3,2253	3,0445	0,1808	5,61
24	3,5737	4,2682	-0,6944	-19,43
25	3,8722	3,0018	0,8705	22,48

Fonte: Elaboração própria.

Figura 24 – Comparação dos dados observados e calculados pelo modelo de regressão linear.



Fonte: Elaboração própria.

Ao realizar a comparação aos resultados obtidos com os modelos construídos pela análise estocástica de fronteiras de produção e pela regressão linear, pode-se observar que:

- Houve pouca variação entre os resultados retornados pelos modelos, o que pode ser explicado pelo baixo impacto dos componentes do erro composto da análise estocástica de fronteira de produção calculado pelos modelos (conforme Tabela 12);

- Posto isto, visando aplicação em casos com maior restrição de informações ou de processamento/*softwares*, torna-se pelo mesmo motivo mais interessante a utilização, neste caso, do modelo de regressão linear, visto seu cálculo ser consideravelmente mais simples e acessível se comparado à de análise estocástica de fronteira de produção.

Apesar de a adequação realizada nos modelos não comprometerem a significância dos resultados, esse panorama deve ser reavaliado para cada caso em que haja a replicação da metodologia de construção dos modelos.

4.2 Cálculo da disponibilidade hídrica

Complementarmente às análises da fronteira de produção, um dos objetivos específicos do trabalho consistiu em desenvolver um banco de dados com os resultados do cálculo da disponibilidade hídrica dos setores de abastecimento existentes na cidade de Bauru, através dos dados compilados e desenvolvidos ao longo do estudo de caso.

De modo a compor esta análise, foram considerados os dados já desenvolvidos e estimados de vazão média de produção e de consumo médio por setor, ambos transformados em metros cúbicos por hora. Com isso, pode-se construir, através da relação entre consumo e produção, um indicador adimensional que indica a disponibilidade hídrica para cada um dos 31 setores, conforme Tabela 18, de acordo com as referências de junho de 2021:

Tabela 18 – Indicadores de disponibilidade hídrica para os setores em junho de 2021.

	Setor	Vazão média de produção (m³/h)	Consumo médio (m³/h)	Indicador adimensional de disponibilidade hídrica
1	ETA	244,94	231,54	0,95
2	Praça Portugal	247,84	189,52	0,76
3	Sede	255,58	95,71	0,37
4	Bela Vista	229,09	107,41	0,47
5	Parque Paulistano	67,85	71,98	1,06
6	Alto Paraíso	116,70	134,52	1,15
7	Ipê	133,84	92,96	0,69
8	Geisel	203,68	134,72	0,66
9	Jasmins	75,48	57,10	0,76
10	Jardim América	77,65	54,84	0,71
11	IX de Julho	202,59	222,71	1,10
12	Vila Seca	185,43	119,61	0,65
13	Octávio Rasi	97,59	43,29	0,44

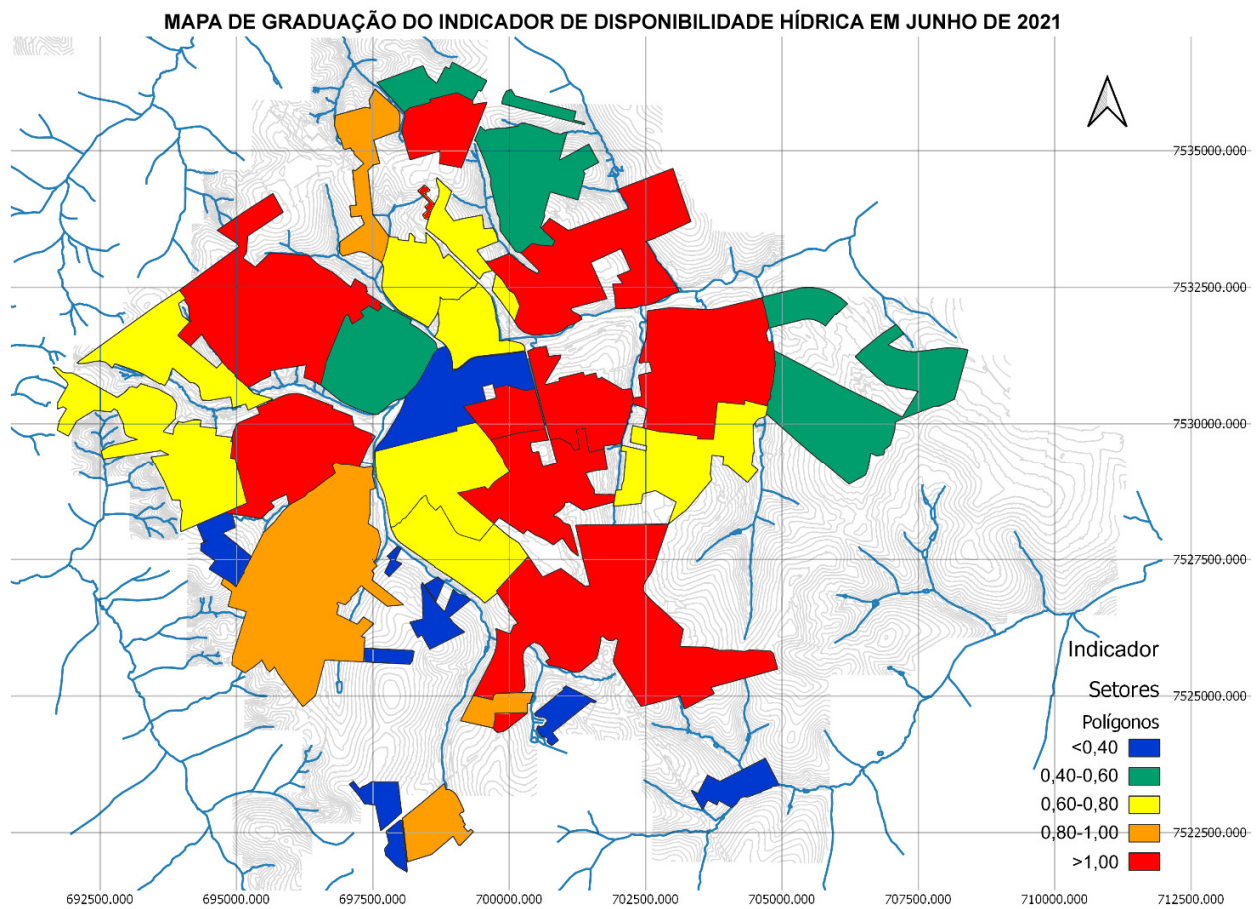
continua

	Setor	Vazão média de produção (m³/h)	Consumo médio (m³/h)	Indicador adimensional de disponibilidade hídrica
14	Redentor	77,66	134,19	1,73
15	Tibiriçá	10,54	4,99	0,47
16	Gasparini	70,99	60,07	0,85
17	Mary Dota	141,73	177,07	1,25
18	Shopping	131,41	207,34	1,58
19	Nova Esperança	130,98	82,29	0,63
20	Sabiás	93,59	31,06	0,33
21	Santos Dummont	98,59	134,56	1,36
22	Manchester	68,46	41,31	0,60
23	Zona Norte	169,42	85,81	0,51
24	Villagio	22,57	19,18	0,85
25	Chácaras Bauruenses	8,06	0,36	0,04
26	Lago Sul	21,00	19,82	0,94
27	Cardia	45,23	48,64	1,08
28	Imperial	52,99	23,33	0,44
29	Alphaville	25,16	1,96	0,08
30	LEB	35,65	57,80	1,62
31	Estoril Premium	48,05	0,46	0,01
	Total	3.390,34	2.686,15	0,78 (valor médio)

Fonte: Elaboração própria.

De posse do indicador de disponibilidade hídrica para os setores, foi elaborado o mapa temático de graduação deste em cada um dos setores, conforme Figura 25 a seguir:

Figura 25 – Mapa de graduação do indicador de disponibilidade hídrica em junho de 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar o mapa de graduação e a tabela com os indicadores, pode-se observar que grande parte dos setores (e em especial os mais populosos) apresentam um indicador com valores críticos, ou seja, onde o consumo médio é superior à vazão média de produção e, portanto, com valor superior à unidade (cerca de 43% da população da cidade encontra-se em algum destes setores). Setores com valores entre 0,80 e a unidade, apesar de não estarem em situação crítica, podem sofrer severos problemas quando da expansão e adensamento imobiliário futuro, com cerca de 12% da população da cidade residente nestes setores. Setores com valores entre 0,60 e 0,80 também se mostram bastante presentes, concentrando cerca de 28% da população. Por fim, setores com produções bastante superiores à demanda de consumo, com valores de indicadores entre 0,40 e 0,60, e inferiores a 0,40, concentram cerca de 11% e 6% da população, respectivamente.

Importante salientar também que, conforme pontuado no item 4.1, a vazão de produção considerada para a região abastecida pelo Rio Batalha foi de 1.980,00 m³/h, valor que considera as condições do manancial durante os períodos chuvosos do ano, entre novembro e abril. Esta vazão,

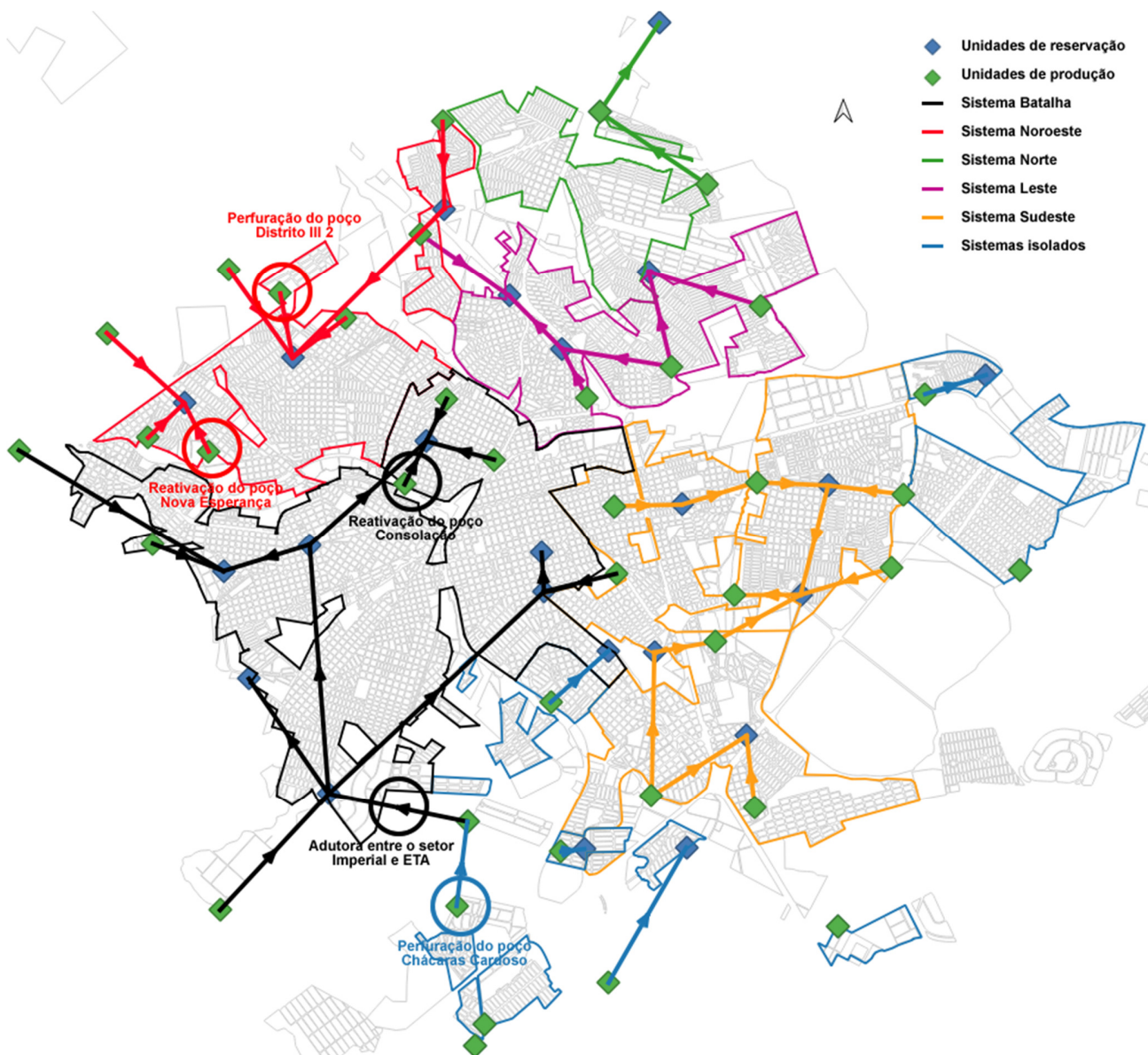
entretanto, nem sempre se mantém nos períodos secos, como nos anos de 2014, 2020, 2021 e 2022, em que durante diferentes períodos foi necessária a adoção de rodízios de abastecimento nestes setores, visto não ter sido possível a continuidade do abastecimento nestas condições de vazão de maneira constante devido à diminuição do fluxo de água do rio Batalha e consequente diminuição do nível da lagoa de captação de água bruta. A partir deste cenário, fica claro que os desafios para a equalização e oferta futura do abastecimento de água na cidade do estudo de caso são de grandes dimensões, e que provavelmente demandarão de investimentos consideráveis e bem alocados na infraestrutura de expansão da produção de água, reservação, distribuição, controle de perdas físicas e aparentes e demais facetas do sistema de abastecimento que possam vir a contribuir para a melhoria desta situação desafiadora no curto, médio e longo prazos.

Diante disto, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, a autarquia municipal responsável pelo abastecimento de água realizou diversas obras visando mitigar a situação de escassez hídrica e problemas de abastecimento de diversos setores da cidade, que trouxeram alterações ao fluxograma geral de água entre os setores (Figura 15), tendo parte das colaborações deste trabalhado figurado diretamente como ferramenta de planejamento para a adoção destas medidas. Tais obras promoveram diversos incrementos de capacidade produtiva (através de reativação e perfuração de poços) e de adução entre setores com capacidade produtiva ociosa em direção a setores deficitários, entre as quais podemos citar, agora considerando como referência o período de fevereiro de 2023:

- Reativação do poço Nova Esperança, de vazão nominal de 68,50 m³/h, que adicionou ao setor 19 – UR32 Nova Esperança 57,08 m³/h de vazão média disponível;
- Reativação do poço Consolação, de vazão nominal 20,00 m³/h, que adicionou ao setor 4 – UR03 Bela Vista 16,67 m³/h de vazão média disponível;
- Perfuração do poço Chácaras Cardoso, de vazão nominal de 85,00 m³/h, que adicionou ao setor 28 – UR42 Imperial 70,83 m³/h de vazão média disponível;
- Execução de adutora entre os setores Imperial e ETA, que adicionou ao setor 1 – UR00 ETA através de importação a vazão média disponível de 119,43 m³/h (consequentemente, o setor 28 – UR42 Imperial teve exportação que reduziu a vazão média disponível na mesma ordem);
- Perfuração do poço Distrito III 2, de vazão nominal de 200,00 m³/h, que adicionou ao setor 11 – UR12 IX de Julho 166,67 m³/h de vazão média disponível;
- Consequentemente, o poço existente Bauru XVI III, deixou de enviar metade de sua produção ao setor 11 – UR12 IX de Julho, concentrando assim toda a vazão média disponível de 146,10 m³/h no setor 19 – UR32 Nova Esperança.

Frente a estas atualizações, o fluxograma geral foi atualizado para a referência de fevereiro de 2023 conforme Figura 26, com as alterações em destaque:

Figura 26 – Fluxograma geral em fevereiro de 2023.



Fonte: Elaboração própria.

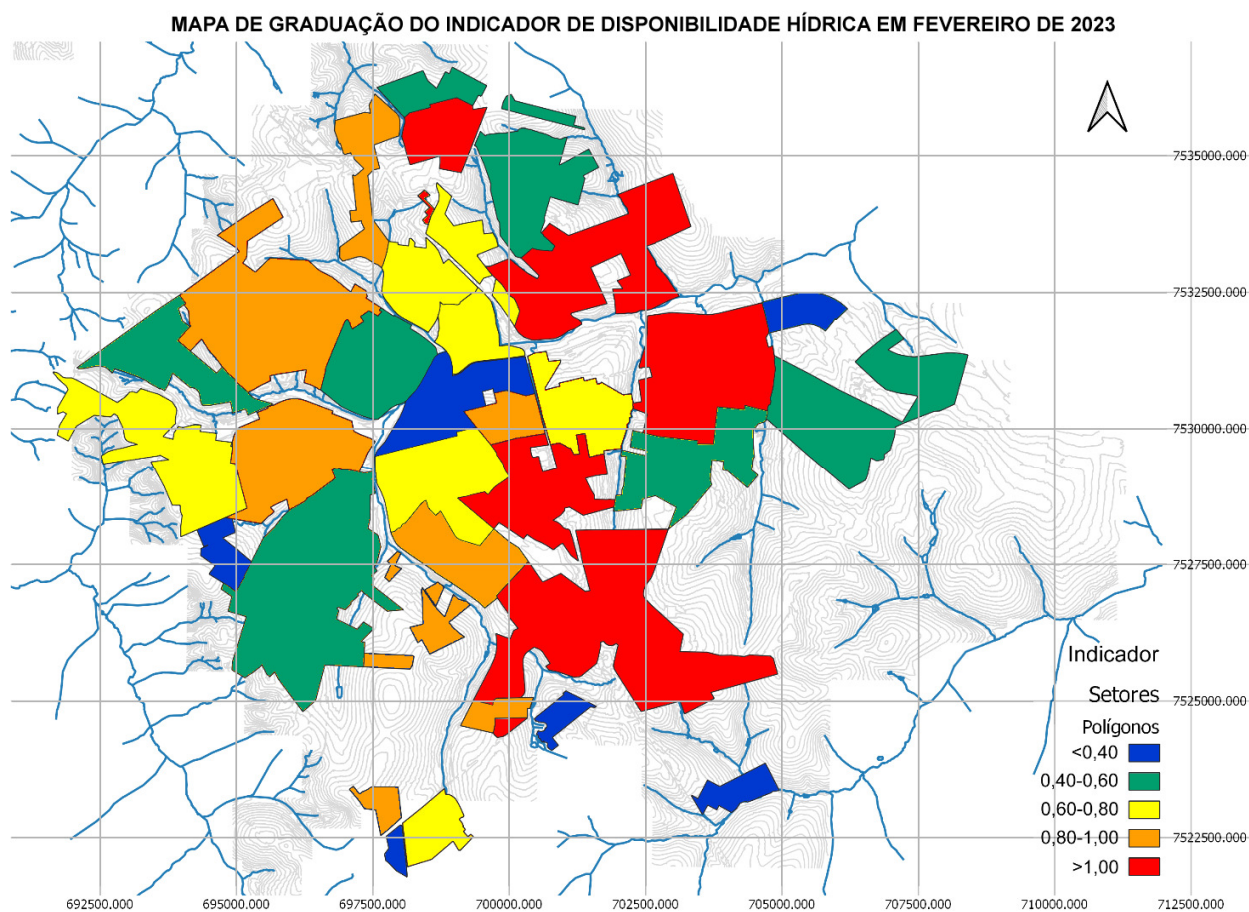
Com isso, os indicadores adimensionais de disponibilidade hídrica puderam ser recalculados com a referência de fevereiro de 2023, conforme Tabela 19 e Figura 27, tornando possível a comparação dos efeitos práticos na disponibilidade hídrica das obras e intervenções realizadas no sistema de abastecimento ao longo dos 20 meses entre o cálculo dos indicadores:

Tabela 19 – Indicadores de disponibilidade hídrica para os setores em fevereiro de 2023.

	Setor	Vazão média de produção (m³/h)	Consumo médio (m³/h)	Indicador adimensional de disponibilidade hídrica
1	ETA	308,83	176,02	0,57
2	Praça Portugal	247,84	147,57	0,60
3	Sede	255,58	66,44	0,26
4	Bela Vista	238,01	123,89	0,52
5	Parque Paulistano	67,85	53,59	0,79
6	Alto Paraíso	116,70	105,41	0,90
7	Ipê	133,84	98,93	0,74
8	Geisel	203,68	120,14	0,59
9	Jasmins	75,48	50,44	0,67
10	Jardim América	77,65	63,91	0,82
11	IX de Julho	252,68	229,97	0,91
12	Vila Seca	185,43	129,47	0,70
13	Octávio Rasi	97,59	33,64	0,34
14	Redentor	77,66	94,99	1,22
15	Tibiriçá	10,54	6,28	0,60
16	Gasparini	70,99	60,52	0,85
17	Mary Dota	141,73	175,06	1,24
18	Shopping	131,41	166,06	1,26
19	Nova Esperança	200,60	84,02	0,42
20	Sabiás	93,59	26,68	0,29
21	Santos Dummont	98,59	122,78	1,25
22	Manchester	68,46	34,44	0,50
23	Zona Norte	169,42	96,17	0,57
24	Villagio	22,57	19,05	0,84
25	Chácaras Bauruenses	8,06	0,29	0,04
26	Lago Sul	21,00	15,31	0,73
27	Cardia	45,23	37,08	0,82
28	Imperial	26,99	21,78	0,81
29	Alphaville	25,16	3,04	0,12
30	LEB	35,65	56,25	1,58
31	Estoril Premium	48,05	1,73	0,04
	Total	3.556,86	2.420,95	0,70 (valor médio)

Fonte: Elaboração própria.

Figura 27 – Mapa de graduação do indicador de disponibilidade hídrica em fevereiro de 2023.



Fonte: Elaboração própria.

As alterações observadas nos indicadores calculados demonstram um avanço na disponibilidade hídrica em alguns setores contemplados com as obras citadas, especificamente os setores UR00 ETA (incremento na vazão média disponível de 26,08%), UR03 Bela Vista (incremento na vazão média disponível de 3,89%), UR12 IX de Julho (incremento na vazão média disponível de 24,72%) e UR32 Nova Esperança (incremento na vazão média disponível de 53,15%), enquanto que o setor UR42 Imperial obteve uma piora no indicador justamente em função do seu excedente produtivo ter sido direcionado aos setores em condições piores (redução na vazão média disponível de 49,07%). Estas alterações se refletem diretamente na região abastecida pelo Rio Batalha, que conforme citado anteriormente apresenta elevada sazonalidade na disponibilidade de abastecimento e traz dificuldades operacionais consideráveis no período de estiagem. Desta maneira, atualmente já há situações em que é captado do Rio Batalha a vazão de 1.368,00 m³/h, valor consideravelmente inferior ao considerado inicialmente de 1.980,00 m³/h (de acordo com a referência de junho de 2021) e já próximo da vazão de

outorga de 1.252,80 m³/h, proporcionando assim uma exploração menos predatória do manancial e com maior capacidade de suportar ao período de estiagem sem interrupções de abastecimento à população.

Salienta-se que o indicador não deve ser analisado isoladamente, visto que conforme esperado foram identificadas também diferenças entre os consumos aferidos nos setores para cada referência, algo já esperado em função da sazonalidade deste componente em diferentes épocas do ano, sendo ideal que este procedimento seja rotineiramente repetido e aprimorado para que conclusões mais assertivas sejam obtidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho vão ao encontro aos objetivos estabelecidos de estimar uma função de produção de fronteira estocástica representativa para setores de abastecimento de água, bem como de desenvolver um banco de dados com os resultados do cálculo da disponibilidade hídrica dos setores de abastecimento existentes na cidade de Bauru e de identificar funções alternativas de fácil replicação que possam ter seus procedimentos de elaboração aplicados em outros setores de abastecimento.

A função de produção de fronteira estocástica, considerando como variável dependente a vazão média de produção de determinado setor, e como variável independente a densidade demográfica do setor de abastecimento, apresentou resultados estatisticamente significativos tanto para os setores estabelecidos para calibração do modelo, quanto para os setores estabelecidos para verificação. Conforme destacado ao longo da construção do estudo de caso desenvolvido na cidade de Bauru, existem algumas limitações dos dados empregados que podem ser revistos futuramente visando incrementar a eficiência do modelo desenvolvido. As incertezas envolvendo os valores exatos de produção de água, eventos de importação e exportação entre setores, perdas de água específicas de cada unidade, e a própria delimitação física e geográfica dos setores de abastecimento são fatores a serem considerados em melhorias ao modelo. Dito isto, a replicação e ampliação do procedimento de estudo de caso considerando, por exemplo, dados de outras cidades com tais variáveis mensuradas de maneira mais precisa são possibilidades futuras de continuidade e melhoria na temática deste trabalho.

Apesar desta possibilidade, é fundamental explicitar que o que poderá ser replicado em outros casos é o procedimento adotado para a execução da modelagem, resumido na Figura 21, e não os modelos em si desenvolvidos ao longo deste trabalho, representados pelas equações (8) e (14). Isto se dá, conforme já descrito, em função do empirismo e dos tipos de dados disponíveis. Sendo assim, qualquer ampliação dos estudos através da replicação do procedimento deverá necessariamente realizar a verificação do recorte temporal e dos dados a serem considerados, de modo que o procedimento e os novos modelos desenvolvidos possam também ser representativos estatisticamente para estes novos casos.

Quanto a disponibilidade hídrica dos setores de abastecimento, o banco de dados elaborado demonstra, pela relação entre a demanda (consumo médio) e oferta (vazão média de produção) de cada setor, dados condizentes às condições reais de operação e oferta hídrica do estudo de caso. Há diversos setores que apresentam consistentes dificuldades de abastecimento, seja pela oferta deficitária de produção de água ou por problemas complementares envolvendo ausência de redes de distribuição adequada, infraestrutura antiga e/ou deficiente, reservação inadequada ou insuficiente etc. que revelam essas condições adversas em concordância aos dados de disponibilidade hídrica que foram elaborados.

Por fim, a busca por funções alternativas que representem a disponibilidade hídrica de maneira simplificada, quando comparada à função de produção de fronteira estocástica, e ainda assim significativas a ponto de permitir a replicação do procedimento em outros estudos de casos e setores de abastecimento de maneira mais imediata, permitiu a construção de um modelo alternativo através da ferramenta da regressão linear simples ao invés da fronteira estocástica de produção mostrou resultados adequados para o caso deste modelo alternativo, o que adiciona à intenção da fácil replicação do procedimento, visto a regressão linear ser uma ferramenta estatística comparativamente mais simples e acessível de ser empregada.

Uma sugestão para futuras pesquisas no tema deste trabalho, além da já citada ampliação dos dados analisados para setores de abastecimento de outras cidades (e, portanto, outras realidades de infraestrutura, índices de perdas, padrões de consumo etc.), seria avaliar comparativamente os indicadores e parâmetros entre locais com abastecimento operado pela iniciativa pública e privada. Frente as discussões reabertas com o marco regulatório do saneamento básico e os padrões de eficiência e universalização a serem atingidos pelos operadores em todo o país, as ferramentas e dados que avaliem eficiência e a boa utilização de um recurso tão escasso e importante como a água tratada se tornam cada vez mais relevantes.

5.1 Contribuições acadêmicas da pesquisa

Conforme pontuado ao longo do capítulo 1, a elaboração do trabalho encontrou uma carência de pesquisas sobre o assunto no âmbito de setores de abastecimento, apesar de a ferramenta da fronteira estocástica de produção já ser amplamente empregada e estudada em diversos campos da econometria, engenharia de produção e demais há várias décadas.

Posto isto, e com as possibilidades de ampliação do campo de estudos deste trabalho já pontuados anteriormente através da utilização de novos dados e ferramentas, pode-se citar como expectativa de contribuição acadêmica da pesquisa a ampliação dos estudos de eficiência, produtividade e utilização inteligente e planejada de recursos hídricos no âmbito do meio ambiente e sustentabilidade.

5.2 Contribuições práticas e gerenciais da pesquisa

Do ponto de vista prático, a pesquisa foi capaz de compilar dados e prover indicadores que trazem melhor compreensão e entendimento das situações e particularidades de cada setor de abastecimento abordado no estudo de caso. Ao longo do capítulo 4, foram realizados a compilação e tabelamento de dados que se encontravam dispersos, bem como a estimativa de outros que eram ausentes ou incompletos, e a elaboração dos fluxogramas que definiram todos os eventos de produção, importação e exportação

entre os setores de abastecimento, permitindo definir elementos importantes e que poderão ser utilizados, se necessário, nas decisões gerenciais e operacionais diárias dos sistemas de abastecimento dos setores abordados pelo estudo. Com isso, espera-se um incremento, ainda que modesto, na eficiência operacional e na tomada de decisão amparada por dados da autarquia local, o que pode trazer benefícios diretos à população consumidora da cidade em momentos de escassez hídrica.

Diante disto, especificamente os indicadores elaborados na Figura 25 e Tabela 18, e posteriormente Figura 27 e Tabela 19, podem também servir de referência para o cronograma de investimentos no sistema de abastecimento de água da cidade, a se considerar o nível de prioridades em função do grau de estresse hídrico de cada setor. Sendo assim, setores que possuem um indicador de disponibilidade hídrica consideravelmente superior à unidade poderiam, em tese, ser prioridade na programação de investimentos através de obras de aumento de produção, reservação, controle de perdas, eficiência energética, entre outros. Além disso, ao longo do tempo a metodologia aplicada para a elaboração deste indicador pode ser sistematicamente repetida considerando as novas condições de abastecimento, como as referidas obras de melhorias, mudanças do perfil de consumo e ocupação do solo, entre outros, e assim verificar por exemplo, o reflexo oriundo dos referidos investimentos e suas melhorias à população consumidora, bem como rever continuamente a já citada prioridade no cronograma de investimentos no sistema. Neste momento, haveria então uma validação da modelagem proposta com os impactos e resultados oriundos da ferramenta desenvolvida, trazendo então consideráveis benefícios à realidade local do abastecimento de água.

Conforme pontuado anteriormente, alguns dos dados utilizados possuem variabilidades que refletem diretamente da falta de dispositivos e procedimentos operacionais adequados de controle produtivo, como por exemplo da ausência de macro medidores de vazão nas entradas e/ou saídas das unidades de reservação e produção e também como a ausência de setorização em grande parte do sistema, o que torna inviável a quantificação de eventos de importação/exportação de água na distribuição e conseqüentemente na elaboração de um balanço hídrico por setores totalmente fidedigno. Dito isto, é salutar ressaltar da necessidade da implantação de medidas que visem, cada vez mais, eliminar tais variabilidades de modo a permitir maior controle e conseqüentemente maiores informações para realização de um planejamento de ações que possam trazer benefícios diretos ao sistema e conseqüentemente à população atendida.

Por fim, ao se aprofundar no indicador elaborado, resta claro que parte considerável da cidade de Bauru encontra-se sob estresse hídrico, podendo até argumentar-se que, por esta ótica, a cidade já se encontra próxima ou até além de sua capacidade de suporte. Soma-se a isso a já relatada sazonalidade de disponibilidade de produção do manancial superficial Rio Batalha, responsável por abastecer parte da

região oeste da cidade (sazonalidade esta não refletida no indicador, visto que se considerou uma vazão média disponível de produção), demonstrando então um cenário de grande preocupação para o futuro imediato de ocupação e expansão urbana da cidade, e trazendo ainda mais luz à importância da continuidade da busca de ferramentas e soluções eficientes à problemática do abastecimento de água na realidade urbana atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 12.218 – **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Rio de Janeiro, 1994.

AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, v. 6, p. 21-37, 1977.

ARROW, K.; BOLIN, B.; CONSTANZA, R. Economic Growth, carrying capacity and the environment. **Science**, v. 268, p. 520-521, 1995.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E.; **Manual de Hidráulica**. São Paulo, Edgard Blücher, 1998 8ª ed. 669p.

BAGI, F. S. A relationship between farm size and technical efficiency in west tenesse agricultura. **Southern Journal Agricultural Economic**, v. 14, n. 1, p. 139-144, 1982.

BARBOSA, G. S.; COSTA, E. M.; ARAÚJO, J. A.; BARBOSA, G. S.; Eficiência dos produtores frutícolas em Petrolina: uma análise de fronteira estocástica. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza-CE, v. 49, n. 1, p. 133-148, jan./mar. 2018. 2018.

BATES, B. C.; KUNDZEWIZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. P. Climate change and Water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. **Intergovernmental panel on climate change**, Geneva. 2008.

BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. **Empirical Economics**, Heidelberg, v. 20, p. 325-332, 1995.

BAURU. **Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru**. Prefeitura Municipal de Bauru, SP. 2008.

BEARD, V. A.; MITLIN, D. Water access in global South cities: The challenges of intermittency and affordability. **World Development**, 147, 105625. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Brasília: ANA/Engecorps/COBRAPE, 2020.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF. 1988.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União seção 1, Brasília, DF, edição 135, p. 1-26, 16 jul. 2020.

BRASIL. **Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Ministério da Saúde (MS). Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília, DF. 2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020, 183 p.: il.

COELLI, T.; PERELMAN, S.; ROMANO, E. Accounting for Environmental Influences in Stochastic Frontier Models: With Application to International Airlines. **Journal of Productivity Analysis**, v. 11, n. 3, p. 251-273, 1999.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Fronteira de produção estocástica e eficiência técnica na agricultura**. Tese de Doutorado. USP, Piracicaba, 1998.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Instrução Técnica DPO nº 10 de 30/05/2017 – Atualizada em 02/04/2018**. São Paulo, 2018.

DA HORA, A. L. B.; SHIMODA, E.; DA HORA, H. R. M; COSTA, H. G.; Análise da eficiência dos serviços de saneamento básico nos municípios do estado do Rio de Janeiro. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 7, n. 1, p. 55-81. 2015.

DE MELLO, S. V. **Proposta de modelagem da capacidade de suporte hídrica para o estado de São Paulo, Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2017.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, volume I. Rio de Janeiro, ABES, 1993.

ECOSSISTEMA CONSULTORIA AMBIENTAL. **Plano de Manejo da APA municipal Água Parada**. Bauru, São Paulo, 2017.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case studies research. **Academy of Management Review**, v.14, n.4, p. 532-550, 1989.

FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency, **Journal of the Royal Statistical Society (A, general)** 120, pt. 3, p. 253-281.

FERREIRA, D. P. **Eficiência da indústria brasileira: uma abordagem de fronteira estocástica de produção**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

FIGUEIREDO, J. C.; PAZ, R. D. S. **Nova Classificação Climática e o Aspecto Climatológico da Cidade de Bauru/São Paulo**. XVI Congresso de Meteorologia em Belém PA. Belém: [s.n.]. 2010.

GADELHA, H. S.; et al. The new regulatory framework for basic sanitation and the right to access to water. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. e569101118843, 2021.

GHINIS, C. P.; FOCHEZATTO, A. **Análise dos custos de produção e da eficiência na prestação de serviços de saneamento básico no Brasil usando econometria espacial**. XVII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos em Rio de Janeiro RJ. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2019.

GOMES, H. P. **Abastecimento de água**. João Pessoa, UFPB, 2019.

HIDROSAN. **Plano Diretor de Água de Bauru**. Bauru, São Paulo, 2014.

HISSL, H; WALZ, R; TOUSSAINT, D. **Design and Sustainability Assessment of Scenarios of Urban Water Infrastructure Systems**. Management UoD-FoTa, editor. Proceedings of critical infrastructures. Delft, Utrecht: Lemma, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**, 2021. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em 11 de setembro de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro. IBGE, 2012.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de água 2020 (SNIS 2018): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico**. São Paulo, 2020.

KALIRAJAN, K. An econometric analysis of yield variability in paddy production. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, v.29, n. 2, p. 283-294, 1981.

KINGSLAND, S. E. **Modeling Nature**. The University of Chicago Press, 2nd Edition, Chicago, 1995.

LOUREIRO, A. L. **Gestão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no estado da Bahia: análise de diferentes modelos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

MACEDO, J. J. **Avaliação do setor de saneamento no Brasil, período 2004 a 2015 usando a análise da fronteira estocástica, análise envoltória de dados e índice de Malmquist**. Tese de Doutorado. UFPR, Curitiba, 2018.

MAGALHÃES, M. M. **Eficiência de produção segundo diferentes mecanismos de acesso à terra na reforma agrária brasileira**. Tese de Doutorado. UNESP, Botucatu, 2011.

MANZATO, G. G. **Modeling Office Firm Dynamics in an Agent-Based Micro Simulation Framework**. Tese de Doutorado. Eindhoven University Press, Eindhoven, The Netherlands, 2012.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 6ª Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARINHO, E.; ATALIBA, F.; Avaliação do crescimento da produtividade e progresso tecnológico dos estados do Nordeste com o uso da fronteira de produção estocástica. **Pesq. Plan. Econ.**, v. 30, n. 3, p. 427-452, dez. 2000.

MASTROMARCO, C. **Stochastic Frontier Models**. University of Salento, Department of Economics and Mathematics-Statistics, CIdE 2008, 2008. 49 p.

MCDONALD, R. I.; WEBER, K.; PADOWSKI, J.; FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; GREEN, P.; MONTGOMERY, M. Water on a urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, 27, p. 96-105. 2014.

MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECK, J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. **International economic review**, p. 435-444, 1977.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, jan./abr. 2007.

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOURA, A. R. **Crítérios de seleção de modelos: um estudo comparativo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2021.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, mar, 2005.

NEFF, D. L.; GARCIA, P.; NELSON, C. H. Technical efficiency: a comparison of production frontier methods. **Journal of Agricultural Economics**, v.44, n. 3, p. 479-489, 1993.

OUM, T. H.; YAN, J.; YU, C. Ownership forms matter for airport efficiency: A stochastic frontier investigation of worldwide airports. **Journal of Urban Economics**, v. 64, n.2, p. 422-435, 2008.

REES, W. E.; WACKERNAGEL, M. Urban Ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. **Environmental impact assessment review**, v. 16, n. 4-6, p. 223-248, 1996.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? **Agricultural Water Management**, v. 80, n. 1– 3, p. 5–22, fev. 2006.

SAMPAIO, A. **Fronteiras estocásticas e avaliação da eficiência: Serviço público de distribuição de água**. Portugal, Universidade de Évora, 2008.

SCHERER, C. E. M.; PORSSE, A. A.; Eficiência produtiva regional da agricultura brasileira: uma análise de fronteira estocástica. **RESR**, Piracicaba-SP, v. 55, n. 2, p. 389-410, abr./jun. 2017. 2017.

SCHMIDT, P.; LOVELL, C. A. K. Estimating technical and allocative inefficiency relative to stochastic production and cost frontiers. **Journal of Econometrics**, v. 9, n. 3, p. 343-366, 1979.

SEIDL, I.; TISDELL, C. A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity. **Ecological economics**, v. 31, n. 3, p. 395-408, 1999.

SILVA, S. R. **Hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani no município de Bauru**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

SIMONATO, M. D.; CAMPOS, J. E.; LEITÃO, A. C. F.; BRANDÃO, D.; SILVA, F. P.; PAULA, V. F. **Há conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Guarani e Bauru na “janela” de basalto, em Bauru-SP?**. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2017.

TEIXEIRA, J. C.; GUILHERMINO, R. L. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados indicadores e dados básicos para a saúde. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, set, 2006.

VAIRAVAMOORTHY, K.; GORANTIWAR, S. D.; PATHIRANA, A. Managing urban water supplies in developing countries – Climate change and water scarcity scenarios. **Physics and Chemistry of the Earth**, 33, p. 330-339. 2008.

VILANOVA, M. R. N. **Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões**. Tese de Doutorado. UNESP, Guaratinguetá, 2012.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. **Ecological Economics**, v. 20, p. 3-24, 1996.

WWAP – World Water Assessment Programme. **Water for People, Water for Life**. UN World Water Development Report. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) and Berghahn Books Press, Boca Raton, FL, p. 3–29. 2003.

WWAP – World Water Assessment Programme. **The United Nations world water development report**. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), Paris - France. 2015.

UNITED NATIONS, **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/366), 2015.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations world water development report 3: Water in a changing world**. Paris, 2009.

ANEXOS

ANEXO 1

Resultado fornecido pelo *software nLogit* para o modelo de análise estocástica de fronteira de produção considerando como variáveis a vazão média de produção (dependente), a densidade demográfica (independente) e a constante.

```
Limited Dependent Variable Model - FRONTIER
Dependent variable      LOG_DP
Log likelihood function -16.89094
Estimation based on N = 25, K = 5
Inf.Cr.AIC = 43.8 AIC/N = 1.751
Model estimated: Nov 30, 2022, 11:51:24
Variances: Sigma-squared(v)= .00000
             Sigma(v) = .00002
             Sigma-squared(u)= 1.70342
             Sigma(u) = 1.30515
Sigma = Sqr[(s^2(u)+s^2(v))= 1.30515
Gamma = sigma(u)^2/sigma^2 = 1.00000
Var[u]/{Var[u]+Var[v]} = 1.00000
Stochastic Production Frontier, e = v-u
Half Normal:u(i)=|U(i)|; frontier model
----[ Tests vs. No Inefficiency ]----
LR test for inefficiency vs. OLS v only
Deg. freedom for sigma-squared(u): 1
Deg. freedom for heteroscedasticity: 0
Deg. freedom for truncation mean: 0
Deg. freedom for inefficiency model: 1
LogL when sigma(u)=0 -23.18858
Chi-sq=2*[LogL(SF)-LogL(LS)] = 12.595
Kodde-Palm C*: 95%: 2.706, 99%: 5.412
LM test for sigma(u) = 0 based on ols e
Chi-sq[1]=(N/6)*[m3/s^3]^2 5.068
Wald tests based on MLEs shown in table
```

LOG_DP	Standard Coefficient	Error	Prob. z	95% Confidence Interval
[Deterministic Component of Stochastic Frontier Model]				
Constant	1.32467	.81099	1.63 .1024	-.26484 2.91418
LOG_DD	.46669***	.09276	5.03 .0000	.28488 .64850
[Offset [mean=mu(i)] parameters in one sided error]				
Mu	-1.06096	3.00234	-.35 .7238	-6.94544 4.82352
[Variance parameters for compound error]				
Lambda	57723.4	.1349D+09	.00 .9997 *****	264371522.1
Sigma	1.30515	.85881	1.52 .1286	-.37809 2.98839

Note: nnnnn.D-xx or D+xx => multiply by 10 to -xx or +xx.
Note: ***, **, * ==> Significance at 1%, 5%, 10% level.

```
Data listing for stochastic frontier model
Observ Pd. Data row Observed Y Fitted Y Y - Xb E[u|e]
1 1 1 5.5128 5.5601 -.0473 .0001
2 1 2 5.4341 5.4342 -.0001 .0001
3 1 3 4.2173 5.2701 -1.0528 .0001
4 1 4 4.7596 5.3954 -.6357 .0001
5 1 5 4.8966 5.2666 -.3700 .0001
6 1 6 5.3166 5.3850 -.0684 .0001
7 1 7 4.3522 5.2754 -.9232 .0001
8 1 8 5.2227 5.2877 -.0650 .0001
9 1 9 4.5808 5.4133 -.8326 .0001
10 1 10 4.3523 5.1051 -.7527 .0001
11 1 11 2.3552 4.9886 -2.6335 .0001
12 1 12 4.2625 5.3139 -1.0514 .0001
13 1 13 4.8783 5.6170 -.7387 .0001
14 1 14 4.8750 5.3685 -.4935 .0001
15 1 15 4.5389 5.3056 -.7667 .0001
16 1 16 4.5910 4.7718 -.1808 .0001
17 1 17 4.2262 4.6190 -.3928 .0001
18 1 18 5.1324 5.2949 -.1625 .0001
19 1 19 2.0869 3.3634 -1.2765 .0001
20 1 20 3.0445 4.5356 -1.4910 .0001
21 1 21 3.8118 5.4730 -1.6613 .0001
22 1 22 3.9701 4.6787 -.7086 .0001
23 1 23 3.2253 3.9106 -.6853 .0001
24 1 24 3.5737 5.0067 -1.4330 .0001
25 1 25 3.8722 3.8723 -.0001 .0001
```

ANEXO 2

Resultado fornecido pelo *software nLogit* para o modelo de regressão linear considerando como variáveis a vazão média de produção (dependente), a densidade demográfica (independente) e a constante.

```

Ordinary least squares regression .....
LHS=LOG_DP Mean = 4.28357
Standard deviation = .89603
----- No. of observations = 25 DegFreedom Mean square
Regression Sum of Squares = 9.91234 1 9.91234
Residual Sum of Squares = 9.35663 23 .40681
Total Sum of Squares = 19.2690 24 .80287
----- Standard error of e = .63782 Root MSE .61177
Fit R-squared = .51442 R-bar squared .49331
Model test F[ 1, 23] = 24.36602 Prob F > F* .00005
Diagnostic Log likelihood = -23.18858 Akaike I.C. = -.82279
Restricted (b=0) = -32.21872 Bayes I.C. = -.72528
Chi squared [ 1] = 18.06027 Prob C2 > C2* = .00002
Model was estimated on Nov 30, 2022 at 11:53:36 AM
  
```

	Standard	Prob.	95% Confidence
LOG_DP	Coefficient	t	Interval
Constant	.15757	.19	.8538
LOG_DD	.52101***	4.94	.0001

Note: ***, **, * ==> Significance at 1%, 5%, 10% level.

Cov.[b^j]	ONE	LOG_DD
ONE	.714945	-.0882248
LOG_DD	-.0882248	.0111406

Predicted Values (* => observation was not in estimating sample.)

Observation	Observed Y	Predicted Y	Residual	95% Forecast Interval
1	5.5127834	4.8859615	.6268219	3.5169300 6.2549930
2	5.4341149	4.7454079	.6887071	3.3860049 6.1048109
3	4.2172994	4.5622558	-.3449564	3.2116426 5.9128691
4	4.7596065	4.7020447	.0575619	3.3451098 6.0589795
5	4.8966451	4.5583055	.3383396	3.2078344 5.9087766
6	5.3165501	4.6904610	.6260891	3.3341451 6.0467770
7	4.3522115	4.5681664	-.2159548	3.2173367 5.9189961

8	5.2226775	4.5818273	.6408502	3.2304801 5.9331745
9	4.5807750	4.7221177	-.1413427	3.3640700 6.0801654
10	4.3523403	4.3779921	-.0256518	3.0318563 5.7241279
11	2.3551775	4.2479939	-1.8928163	2.9023573 5.5936305
12	4.2625390	4.6111191	-.3485800	3.2585812 5.9636570
13	4.8783222	4.9495264	-.0712042	3.5753332 6.3237196
14	4.8750446	4.6720643	.2029803	3.3166960 6.0274326
15	4.5389235	4.6018578	-.0629342	3.2497083 5.9540073
16	4.5909698	4.0059037	.5850662	2.6553276 5.3564798
17	4.2262496	3.8353441	.3909055	2.4767420 5.1939462
18	5.1323808	4.5898920	.5424888	3.2382280 5.9415561
19	2.0869136	2.4335951	-.3466815	.8806681 3.9865221
20	3.0445224	3.7421842	-.6976618	2.3776363 5.1067321
21	3.8117606	4.7887792	-.9770186	3.4266695 6.1508888
22	3.9701032	3.9019592	.0681441	2.5469347 5.2569836
23	3.2252554	3.0444626	.1807928	1.6021831 4.4867422
24	3.5737491	4.2681754	-.6944262	2.9226059 5.6137448
25	3.8722421	3.0017608	.8704813	1.5529419 4.4505797