

DEMANDA FUTURA POR ÁGUA EM 2050: DESAFIOS DA EFICIÊNCIA E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS



OUTUBRO DE 2025





ANÁLISE PRODUZIDA POR:

DR. FERNANDO GARCIA DE FREITAS
DRA. ANA LELIA MAGNABOSCO

Índice

1. Introdução	5
2. Fatores determinantes da demanda de água	11
2.1 Abordagens metodológicas	11
2.2 Modelos econométricos e base de dados	13
2.3 Resultados das estimativas	15
2.4 Estimativas do consumo de água no Brasil em 2023	18
3. Crescimento econômico e dinâmica demográfica	23
3.1 Abordagens teóricas	23
3.2 Modelos estatísticos	25
4. Cenários até 2050	33
4.1 Cenário de expansão demográfica	33
4.2. Cenários de crescimento econômico	37
4.3. Cenários de consumo de água	41
5. Desafios e riscos	53
Bibliografia	63
Anexos	65



1

INTRODUÇÃO

Em 2020, segundo as Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil (IBGE, 2023), as famílias brasileiras utilizaram cerca de 9.084 milhões de m³, sendo aproximadamente 8.392 milhões de m³ provenientes de redes de distribuição de água e 692 milhões de m³ captados diretamente nas propriedades para consumo próprio. Esse valor é praticamente o mesmo do observado em 2013, indicando que houve uma expansão muito pequena do consumo residencial de água – de apenas 2,1% no acumulado desses 7 anos.

Em parte, essa evolução reflete a crise hídrica a partir de 2014, mas também é fruto do baixo crescimento da renda e da expansão demográfica reduzida. Esses fatores influenciam as tendências de expansão do consumo, que também são afetadas de forma decisiva pelos padrões de urbanização e pela cobertura e regularidade dos sistemas de abastecimento de água.

O presente estudo tem como objetivo desenhar cenários de demanda futura de água nas moradias brasileiras em 2050, apontando as principais variáveis que condicionam as diferentes tendências de crescimento do consumo. O objetivo do desenvolvimento de cenários de demanda é capturar o potencial de demanda futura por água em diferentes condições econômicas, demográficas, de padrão de consumo, ambientais etc.

A análise leva em consideração as estatísticas sobre consumo de água, demografia e economia, de 2008 a 2023, e está baseada na literatura acadêmica sobre os temas em questão. No estudo, foi empregada uma metodologia clássica de desenhos de cenários futuros de demanda. Essa metodologia é amplamente aplicada nas análises prospectivas de vendas e produção de bens e serviços na economia de uma forma

geral. Servem para o planejamento de longo prazo, seja das empresas ou do poder público, um aspecto particularmente importante na gestão de recursos ambientais.

Um bom exemplo da aplicação dessa metodologia no desenho de cenários de demanda futura de água é o estudo desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, para o Departamento de Recursos Naturais do Estado de Illinois, Estados Unidos [Meyer et al (2019)]. O estudo de Meyer et al (2019) projeta para 2060 a demanda global por água na Bacia Hidrográfica do Rio Rock, seja para uso doméstico, seja para fins econômicos (agropecuária, indústria e serviços). A metodologia parte da análise dos fatores determinantes da demanda por água, que identifica as condições que interferem no nível de consumo, para projetar a demanda de água em diferentes cenários. Os cenários são conjuntos de condições diferentes que representam o espectro de possibilidades econômicas, demográficas, de padrão de consumo, ambientais etc.

Seguindo essa metodologia, o presente estudo analisa, num primeiro passo, as relações entre população, renda, grau de urbanização e clima, de um lado, e o consumo domiciliar de água, de outro. Essa análise serve para estimar o volume de água consumido nos municípios que não informam essa estatística do Ministério das Cidades, ou que a informam de forma não padronizada. Esse procedimento torna possível estimar com maior precisão o nível de consumo no Brasil e avaliar a situação dos municípios no ano de referência da análise (2023).

Num segundo passo, o estudo traça quatro cenários de demanda baseados nas projeções de expansão demográfica, de crescimento

econômico e de padrões de consumo entre 2023 e 2050. Aos moldes de Meyer et al (2019), o presente estudo emprega um único cenário demográfico, com taxas individualizadas para cada município brasileiro. Os quatro cenários de consumo diferem entre si em razão: (i) de contextos econômicos diferentes – mais ou menos otimistas –, que levam a projeções distintas de evolução da renda per capita nas unidades da Federação e cidades brasileiras; e (ii) de contextos de consumo que dependem da cobertura do atendimento dos serviços de abastecimento de água e do grau de urbanização nas cidades brasileiras. Nesse segundo aspecto pesam as perspectivas com relação ao ano em que as metas de universalização do Novo Marco Regulatório do Saneamento serão atingidas, se em 2033 com se deseja, ou em 2040.

Por fim, esses cenários são empregados para projetar (i) a evolução do consumo per capita de água, por município e unidade da Federação, e (ii) a expansão da demanda total por água tratada nessas unidades regionais entre 2023 e 2050.

Principais achados

Os achados do estudo revelam que a expansão da demanda será elevada, o que constitui um grande desafio para os operadores do sistema, pois a ampliação da oferta de água nos próximos 27 anos será muito elevada. Além disso, os riscos climáticos trazem novas preocupações. A seguir estão os principais achados:

1. As análises identificaram um acréscimo de demanda significativo associado à expansão demográfica, ao crescimento econômico e à universalização do atendimento às famílias. As estimativas

mostram que a expansão do consumo pode chegar a 59,3% em 27 anos. Nessa situação consistente com um crescimento econômico mais acelerado, em que o PIB per capita cresce ao ritmo de 2,7% ao ano, a demanda potencial de água deve atingir 17,224 bilhões de m³ em 2050.

2. Pressupondo que a demanda potencial por água seja plenamente atendida em 2050, será necessário entregar nas cidades brasileiras 7,249 milhões de m³ de água a mais do que foi efetivamente entregue em 2023. O crescimento de demanda seria, portanto, de 72,7% em 27 anos, o que exigiria uma expansão da oferta de no mínimo 2,0% ao ano por 27 anos para a demanda ser plenamente atendida.

3. Com o nível atual de perdas, para atender a demanda futura de água até 2050 seria necessário um acréscimo de produção muito elevado. Considerando que o consumo adicional até 2050 será de 6,414 bilhões de m³, a produção necessária adicional de água seria de 10,672 bilhões de m³, o que equivale a um acréscimo de 59,3% em relação à produção do setor de saneamento em 2023 (GTA1001 do SINISA), que foi de 18,002 bilhões de m³.
4. Uma parte desse problema pode ser resolvido com uma redução das perdas de água na distribuição. Segundo dados do SINISA, a média de perda de água na distribuição no país foi de 39,9% em 2023, ou seja, para cada



100 litros de água captada e tratada, cerca de 40 litros não chegaram à população. Nesse ano, as perdas totais alcançaram a cifra de 7,257 bilhões de m³. Esse volume seria suficiente para abastecer a demanda futura incremental por água até 2050.

5. Isso sugere fortemente que o suprimento da demanda futura incremental por água deva ser garantido, em boa medida, por um processo mais acelerado de racionalização e diminuição das perdas na distribuição. Com desperdícios de 20%, a necessidade de produção de água seria 2,726 bilhões de m³ menor que aquela que prevaleceria numa situação de manutenção das perdas ao nível atual. Isso ajudaria a suprir a demanda incremental, sem pressão extrativa adicional sobre os mananciais tão elevada.
6. Outra questão importantíssima que surge nesse horizonte temporal de análise de mais de duas décadas é a das mudanças climáticas. Os relatórios do Fundo Verde para o Clima – GCF (2017) – e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014) identificaram que as mudanças envolvem o aumento na temperatura, variações de precipitação, aumento do nível do mar, transformações nos padrões climáticos e risco de desabastecimento hídrico.
7. Os parâmetros do modelo econométrico de análise do clima apresentado no presente estudo indicam a tendência de elevação tanto da temperatura máxima quanto da temperatura mínima anual no Brasil até 2050, com aumento da amplitude térmica. A temperatura

máxima deve se elevar em aproximadamente 1° Celsius em relação ao verificado em 2023 e a temperatura mínima deve crescer 0,47° Celsius, indicando aumento da amplitude de 0,52° Celsius até 2050. Outras tendências são a redução do número de dias de chuva e a ocorrência de precipitações mais fortes, dois outros fatores que afetam a oferta e demanda de água nas cidades brasileiras.

8. Tomando por base essa tendência e os parâmetros da equação de demanda, as mudanças climáticas deverão elevar ainda mais o consumo per capita de água das famílias brasileiras. Devido aos aumentos de temperatura, o consumo deve crescer 12,4% adicionalmente ao que deve crescer em razão dos fatores econômicos e demográficos. Isso resultaria numa demanda incremental de 2,113 bilhões de m³ por ano e uma quantidade necessária de produção de mais 3,515 bilhões de m³ por ano (mantendo o nível de perdas na distribuição de 2023). Isso indica desafios ainda maiores que os decorrentes da expansão demográfica e econômica em razão das mudanças climáticas em curso.
9. Mas além do aumento de consumo, deve-se observar que as mudanças climáticas projetadas até 2050 poderão desequilibrar o balanço entre oferta e demanda de água em razão de outros fatores. O aumento das temperaturas e a perspectiva de redução dos dias de chuva devem levar várias regiões do país à desertificação e ampliar a área do semiárido brasileiro, que reúne municípios mais secos e com maior

dificuldade de suprir a demanda. Nas regiões que hoje são mais secas, o aquecimento poderá implicar a quebra na oferta com elevada probabilidade.

10. Na média das cidades brasileiras, as tendências climáticas indicam restrição de oferta de 3,4% na média do ano. Isso indica que haverá na média do país cerca 12 dias de racionamento de água por ano. Onde a precipitação média e o número de dias de chuva já são menores – partes do Nordeste e do Centro-Oeste, por exemplo – espera-se que os racionamentos superarão 30 dias, com consequências graves na saúde e na qualidade de vida da população.

Roteiro de análise

Além desta introdução, o estudo tem quatro seções com a seguinte distribuição de assuntos:

Capítulo 2: apresenta a análise dos fatores determinantes da demanda residencial de água considerando a literatura internacional sobre o tema e as estimativas feitas com base em informações dos municípios brasileiros;

Capítulo 3: apresenta a metodologia empregada nas análises de crescimento econômico e dinâmica demográfica e apresenta as estimativas dos modelos econométricos;

Capítulo 4: traça os cenários para o horizonte de 2050 e apresenta as projeções de consumo per capita de água nos municípios e unidades da Federação considerando os diferentes cenários econômicos e de padrão de consumo;

Capítulo 5: traça considerações sobre duas importantes questões ambientais envolvidas no tema que são (i) as perdas na distribuição do sistema de abastecimento de água e (ii) o efeito potencial das mudanças climáticas sobre o equilíbrio entre demanda e oferta de água tratada.

Encerram o documento a bibliografia empregada e os anexos metodológicos.



Fatores determinantes da demanda de água

2.1. Abordagens metodológicas

Os artigos de Epsey et al (1997) e de Arbués et al (2003) trazem boas resenhas dos estudos e metodologias empregadas na estimação dos fatores determinantes do consumo residencial de água. Os dois artigos resenham os estudos de elasticidade-preço da demanda residencial por água publicados entre 1967 e 2002. Há três abordagens principais: a de estudos microeconômicos, a de estudos mesoeconômicos e a de estudos macroeconômicos.

A chamada de abordagem micro, analisa os dados domiciliares de consumo e correlaciona os padrões de uso da água com informações socioeconômicas e locais das residências. A referência histórica dessa abordagem é o estudo de Howe e Linaweaver (1967). Além de permitir a mensuração dos efeitos do preço da água e da renda no consumo, parâmetros fundamentais para análises de mercado, esse tipo de abordagem permite avaliar de forma mais precisa a influência dos fatores locais e das características das famílias e das moradias sobre a demanda por água.

A abordagem de estimativas por municípios ou distritos, constituída de estudos mesoeconômicos, é a predominante na literatura. Ela avalia informações num plano mais agregado, considerando dados médios de unidades regionais. Exemplos dessa abordagem são os estudos de Schleich e Hillenbrand (2009), que analisa a demanda em 600 áreas de suprimento de água na Alemanha, e o de Meyer et al (2019), que analisa as informações distritais dos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Rock em Illinois, Estado Unidos. O estudo de Wentz e Gober (2007) desenvolve uma análise espacial da demanda residencial por água na cidade de Phoenix, Arizona. Nesse último estudo, a cidade foi dividida em quadriláteros cada um representando um lote de consumo domiciliar de água.

Além dessas abordagens, há estudos de abordagem macroeconômica que analisam dados ainda mais agregados para regiões extensas, como estados ou províncias e nações.

Exemplo dessa abordagem são os estudos de Babel et al (2007) para a região de Catmandu, no Nepal. Outro exemplo é a modelagem de Corral, Fischer e Hatch (1999) que analisam os fatores determinantes da demanda por água e a elasticidade-preço da demanda com dados agregados de três distritos da cidade de San Francisco, nos Estados Unidos.

A predominância dos estudos mesoeconômicos é justificada por dois pontos: a competência do planejamento municipal e a disponibilidade de dados. As operações de água são em sua maioria de extensão territorial municipais, de tal sorte que a média do consumo por habitante tem significado próprio, ao mesmo tempo em que esses estudos podem ser feitos com dados consolidados dos operadores de saneamento, sem requerer visitas a domicílios, cujo custo de levantamento de informações é relativamente mais elevado. Além disso, os autores que optam por abordagem mesoeconômica argumentam que ela tem as vantagens de permitir a agregação das informações em níveis mais abrangentes (estados, províncias ou bacias hidrográficas, por exemplo) e as bases de dados dispõem de um volume maior de observações. No caso do Brasil, o volume de informações municipais sobre saneamento e sua periodicidade são bem mais vastos que os dados macro e microeconômicos.

Qualquer que seja a abordagem, o principal objetivo é estabelecer as relações teóricas que descrevem os fatores determinantes do consumo de água. Nessa visão, o volume consumido de água em uma dada sociedade – o qual é chamado de variável dependente – é determinado por fatores demográficos, econômicos, técnicos e sociais – variáveis chamadas de independentes ou explicativas –, as quais são consideradas, em geral, exógenos.

Muitas relações hipotéticas foram formuladas e muitas variáveis independentes foram testadas para explicar a quantidade demandada de água, mas há um conjunto de indicadores que pertencem à maior parte das análises disponíveis na literatura.

Epsey et al (1997) destacam as seguintes variáveis independentes: preço da água, renda média das famílias, densidade populacional, tamanho do domicílio, sazonalidade, evapotranspiração, temperatura média e localização geográfica. Arbués et al (2003) destacam um conjunto semelhante: preço da água, renda média, clima, adensamento domiciliar, características físicas das moradias, forma de cobrança, tipo de uso (dentro e fora de casa).

Além dessas variáveis coincidentes, Meyer et al (2019) empregam a proporção da população economicamente ativa na população total de cada cidade da amostra no conjunto de variáveis explicativas. Wentz e Gober (2007), por sua vez, consideram a percentagem de residências com piscinas, o tamanho médio dos lotes dos imóveis, a parcela da área dos lotes empregada em usos não residenciais e o tamanho médio das residências em cada área. Já o estudo de Schleich e Hillenbrand (2009) inclui no conjunto de variáveis explicativas a parcela das moradias com poço para extração de água.

As relações teóricas são estimadas por meio de técnicas econométricas que empregam informações estatísticas das variáveis dependentes e independentes. Os modelos de série de tempo usam informações históricas, preferencialmente de períodos longos, com 20 a 30 observações por variável dependente para se obter um número adequado de graus de liberdade para as inferências. Os modelos de análises transversais se baseiam em informações de diferentes unidades regionais – como é o caso dos estudos que os municípios como unidade regional – em um dado período de tempo. Há por fim, a possibilidade de se combinar as técnicas de séries de tempo com seções transversais, a qual é chamada de análise de painel. Nessa visão unificada das duas abordagens estatísticas, as dimensões tempo e espaço atuam sobre as variáveis, permitindo identificar tendências e regularidades nas relações.

Em termos de técnicas estatísticas, os estudos disponíveis na literatura apontam para a necessida-

de de tratar a questão da simultaneidade na determinação da oferta e da demanda por água. A demanda desse tipo de bem comum, ofertado por prestador de utilidade pública e com preço administrado, em geral, é restrita pela capacidade de oferta dos operadores – sobre esse assunto, ver Arbués (2003). As técnicas de estimação de equações simultâneas ou de variáveis instrumentais – ver Wooldridge (2006) a esse respeito – são as mais adequadas para evitar viés de simultaneidade na estimação dos coeficientes de demanda.

2.2. Modelos econométricos e base de dados

No presente estudo, optou-se por empregar uma modelagem mesoeconômica em que a unidade básica é o consumo médio de água, em litros diários por habitante, nos municípios brasileiros. Entre as técnicas estatísticas, a escolha recaiu sobre os modelos de painel, com dados anuais para as 5.570 cidades brasileiras entre 2008 e 2023. Na presente análise, além das condições de demanda, são trabalhadas simultaneamente as condições de oferta de água e de determinação do preço ou tarifa média de consumo. Também foi incluído na modelagem um conjunto amplo de variáveis que medem as condições climáticas, fatores considerados exógenos e que interferem no consumo de água.

A linha de trabalho empregada neste estudo segue de perto a do artigo de Meyer et al (2019), mas incorporou as condições de oferta e de determinação de preços. A diferença, portanto, recai no fato de que não se considera o preço, ou tarifa, uma variável estritamente exógena. Ao contrário, pressupõe-se que o preço, ou tarifa, é determinado pela interação entre oferta e demanda, dadas as condições de oferta. O modelo é um sistema de equações simultâneas que descreve o comportamento da demanda (q^D) e da oferta de água (q^S) – equações (1) e (2) –, a condição de equilíbrio de mercado – equação (3) – e o mecanismo de formação e preço da água – equação (4). Essas variáveis estão interligadas entre si e são variáveis endógenas do modelo, ou seja, são determinadas

simultaneamente no mercado. O equilíbrio de mercado estipula o nível de água demandada e ofertada por dia por habitante em um dado município. Nas equações, o índice i identifica o município e o índice t identifica a unidade de tempo.

$$(1) \quad q_{it}^D = f(\text{urbanização}, \text{renda}, \text{preço}, \text{clima})$$

$$(2) \quad q_{it}^S = f(\text{rede}, \text{empregados}, \text{preço}, \text{clima}, \text{perdas})$$

$$(3) \quad q_{it}^D = q_{it}^S$$

$$(4) \quad p_{it} = f(\text{custos}, \text{perdas}, \text{salário}, \text{escala})$$

A demanda (oferta) de água diária per capita é definida pela variável IN022 do SNIS e pela variável IAG2006 do SINISA que representam, o consumo bruto diário per capita de água nos municípios. Pelas definições do SNIS e do SINISA, o consumo bruto diário per capita de água é dado pelo volume de água consumido, descontado o volume exportado de água tratada, e dividido pela população total atendida por abastecimento de água. O volume consumido de água (código AG010 no SNIS e GTA1211 no SINISA), por sua vez, é definido como: o volume micromedido (código do AG008 e GTA1214 no SINISA), mais o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado (código AG019 no SNIS e GTA1203 no SINISA) para outro prestador de serviços.

Portanto, o numerador do consumo per capita leva em consideração o consumo efetivamente medido e uma parcela que é estimada. Em 2023, essa parcela correspondeu a 12,7% do valor do consumo per capita. Em alguns municípios, provavelmente em razão da regra de estimação aplicada, notam-se valores extremamente elevados, que são *outliers* do ponto de vista estatístico. Esse é caso do município de Miranda do Norte, cujo consumo diário per capita foi de 6.375 litros. Outro exemplo é Fortaleza dos Nogueiras, cidade cujo consumo diário per capita foi declarado com sendo de 2.325 litros. Não obstante esses problemas, o modelo econométrico empregado tem a qualidade

de filtrar a parcela de consumo que é considerada um erro de medida, corrigindo assim o valor de consumo para os municípios em que isso ocorre. Devido à grande disponibilidade de informações e às técnicas estatísticas empregadas, esses erros de medida também não afetam as estimativas dos parâmetros que medem as relações entre as variáveis dependentes e explicativas.

Outro ponto que merece atenção é o fato de que nas variáveis que definem o consumo per capita (códigos IN022 do SNIS e IAG2006 do SINISA) está contido o consumo urbano que, além do consumo residencial de água, inclui a demanda do comércio, dos serviços (incluindo o poder público) e de pequenas indústrias, todos clientes que são atendidos pelos operadores de abastecimento de água. Nesse sentido, será necessário considerar entre as variáveis explicativas alguma medida indireta que aponte o tamanho dessas atividades nas cidades brasileiras.

O preço da água é o indicador de tarifa média de água (códigos IN005 do SNIS e o IFA1002 do SINISA). Ele é definido como a razão entre a receita operacional direta de água e o volume faturado de água (exceto o de água exportada).

Vale destacar que, no modelo econométrico, a quantidade ofertada pelos operadores de saneamento é aquela que efetivamente chega às residências. Assim, para efeito de cálculo do nível de produção necessário para atender a demanda, as perdas do sistema devem ser consideradas na determinação do nível de oferta. As perdas na distribuição são, conceitualmente, um consumo próprio indesejado de água dos operadores de saneamento. Nesse sentido, as perdas na distribuição constituem um desperdício econômico, ou ainda, uma ineficiência técnica. Por elevar os custos do operador, as perdas também influenciam o nível de preço ou tarifa da água nos municípios.

Os fatores determinantes da demanda e da oferta de água per capita diária e do preço médio ou tarifa da água são as seguintes variáveis:

Cobertura: é a percentagem da população urbana do município com acesso ao serviço de abastecimento de água tratada (código IN023 do SNIS e IAG 0002);

Renda: é a massa de rendimentos do trabalho, em R\$ por habitante por ano, a qual é estimada a partir dos dados do Ministério do Trabalho (RAIS) e do IBGE;

Clima: o clima de um município é apontado por quatro variáveis estimadas para as cidades brasileiras conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); as variáveis são médias mensais das temperaturas máximas e mínimas registradas ao longo do ano, a média mensal da umidade relativa do ar ao longo dos anos e a média mensal do número dias de chuva observados nas cidades brasileiras; a metodologia de estimativa dessas variáveis é apresentada no **Anexo Metodológico**;

Urbanização: é a participação da população urbana no total da população dos municípios, tendo como fontes IBGE, SNIS e SINISA;

Rede: é a extensão da rede de distribuição de água no município, em metros por habitante;

Empregados: Número de funcionários da operadora de água por 100.000 habitantes;

Custos: é o custo de exploração por m³ faturado (variável IN026 do SNIS e IFA2004 do SINISA); e

Salário real médio: é o índice de salário médio mensal pago na cidade, variável que influencia os preços do fator mão de obra nas cidades brasileiras. Essa variável também é chamada de renda por trabalho.

O estudo empregou a formulação econométrica de estimação das equações simultâneas por mínimos quadrados em 3 estágios (MQ3E) – sobre o método, ver Wooldridge (2006). As equações estimadas são lineares como a definida pela expressão (5). As variáveis dependentes endóge-

nas – preço da água e quantidade demanda e ofertada de água – foram transformadas por logaritmos naturais ($\ln$). Entre as variáveis exógenas (independentes), o rendimento médio do trabalho por habitante, a extensão da rede, o custo, o índice de salário real médio e o número de empregados por 100 mil habitantes também foram convertidos por logaritmos naturais ($\ln$). Os graus de urbanização, as perdas e as variáveis de clima estão em nível. Isso implica que os coeficientes estimados β são elasticidades de y em relação a x , no caso das duas variáveis estarem transformadas em $\ln$, ou semi-elasticidades, como caso de apenas y estar transformada – sobre essa questão, ver Babel et al (2006). A parcela u é aleatória e tem distribuição normal de média 0 e variância constante.

$$(5) \quad y_{it} = \beta_0 + \beta_x X_{it} + u_{it} \quad u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$$

A **Tabela 2.1** traz as estatísticas descritivas das variáveis. A amostra contou com 89.120 observações. No entanto, há 74.183 casos em que há todas as informações completas para o modelo econométrico. A escolha do período de 2008 a 2023 recaiu em dois fatos: 2023 é o último ano para o qual há informações sobre saneamento, ao mesmo tempo em que 2008 é o primeiro ano para o qual se dispõe de informantes mais consistentes na amostra do SNIS. Com exceção de 2023, ano da criação do SINISA, o número de observações foi maior nos anos mais recentes.

2.3. Resultados das estimativas

A **Tabela 2.2** apresenta o grau de adequação das estimativas dos fatores determinantes do volume de água demanda e ofertada nos municípios brasilei-

Tabela 2.1

Estatísticas descritivas das variáveis, 2008 a 2023

Variáveis	Transformação	Observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Consumo de água per capita	$\ln$	80.258	4,85496	0,40120	-2,30259	8,76013
Renda	$\ln$	89.120	8,45574	0,92017	0,00000	12,11455
Preço ou tarifa	$\ln$	78.086	1,60009	0,76880	-16,06632	7,33208
Grau de industrialização		88.740	0,63955	0,22021	0,01871	1,63839
Extensão da rede	$\ln$	81.327	1,16408	0,76444	-5,67143	4,85277
Empregados do operador	$\ln$	79.507	4,01976	0,84804	-0,74795	8,92450
Custos	$\ln$	80.208	8,84583	0,75846	-6,78744	16,14797
Salário médio nas cidades	$\ln$	89.120	10,37896	3,76646	-3,64860	16,60142
Perdas na distribuição		78.511	0,32830	0,28369	-53,75000	1,00000
Temperatura Mínima		89.040	18,83530	2,56243	14,02445	25,45879
Temperatura Máxima		89.040	29,91975	2,44711	23,94135	36,13954
Dias de precipitação		89.040	11,21668	1,23323	8,53930	17,20134
Umidade relativa do ar		89.040	72,27122	3,78720	60,69959	86,11762

Fonte: Ministério das Cidades, Ministério do Trabalho e Emprego, IBGE e INMET.

Tabela 2.2

Grau de adequação do modelo de MQ3E, 2008 a 2023

Equação	Número de observações	Número de parâmetros	RMSE	R ²	Chi ²	p
Demanda	74.183	6	0,32615	99,6%	17.300.000	0,0%
Oferta	74.183	7	0,33750	99,5%	16.500.000	0,0%
Preço	74.183	31	0,51351	91,6%	857.715	0,0%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

ros entre 2008 e 2023. As três equações apresentaram R^2 bastante elevados, o que poderia constituir um problema de erro padrão também muito elevado dado que são modelos de seção cruzada estimados por MQ3E. Contudo, essa questão é compensada pelo fato de o número de observações da amostra ser bastante elevado. Sobre essa questão, ver Wooldridge (2006).

A **Tabela 2.3**, por sua vez, mostra os coeficientes estimados, o erro padrão das estimativas, a estatística t , o p-valor da estatística t e intervalo de confiança dos coeficientes. No primeiro bloco, estão as estimativas da equação de demanda, seguidas das estimativas das equações de oferta e de preço (blocos 2 e 3). Todos os coeficientes da equação de demanda são significativamente diferentes de zero e apresentam os sinais esperados.

Quanto maior o grau de urbanização de uma cidade, maior o consumo diário per capita de água. A cada ponto percentual a mais de população urbana no total da população do município, espera-se um consumo 0,96% maior.

O consumo também cresce em função da renda per capita, como esperado, mas tem uma segunda derivada negativa, a qual faz a curva de renda-consumo seja crescente a taxas decrescentes: quanto maior o nível de renda de um município, menor o efeito do crescimento econômico sobre a demanda por água. O coeficiente associado à renda foi estimado em 1,0265. Considerando a renda per capita média no Brasil, que foi de 8,456 na média da amostra, esse valor está relativamente próximo ao obtido por Schleich e Hillenbrand (2009) na estimação dos efeitos da renda média per capita dos municípios sobre a demanda por água na Alemanha: que seria de 1,452. No estudo de Meyer et al (2019), a influência da renda média sobre a demanda de água nas cidades da bacia do Rio Rock, Illinois, é menor: 0,198.

A tarifa de água afeta negativamente a demanda, mas o coeficiente é baixo (-0,254), indicando que a demanda por água é inelástica a preço: grandes

variações de preço estão associadas a pequenas variações de demanda, um comportamento típico de serviços com preço regulados. Esse valor está próximo aos obtidos por Schleich e Hillenbrand (2009), que foi de -0,242, e por Meyer et al (2019), que foi de -0,122.

A temperatura máxima das cidades interfere positivamente no nível de demanda: quanto mais quente uma cidade, maior o consumo per capita diário. A cada grau Celsius adicional, a demanda por água cresce 24,9%. A demanda per capita por água cai conforme se eleva a temperatura mínima. O coeficiente estimado foi de -0,267. Isso indica que um aumento da amplitude térmica pode afetar o padrão de consumo de água, mesmo na situação em que não há mudança da temperatura média.

A umidade relativa do ar interfere de forma positiva no consumo per capita de água: quanto maior a umidade relativa do ambiente, maior o consumo. Na média das cidades brasileiras, a cada ponto percentual de umidade relativa do ar, o consumo per capita de água aumenta 3,6% (coeficiente de 0,036). No estudo de Babel et al (2006), o impacto foi negativo de -0,210 e, no de Schleich e Hillenbrand (2009), o coeficiente ficou em -0,147, valor bem próximo ao verificado para o Brasil. A principal razão dessas diferença está associado ao fato de os estudos citados terem sido realizados no hemisfério norte, onde em geral os invernos são úmidos e os verões secos.

Todos os coeficientes da equação de oferta também são significativamente diferentes de zero e apresentam os sinais esperados. A tarifa de água afeta positivamente a oferta de água e o coeficiente também é baixo (0,128), indicando que a oferta de água é inelástica a preço: grandes variações de preço estão associadas a pequenas variações de oferta. Quanto maior a estrutura de operação de distribuição de água – redes de grande extensão e empresas com muitos funcionários –, maior a oferta per capita de água.

A temperatura máxima das cidades também interfere positivamente no nível de oferta: quanto

Tabela 2.3
Coeficientes estimados do modelo de MQ3E, 2008 a 2023

	Coeficiente	Erro padrão	z	p(z)	Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Equação de demanda						
Grau de urbanização	0,00956	0,00345	2,77	0,60%	0,00281	0,01632
Renda	1,02652	0,00102	26,10	0,00%	1,02453	1,02852
Preço ou tarifa	-0,25393	0,00200	-127,15	0,00%	-0,25784	-0,25001
Temperatura Máxima	0,24939	0,00107	232,24	0,00%	0,24729	0,25150
Tempetura Mínima	-0,26664	0,00133	-200,41	0,00%	-0,26925	-0,26404
Umidade relativa do ar	0,03568	0,00018	203,33	0,00%	0,03534	0,03603
Equação de oferta						
Preço	0,12774	0,00152	-84,13	0,00%	0,12476	0,13072
Empregados	0,03327	0,00099	33,54	0,00%	0,03133	0,03521
Extensão da rede	0,02311	0,00131	17,64	0,00%	0,02054	0,02568
Temperatura Máxima	0,34362	0,00126	273,22	0,00%	0,34115	0,34608
Tempetura Mínima	-0,33979	0,00150	-226,12	0,00%	-0,34274	-0,33685
Dias de precipitação	0,17400	0,00076	230,01	0,00%	0,17251	0,17548
Perdas na distribuição	-0,03905	0,00295	-13,23	0,00%	-0,04484	-0,03327
Equação de preço						
Custos	0,55706	0,00291	191,33	0,00%	0,55135	0,56277
Perdas na distribuição	0,15644	0,00643	24,33	0,00%	0,14384	0,16904
Salário real médio	0,06100	0,00179	34,15	0,00%	0,05750	0,06450
Extensão da rede	-0,06992	0,00283	-24,73	0,00%	-0,07546	-0,06438
Dummies regionais						
Rondônia	-4,16375	0,03099	-134,37	0,00%	-4,22449	-4,10302
Acre	-4,86414	0,03463	-140,47	0,00%	-4,93201	-4,79627
Amazonas	-5,02773	0,03226	-155,85	0,00%	-5,09096	-4,96450
Roraima	-4,67170	0,03705	-126,10	0,00%	-4,74431	-4,59909
Pará	-4,57509	0,02920	-156,66	0,00%	-4,63232	-4,51785
Amapá	-4,83670	0,03755	-128,79	0,00%	-4,91030	-4,76310
Tocantins	-3,83839	0,02768	-138,68	0,00%	-3,89264	-3,78415
Maranhão	-4,41795	0,02793	-158,17	0,00%	-4,47270	-4,36321
Piauí	-4,15726	0,02870	-144,87	0,00%	-4,21351	-4,10102
Ceará	-4,18055	0,02850	-146,67	0,00%	-4,23641	-4,12468
Rio Grande do Norte	-3,93972	0,02874	-137,08	0,00%	-3,99605	-3,88339
Paraíba	-4,06674	0,02848	-142,81	0,00%	-4,12256	-4,01093
Pernambuco	-3,76152	0,02745	-137,01	0,00%	-3,81533	-3,70772
Alagoas	-3,82594	0,02878	-132,93	0,00%	-3,88235	-3,76953
Sergipe	-3,67822	0,02928	-125,62	0,00%	-3,73560	-3,62083
Bahia	-3,89353	0,02808	-138,68	0,00%	-3,94856	-3,83850
Minas Gerais	-4,04281	0,02774	-145,73	0,00%	-4,09719	-3,98844
Espírito Santo	-3,80547	0,02875	-132,36	0,00%	-3,86182	-3,74912
Rio de Janeiro	-3,93832	0,02932	-134,33	0,00%	-3,99578	-3,88086
São Paulo	-4,29892	0,02861	-150,24	0,00%	-4,35500	-4,24284
Paraná	-3,85794	0,02855	-135,11	0,00%	-3,91390	-3,80197
Santa Catarina	-3,73743	0,02871	-130,20	0,00%	-3,79369	-3,68116
Rio Grande do Sul	-3,71950	0,02872	-129,49	0,00%	-3,77579	-3,66320
Mato Grosso do Sul	-3,89817	0,03006	-129,69	0,00%	-3,95708	-3,83926
Mato Grosso	-4,26498	0,02788	-152,97	0,00%	-4,31963	-4,21033
Goiás	-4,10752	0,02912	-141,03	0,00%	-4,16460	-4,05044
Distrito Federal	-4,33900	0,10059	-43,13	0,00%	-4,53616	-4,14184

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

mais quente uma cidade, maior a oferta per capita diária. A cada grau Celsius adicional, a oferta por água cresce 34,4%. A oferta per capita por água cai conforme se eleva a temperatura mínima, com coeficiente estimado foi de -0,340. Da mesma forma que o observado na equação de demanda, um aumento da amplitude térmica pode afetar o padrão de oferta de água, mesmo na situação em que não há mudança da temperatura média.

O número de dias de precipitação interfere de forma positiva no consumo per capita de água: cidades com chuvas mais frequentes estão associadas a níveis de oferta mais elevados. Na média das cidades brasileiras, a cada dia adicional de chuva na média mensal, o consumo per capita de água aumenta 17,4% (coeficiente de 0,174). Assim, municípios em áreas tropicais, com temperaturas elevadas ou próximas ao litoral, têm maior oferta de água relativamente a cidades no semiárido brasileiro, que também têm temperaturas elevadas, mas registram pouca precipitação. Isso ocasiona as restrições de oferta nas áreas de cerrado e de caatinga.

Por fim, a equação de preço revela uma relação positiva entre preço e custos, indicando que a formação de tarifas do setor é por mark-up (margem sobre custos). As perdas na distribuição elevam os preços e tarifas da água, ao passo que a escala da operação indicada pela extensão da rede afeta negativamente o preço: escalas maiores a preços menores. As estimativas indicam que o custo relativo da mão de obra nas cidades brasileiras afeta positivamente os preços e tarifas da água: nas cidades em que a mão de obra é mais valorizada, cobra-se relativamente mais pela água. As discretas associadas a cada unidade da Federação (variáveis *dummies* regionais) indicam que há diferenças expressivas de patamares de preços entre os estados brasileiros. Acre, Amazonas, Roraima e Amapá registraram preços relativamente mais baixos na média do período analisado, enquanto os estados do Sul apresentaram médias mais elevadas. São Paulo e Brasília, duas áreas com bom

abastecimento tinham preços relativamente reduzidos.

2.4. Estimativas do consumo de água no Brasil em 2023

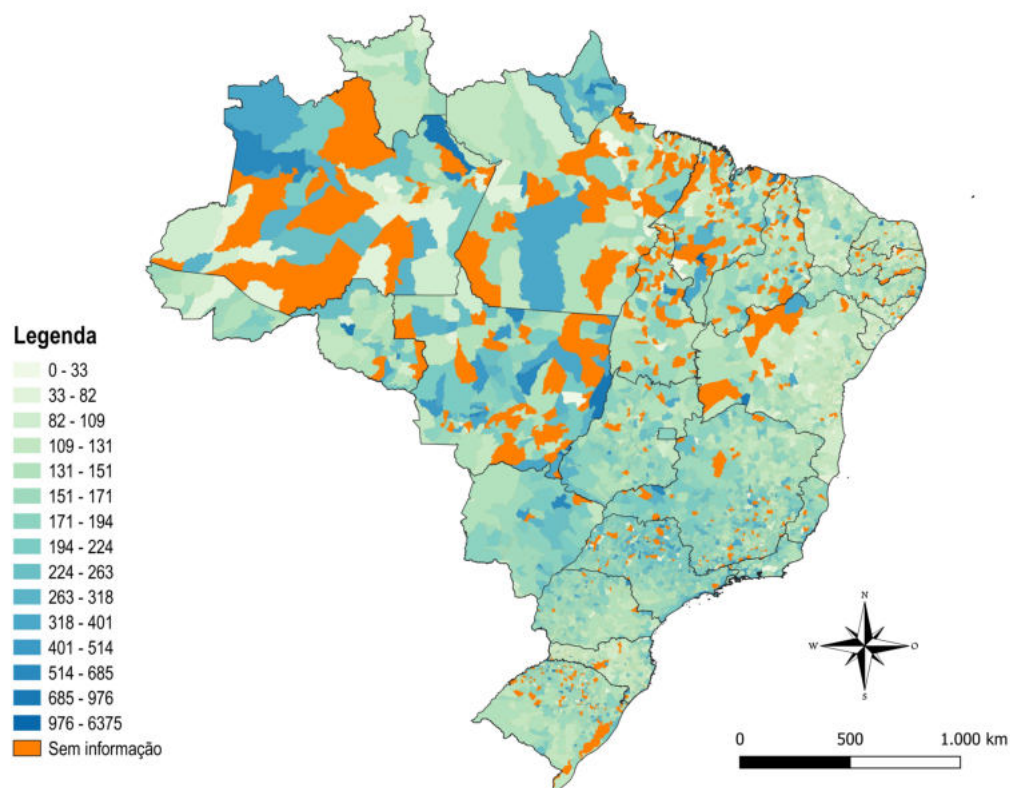
As estatísticas de consumo de água no Brasil para o ano de 2023, como dito anteriormente, restringiram-se a 5.079 cidades, que representaram 91,2% do total de 5.570 municípios brasileiros. Em termos populacionais, nessas cidades moravam 201,720 milhões de pessoas, sendo que 170,231 milhões de pessoas nas áreas urbanas. Em termos relativos, a população total dessas cidades correspondeu a 97,1% da população brasileira (207,767 milhões de pessoas) e a população urbana, a 98,1% do número total de habitantes nas áreas urbanas do país.

Segundo dados do SINISA, em 2023 foram consumidos 9,974 bilhões de m³. Esse valor representa uma média diária de 131,53 litros por pessoa no país, incluindo no consumo a parcela atribuída de consumo que não é medida diretamente pelos operadores e no denominador o total dos 207,767 milhões de brasileiros. Levando em conta apenas a população com acesso ao abastecimento de água (167,559 milhões de pessoas), o consumo médio diário foi de 163,09 litros por habitante.

Segundo os dados do SINISA, havia cidades com consumo médio de 8,8 litros diários per capita e outras com mais de 6 mil litros diários por habitante. Corrigindo os dados pelo consumo estimado, ou seja, retirando do consumo a parcela de consumo que é considerada erro de medida e incorporando as estimativas para os municípios que não informaram o SINISA, chega-se a um volume de 10,725 bilhões de m³. Esse valor representa uma média diária de 175,38 litros por pessoa no país, incluindo a quantidade de água que é perdida na distribuição.

Mapa 2.1.

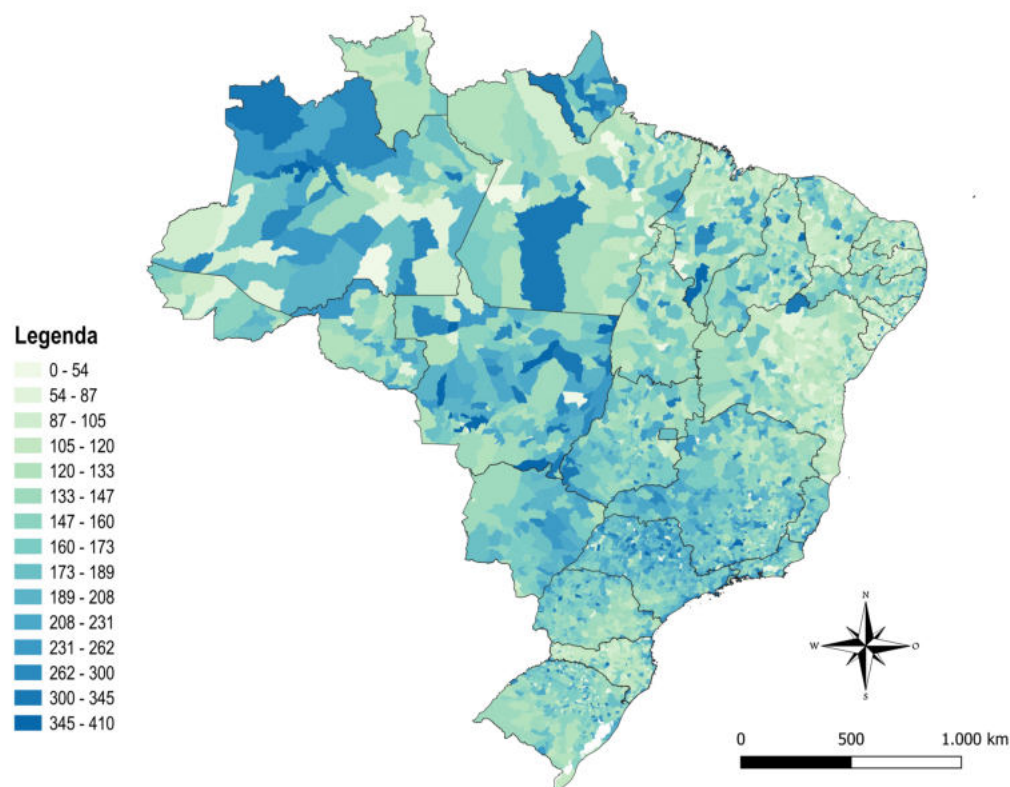
Consumo de água, em litros diários por habitante, Brasil, 2023



Fonte: SINISA. Elaboração:
Ex Ante Consultoria
Econômica.

Mapa 2.2.

Consumo esperado de água, em litros diários por habitante, Brasil, 2023



Fonte: SINISA e estimativas
próprias. Elaboração: Ex Ante
Consultoria Econômica.

O **Mapa 2.1** traz a distribuição do volume diário per capita de água nos municípios brasileiros, discriminado as faixas de volume. Na faixa de cor laranja, estão as cidades para as quais não havia informações. Nas faixas mais claras estão as cidades com baixo consumo e nas faixas mais escuras, estão as cidades com maior consumo.

Esses dados dão uma boa ideia da distribuição espacial do consumo, mas para projetar o consumo de água até 2050, é necessário estimar antes de tudo os valores de consumo para as cidades em que não há informação e ajustar as informações que são considerados *outliers*. Para efeito de projeções de longo prazo, a falta dessas informações é um problema menor. O problema maior é a falta de homogeneidade de informações: há municípios que produzem água para exportação, mas esses fluxos não são devidamente apontados, elevando os valores de consumo médio diário, e há operadores que superestimam o volume de água consumido que não é medido diretamente por hidrômetros. Por isso restam na amostra valores extremamente elevados de consumo diário per capita (mais de 450 litros, por exemplo). Para superar essa dificuldade, as estimativas econométricas realizadas na seção anterior foram empregadas como base para as projeções.

Para construir essa nova base é empregado um método simples. Quando os valores são conhecidos e estão dentro de um intervalo razoável, são empregados os valores disponíveis no SINISA. Mas quando os valores estão fora do intervalo aceitável (até 450 litros por habitante dia) ou são ignorados, então são empregadas as estimativas feitas com base nos valores das variáveis explicativas e nos coeficientes do modelo econométrico estimado na seção anterior.

O **Mapa 2.2** traz os valores de consumo esperado per capita diário de água dos municípios brasileiros em 2023. As faixas, como as do mapa anterior, indicam cortes naturais da distribuição da variável. A faixa menor engloba municípios com consumo diário per capita de até 54 litros e a faixa mais escura, aqueles que apresentaram valores superiores a 345 litros por habitante por dia. A faixa intermediária concentrou os municípios com consumo anual per capita entre 160 e 173 litros por habitante por dia. A média nacional foi estimada em aproximadamente 172 litros por habitante por dia.

Adicionalmente, a **Tabela 2.4** traz os valores médios do consumo diário per capita de água nas grandes regiões e nas unidades da Federação em 2023 (primeira coluna numérica). Na tabela também está disposta a população total do país, incluindo aqueles que ainda não têm acesso ao serviço de abastecimento de água tratada (segunda coluna numérica). Multiplicando esses dois valores chega-se ao consumo total de água que será necessário suprir num cenário de acesso universalizado. Esse valor é o que figura na terceira coluna de dados.

Os 13,037 bilhões de m^3 que deveriam ser ofertados para atender ao consumo do total da população brasileira em 2023 supera em 30,7% o consumo observado nesse mesmo ano na base de dados do SINISA, que foi de 9,974 bilhões de m^3 . Vale observar que essa ampliação de oferta de cerca de 3 bilhões de m^3 é a componente da expansão do consumo de água no cenário de consumo em 2050 devida à universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água tratada. As demais componentes vêm da expansão demográfica e do crescimento econômico, fatores analisados no próximo capítulo.

Tabela 2.4

Consumo observado e esperado de água, em litros diários por habitante, 2023

	População (pessoas)	Consumo observado (SINISA)		Consumo esperado	
		Consumo per capita (litros diários per	Consumo (em milhões de m³)	Consumo per capita (litros diários per	Consumo (em milhões de m³)
Norte	17.998.562	75,35	494,98	158,52	1.041,41
Rondônia	1.661.549	72,37	43,89	179,55	108,89
Acre	854.943	70,95	22,14	168,11	52,46
Amazonas	4.107.635	98,41	147,55	176,40	264,47
Roraima	675.535	95,60	23,57	164,16	40,48
Pará	8.387.422	54,46	166,72	137,37	420,54
Amapá	767.508	92,88	26,02	238,41	66,79
Tocantins	1.543.971	115,51	65,09	155,78	87,79
Nordeste	55.869.913	94,93	1.935,79	142,90	2.914,14
Maranhão	6.892.750	83,18	209,28	166,99	420,13
Piauí	3.322.964	113,86	138,10	177,55	215,35
Ceará	9.011.405	94,86	312,01	128,87	423,88
Rio Grande do Norte	3.373.553	99,78	122,87	138,54	170,59
Paraíba	4.058.836	87,93	130,27	134,73	199,60
Pernambuco	9.295.622	97,77	331,74	170,43	578,26
Alagoas	3.173.527	75,04	86,93	114,66	132,81
Sergipe	2.249.884	110,39	90,65	118,83	97,58
Bahia	14.491.372	97,17	513,96	127,79	675,95
Sudeste	86.704.832	161,19	5.101,35	195,18	6.176,96
Minas Gerais	20.927.216	142,23	1.086,43	177,47	1.355,57
Espírito Santo	3.965.505	147,83	213,97	190,39	275,58
Rio de Janeiro	16.626.981	155,29	942,42	208,06	1.262,70
São Paulo	45.185.130	173,32	2.858,54	199,07	3.283,12
Sul	30.518.312	143,20	1.595,12	168,37	1.875,48
Paraná	11.632.650	141,85	602,28	161,33	684,97
Santa Catarina	7.830.668	141,30	403,86	164,51	470,21
Rio Grande do Sul	11.054.995	145,97	588,98	178,51	720,30
Centro-Oeste	16.675.023	139,17	847,06	169,03	1.028,81
Mato Grosso do Sul	2.828.430	141,65	146,24	172,74	178,33
Mato Grosso	3.746.025	140,14	191,61	184,67	252,50
Goiás	7.201.648	130,21	342,27	152,29	400,32
Distrito Federal	2.898.920	157,77	166,94	186,80	197,65
Brasil	207.766.642	131,53	9.974,31	171,91	13.036,80

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.



3

Crescimento econômico e dinâmica demográfica

Este capítulo apresenta as abordagens teóricas e os modelos econométricos que descrevem o crescimento econômico e a expansão demográfica do Brasil entre 2008 e 2023. Essas análises são a base sobre a qual serão feitas as projeções de crescimento econômico e populacional até 2050 por meio de cenários. Com base nesses cenários, então será construído no **Capítulo 4** o cenário de consumo de água em 2050. Na sequência deste capítulo, são descritos os modelos teóricos (**seção 3.1**) e as bases de informação empregadas e as estimativas econométricas dos fatores que influenciam o crescimento da renda e a expansão demográfica no país (**seção 3.2**).

3.1. Abordagens teóricas

Para projetar o consumo de água em 2050, faz-se necessário, antes de tudo, projetar a renda do trabalho e a população das cidades brasileiras para esse horizonte temporal no futuro. As projeções estão baseadas em modelos teóricos e estatísticos das áreas de crescimento econômico e de dinâmica demográfica.

Crescimento econômico

A teoria de crescimento econômico está baseada na modelagem da dinâmica de expansão do PIB. Essa análise tomou por referência a principal teoria sobre os condicionantes do crescimento econômico de longo prazo, que é o chamado Modelo de Crescimento de Solow, economista norte-americano ganhador do prêmio Nobel de 1987. Além dessa fundamentação, a análise que segue incorpora também as contribuições, entre outros, de Mankiw, Romer e Weil (1992), que acrescentaram a questão do capital humano na discussão de crescimento econômico.

A teoria de crescimento econômico está baseada na modelagem da dinâmica de expansão do PIB. A principal abordagem no tema desenvolveu os fundamentos teóricos do crescimento em meados da década de 1950 e, desde então, o campo de pesquisa do crescimento econômico vem aprimorando as teorias e desenvolvendo as metodologias empíricas de investigação. Na teoria de Solow, a produção agregada de um país, que é o produto interno bruto, é determinada pelo nível de emprego dos fatores de produção (capital físico, capital humano e trabalho). Essa relação teórica é chamada de função de produção e é descrita pela equação (6), em que Y_i é PIB do país i , A_i é o nível de produtividade de fatores definido pelos níveis de desenvolvimento tecnológico e institucional do país, K_i é o estoque de capital (máquinas, equipamentos, instalações, semoventes e florestas), H_i é o estoque de capital humano e L_i é a força de trabalho. O capital humano é definido pela multiplicação da força de trabalho por seu grau de qualificação h_i . Assume-se h_i é proporcional à escolaridade média dos trabalhadores. Assim, por definição, $H_i = L_i \cdot h_i$.

O PIB por trabalhador (Y_i / L_i), nas condições de homogeneidade da produção, é dado pela equação (7), em que K_i / L_i é o estoque de capital por trabalhador.

$$(6) Y_i = f(A_i, K_i, H_i)$$

$$(7) Y_i / L_i = f(A_i, K_i / L_i, h_i)$$

Em decorrência da equação (6), entende-se que a variação no tempo do PIB (g_Y), que é o crescimento econômico, depende de quatro variações: g_A , que é o aumento da produtividade, g_K , que é a acumulação de capital, g_L , que é a expansão da força de trabalho e g_h , que é o aumento da escolaridade média da força de trabalho.

No equilíbrio de longo prazo, supõe-se que as ofertas de mão de obra e de capital se igualam às demandas por mão de obra e por capital (pleno emprego). Os níveis de equilíbrio definem as remunerações do capital e da mão de obra que, por sua vez, determinam a destruição da renda entre os

lucros e a folha de pagamentos da mão de obra. Na modelagem de Solow, a acumulação de capital depende da taxa de investimento da economia, que é dada pela fração da renda (PIB) que é despendida na aquisição de bens de capital (construção, máquinas e equipamentos, florestas e rebanhos de semoventes). Essa parcela é idêntica à taxa de poupança da economia (s), que é a relação entre a poupança agregada e o PIB.

Nessas condições, o nível de produto por trabalhador de equilíbrio de longo prazo é dado pela equação (8), que já apresenta as relações em termos de logaritmos naturais. Nessa expressão a é uma constante (chamada de constante tecnológica) e d é a taxa de depreciação do capital, que é considerada constante e idêntica para todos os países ou regiões. O coeficiente ϕ mede o retorno da educação na renda das economias.

$$(8) \ln\left(\frac{Y}{L}\right)_i^* = a + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln s_i - \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln(g_L + g_A + d)_i + \phi \cdot h_i$$

Se, por hipótese, as parcelas da população empregada na produção e da renda poupada forem constantes, e se a escolaridade for constante, espera-se que no longo prazo a taxa de crescimento do PIB por trabalhador seja idêntica à taxa de incremento da produtividade e o crescimento econômico se iguale à soma das taxas de aumento da produtividade com a expansão demográfica. Essas relações são descritas na expressão (9)

$$(9) g_{Y_i/L_i} = [g_{Y_i} - g_{L_i}] \Rightarrow g_{Y_i} = g_{L_i} + g_{A_i}$$

Contudo, as mudanças de taxa de investimento e de expansão demográfica, de um lado, e o aumento da escolaridade média da força de trabalho, de outro, podem alterar os níveis de equilíbrio e, portanto, podem afetar transitariamente o crescimento da economia. Para uma economia em transição – ou seja, para uma economia que ainda não atingiu o equilíbrio de longo prazo de estado estacionário –, a taxa de crescimento do PIB por trabalhador será afetada pelas taxas de poupança e de crescimento demográfico e pela expansão da escolaridade.

A equação (10) define essa relação, a qual ficou chamada na literatura econômica como equação de convergência condicionada. Nessa expressão, o coeficiente λ indica a taxa média de convergência das economias para o equilíbrio de longo prazo.

$$(10) \quad g_{Y_i/L_i} = \lambda \cdot \left(\frac{Y_i}{L_i} \right)_{t-1} + \lambda \cdot \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln \left[\frac{s_i}{(g_L + g_A + d)_i} \right] + \lambda \cdot \phi \cdot h_i$$

Nessa visão teórica, a remuneração média da mão de obra corresponde à sua produtividade marginal. Em razão dessa relação, o crescimento da remuneração média do trabalho também é determinado pela evolução da produtividade, ou ainda, do PIB por trabalhador. Assim, a evolução do salário médio na economia (gw) é dada pela equação (10) tendo os aumentos salariais como variável dependente. Essa expressão será estimada na **seção 3.2**, tanto para o PIB per capita quanto para os salários médios na economia, e os resultados empíricos serão utilizados para gerar as projeções de crescimento econômico para 2050 na **seção 3.3**.

Dinâmica demográfica

A dinâmica demográfica segue a modelagem das diferenças dos fluxos que fazem as populações crescerem ou decrescerem. Os chamados fluxos vegetativos são determinados pelas taxas de natalidade e de mortalidade da população. Além desses dois processos, há os fluxos migratórios que fazem crescer ou diminuir a população. As populações crescem quando o fluxo de imigrantes é maior que o de migrantes de uma sociedade.

Assim, a taxa de crescimento vegetativo da população é obtida pela diferença entre a taxa de fertilidade (f) e a taxa de mortalidade (m) das localidades. A taxa de crescimento demográfico (n) é soma do crescimento vegetativo com a taxa líquida migratória (x). A equação (11) identifica essas relações.

$$(11) \quad n_i = f_i - m_i + x_i$$

3.2. Modelos estatísticos

Avanço da renda do trabalho

Para gerar as estimativas de contribuição do avanço do saneamento na expansão da renda por trabalhador e dos salários médios nas cidades brasileiras foram desenvolvidos dois modelos econométricos de determinação das taxas de crescimento do PIB per capita e dos salários médios. Esses modelos partem da base de dados desenvolvida para este estudo com informações para os 5.570 municípios brasileiros de 2008 a 2021, no caso do PIB per capita, e de 2008 a 2023, no caso dos salários médios.

Na construção do PIB por trabalhador, foram empregadas as estatísticas de (i) PIB dos municípios, calculadas pelo IBGE, de (ii) população de cada cidade brasileira, também calculada pelo IBGE e (iii) do deflator implícito do PIB para retirar o efeito da inflação nos valores nominais. Na construção do salário médio, foram empregadas as estatísticas de (i) média salarial nos municípios, calculadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego e (ii) o IPCA para retirar o efeito da inflação nos valores nominais. Os fatores determinantes do crescimento do PIB por trabalhador e dos salários médios dos municípios são:

Taxa de poupança: relação entre o investimento e o PIB em cada município, com base em dados do IBGE¹;

Expansão demográfica: taxa de crescimento da população entre 2008 e 2023, tendo como fonte os dados do IBGE;

PIB per capita defasado: o Produto Interno Bruto por habitante dos municípios defasado em um ano, variável que captura o efeito de convergência, e

Educação: a taxa de matrícula da população com idade escolar conforme os dados do Ministério da Educação (2025) e do Ministério da Saúde (2025).

¹ O Anexo Metodológico traz o detalhamento da metodologia empregada para estimar as taxas de poupança municipais.

Além das variáveis de estoques de fatores produtivos, também foram empregadas variáveis para controlar a evolução da produtividade da força de trabalho, do capital físico e do capital humano em cada cidade e em cada ano. Essas variáveis são:

Qualidade da educação: para aproximar a qualidade da educação foi empregado o indicador de **relação aluno por professor** nas escolas de ensino fundamental e médio das cidades brasileiras, conforme os dados do Ministério da Educação (2025), no entendimento de que quanto maior o número de alunos por professor, pior a qualidade da educação;

Nível tecnológico: um indicador entre 0 e 1 que captura a presença de empresas de alta tecnologia nas cidades brasileiras conforme dados do Ministério do Trabalho (2025)²;

Saneamento: as taxa de cobertura da população por serviços de água e de coleta de esgoto e o índice de tratamento de esgoto em cada cidade conforme dados do Ministério das Cidades (SNIS e SINISA) para indicar saúde pública nas cidades brasileiras e seus efeitos sobre a produtividade da mão de obra;

Adensamento: na análise do ritmo de crescimento sustentado dos salários médios nas cidades brasileiras, também foi considerada uma variável que mede a quantidade de habitantes por km²; essa variável também busca ajustar as estimativas aos efeitos dos ganhos de escala sobre a produtividade da mão de obra.

O estudo empregou a formulação econométrica de regressão em painel. A equação (12) descreve a relação estatística definida sobre a equação teoria de convergência condicionada. No caso de salários médios, só se altera a variável dependente.

$$(12) \quad g_{Y_{it}/L_{it}} = \lambda \cdot \left(\frac{Y_{it}}{L_{it}} \right)_{t-1} + \lambda \cdot \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln \left[\frac{s_i}{(g_L + g_A + d)_{it}} \right] + \lambda \cdot \phi \cdot h_{it} + u_{it}$$

2 O Anexo Metodológico traz o detalhamento da metodologia empregada para estimar essa variável no nível municipal com base em dados do Ministério do Trabalho (2025).

A amostra para regressão de determinação da taxa de crescimento do PIB per capita contou com 77.980 observações municipais de 2008 a 2021. A estimação do modelo empregou a técnica de Arellano-Bond para corrigir o problema de endogeneidade das variáveis. Esse método emprega a variável endógena defasada e variáveis instrumentais com duas defasagens.

A **Tabela 3.1** traz as estatísticas descritivas das variáveis empregadas no modelo. A regressão contou com 61.129 observações arranjadas em 5.565 grupos (cidades) com um mínimo de 3 e máximo de 11 observações por município. Ao total foram empregados 76 instrumentos. As estimativas foram feitas pelo Método de Momentos Generalizado (GMM).

A **Tabela 3.2** apresenta os resultados das estimativas dos fatores determinantes do crescimento econômico dos municípios brasileiros. As dez variáveis independentes mostraram-se significativas a menos de 5%, com exceção do coeficiente associado à população com coleta de esgoto, a qual foi significativo a 6%, nível de significância satisfatório.

Como esperado teoricamente, o coeficiente associado ao PIB per capita defasado tem sinal negativo, indicando que municípios com renda per capita menor tendem a crescer de forma mais acelerada. Também como esperado teoricamente, a taxa de investimento afeta positivamente a taxa de crescimento do PIB per capita e a expansão demográfica (taxa de *break-even*) tem impacto negativo. A taxa de matrícula tem efeito positivo, indicando que uma cidade com alta taxa de matrícula das crianças e jovens em idade escolar tende a crescer mais rápido. O aumento da razão entre alunos e professores, por outro lado, reduz o crescimento da renda per capita, indicando que quanto menor a qualidade do ensino – assumindo que os níveis mais elevados de qualidade de ensino são obtidos com razões alunos por professor pequenas –, menor a taxa de expansão da renda per capita. O índice de atividades de alta tecnolo-

gia afeta positivamente o crescimento do PIB per capita das cidades brasileiras, o que revela que boa parte da dinâmica de crescimento da renda está associada à presença dessas atividades econômicas.

Por fim, vale destacar que as variáveis de saneamento indicam que o avanço do saneamento eleva o crescimento sustentado do PIB per capita das cidades. A presença de água tratada para 100% da população possibilita uma taxa de crescimento do PIB per capita 4,55 pontos percentuais acima da taxa de expansão de uma cidade sem abasteci-

mento de água a seus cidadãos, uma diferença de patamar considerável. De outro lado, as estimativas indicam que 100% de coleta de esgoto pode elevar em 0,84 ponto percentual a taxa de crescimento do PIB per capita relativamente às cidades sem serviços de coleta, ao mesmo tempo em que a universalização do tratamento pode elevar o ritmo de crescimento em 1,18 ponto percentual comparativamente a uma cidade sem tratamento de esgoto.

A amostra para regressão de determinação da taxa de crescimento do salário médio contou com 83.520 observações municipais de 2008 a 2023.

Tabela 3.1.

Estatísticas descritivas das variáveis da regressão de crescimento do PIB per capita, Brasil, 2008 a 2021

Variáveis	Número de observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Taxa de crescimento do PIB per capita	72.382	0,01757	0,16283	-2,52712	4,02706
PIB per capita defasado (ln)	72.383	-3,69482	0,70567	-7,44542	0,48108
Taxa de investimento (ln)	77.960	-5,99494	0,75583	-6,90776	-1,77975
Taxa de break-even (ln)	72.399	-2,83963	0,20822	-5,62977	-1,74074
Taxa de matrícula (ln)	77.867	-0,23930	0,10362	-1,30338	0,62027
Razão de alunos por professor (ln)	77.911	2,74490	0,28576	0,78238	3,81492
Índice de produtividade	77.980	0,00441	0,02562	0,00000	0,91143
População com acesso à água (%)	77.960	0,62081	0,30697	0,00000	2,02023
População com coleta de esgoto (%)	77.960	0,22597	0,33872	0,00000	1,92263
Esgoto tratado sobre água consumida (%)	77.980	0,15613	0,30272	-0,12090	8,75230

Fonte: IBGE, Ministério da Educação, Ministério do Trabalho e Ministério das Cidades.

Tabela 3.2.

Estimativas da análise de regressão da equação de crescimento econômico, Brasil, 2008 a 2021

Variáveis	Coefficiente	Erro padrão	z	P>(z)
Taxa de crescimento do PIB per capita defasada	0,08565	0,00288	29,77	0,0%
PIB per capita defasado (ln)	-1,21832	0,00368	-331,37	0,0%
Taxa de investimento (ln)	0,14785	0,00262	56,47	0,0%
Taxa de break-even (ln)	-0,11147	0,00989	-11,27	0,0%
Taxa de matrícula (ln)	0,03715	0,01655	2,24	2,5%
Razão de alunos por professor (ln)	-0,01435	0,00671	-2,14	3,2%
Índice de produtividade	0,19052	0,04262	4,47	0,0%
População com acesso à água (%)	0,04547	0,00413	11,01	0,0%
População com coleta de esgoto (%)	0,00841	0,00447	1,88	6,0%
Esgoto tratado sobre água consumida (%)	0,01180	0,00494	2,39	1,7%
Constante	-3,88802	0,04296	-90,50	0,0%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

O número de observações é maior que o da regressão anterior porque essa segunda variável dependente conta com dados até 2023, ou seja, dois anos a mais de amostragem em relação ao PIB per capita. A **Tabela 3.3** traz as estatísticas descritivas das variáveis empregadas no modelo.

A estimação do modelo também empregou a técnica de Arellano-Bond para corrigir o problema de endogeneidade das variáveis. A regressão contou com 66.690 observações arranjadas em 5.565 grupos (cidades) com um mínimo de 3 e

máximo de 13 observações por município. Ao total foram empregados 94 instrumentos. As estimativas também foram feitas pelo Método de Momentos Generalizado (GMM). A **Tabela 3.4** apresenta os resultados das estimativas dos fatores determinantes do crescimento econômico dos municípios brasileiros.

As onze variáveis independentes mostraram-se significativas a menos de 1%, revelando um grau de ajuste maior nessa segunda equação. O coeficiente associado ao salário médio defasado apresenta

Tabela 3.3.

Estatísticas descritivas das variáveis da regressão de crescimento do salário médio, Brasil, 2008 a 2023

Variáveis	Número de observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Taxa de crescimento do salário médio	83.520	0,01485	0,12674	-3,60551	3,50964
Salário médio defasado (ln)	83.521	7,70206	0,22680	4,34921	9,31110
Taxa de investimento (ln)	83.538	-5,96189	0,77361	-6,90776	-1,65608
Taxa de break-even (ln)	83.537	-2,85945	0,21897	-5,62977	-1,74074
Taxa de matrícula (ln)	88.997	-0,23758	0,10371	-1,30338	0,66630
Razão de alunos por professor (ln)	89.046	2,72777	0,29013	0,78238	3,81492
Índice de produtividade	89.120	0,00470	0,02570	0,00000	0,91143
Densidade demográfica (ln)	83.538	3,24675	1,43308	-3,45979	9,58832
População com acesso à água (%)	83.537	0,62612	0,30482	0,00000	2,02023
População com coleta de esgoto (%)	83.535	0,23100	0,34119	0,00000	1,92263
Esgoto tratado sobre água consumida (%)	89.120	0,16378	0,31473	-0,12090	10,23817

Fonte: IBGE, Ministério da Educação, Ministério do Trabalho e Ministério das Cidades.

Tabela 3.4.

Estimativas da análise de regressão da equação de crescimento do salário médio, Brasil, 2008 a 2023

Variáveis	Coeficiente	Erro padrão	z	P>(z)
Taxa de crescimento do salário médio defasada	-0,01263	0,00311	-4,06	0,0%
Salário médio defasado (ln)	-1,18309	0,00403	-293,53	0,0%
Taxa de investimento (ln)	0,12463	0,00166	74,94	0,0%
Taxa de break-even (ln)	-0,05892	0,00606	-9,73	0,0%
Taxa de matrícula (ln)	0,23047	0,01099	20,97	0,0%
Razão de alunos por professor (ln)	-0,06237	0,00441	-14,13	0,0%
Índice de produtividade	0,27736	0,02822	9,83	0,0%
Densidade demográfica (ln)	-0,24774	0,00905	-27,37	0,0%
População com acesso à água (%)	0,00754	0,00274	2,76	0,6%
População com coleta de esgoto (%)	0,00979	0,00296	3,30	0,1%
Esgoto tratado sobre água consumida (%)	0,01247	0,00328	3,80	0,0%
Constante	9,00886	0,04276	210,67	0,0%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

sinal negativo, indicando que a renda média em municípios com salário médio menor tende a crescer de forma mais acelerada. Também como esperado teoricamente, a taxa de investimento afeta positivamente a taxa de crescimento dos salários e a expansão demográfica (taxa de *break-even*) tem impacto negativo. A taxa de matrícula tem efeito positivo, indicando que numa cidade com alta taxa de matrícula das crianças e jovens em idade escolar o salário médio tende a crescer mais rapidamente. O aumento da razão entre alunos e professores, por outro lado, reduz o crescimento da renda per capita, indicando que quanto menor a qualidade do ensino, menor a taxa de expansão do salário médio. O índice de atividades de alta tecnologia afeta positivamente o crescimento do salário médio das cidades brasileiras como o verificado na regressão do PIB per capita, o que revela que boa parte da dinâmica de crescimento da renda do trabalho está associada à presença dessas atividades econômicas. Por fim, a densidade demográfica elevada

reduz o ritmo de crescimento dos salários, visto que nas grandes cidades, a elevada concentração urbana traz externalidade negativas.

As variáveis de saneamento indicam que o avanço do saneamento eleva o crescimento sustentado do salário médio nas cidades brasileiras. A presença de água tratada para 100% da população possibilita uma taxa de crescimento do salário médio 0,75 ponto percentual acima da taxa de expansão de uma cidade sem abastecimento de água a seus cidadãos. De outro lado, as estimativas indicam que 100% de coleta de esgoto pode elevar em 0,98 ponto percentual a taxa de crescimento do salário médio relativamente às cidades sem serviços de coleta, ao mesmo tempo em que a universalização do tratamento pode elevar o ritmo de crescimento do salário médio em 1,25 ponto percentual comparativamente a uma cidade sem tratamento de esgoto.



Tabela 3.5.

Estatísticas descritivas das variáveis da regressão da dinâmica demográfica, Brasil, 2008 a 2023

Variáveis	Número de observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Taxa de fertilidade	89.120	0,01314	0,00377	0,00000	0,10028
Taxa de mortalidade	89.120	0,00660	0,00214	0,00000	0,04128
Taxa migratória	89.120	-0,00269	0,04347	-0,68077	4,03092
Ano	89.120	2016	5	2008	2023
Latitude	89.120	-16,45151	8,28156	-33,68677	4,58930
Longitude	89.120	-46,23485	6,41164	-72,97186	-32,41593
Altitude	89.120	422,72670	282,95400	0,00000	1639,15500
Renda do trabalho per capita (ln)	89.120	7,26930	0,42211	0,00000	9,26619

Fonte: IBGE e Ministério do Trabalho e Emprego.

Tabela 3.6.

Estimativas das análises de regressão da dinâmica demográfica, Brasil, 2008 a 2023

Modelos	Variáveis	Coefficiente	Erro padrão	z	P>(z)
Fertilidade	Ano	-0,00014	0,00000	-94,27	0,0%
	Latitude	0,00022	0,00001	41,27	0,0%
	Longitude	-0,00015	0,00001	-23,30	0,0%
	Altitude	0,00000	0,00000	-4,37	0,0%
	Constante	0,28365	0,00291	97,35	0,0%
Mortalidade	Ano	0,00018	0,00000	194,25	0,0%
	Latitude	-0,00013	0,00000	-52,05	0,0%
	Longitude	0,00007	0,00000	24,41	0,0%
	Altitude	0,00000	0,00000	-1,67	9,5%
	Constante	-0,34531	0,00182	-189,47	0,0%
Fluxo migratório	Ano	-0,00069	0,00005	-12,59	0,0%
	Latitude	-0,00010	0,00002	-4,74	0,0%
	Longitude	-0,00012	0,00003	-4,74	0,0%
	Altitude	0,00000	0,00000	-0,10	92,4%
	Renda do trabalho per capita (ln)	0,00390	0,00061	6,45	0,0%
	Constante	1,34252	0,10631	12,63	0,0%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica. Valores de R²: fertilidade (23,4%), mortalidade (34,0%) e fluxo migratório (4,3%).

Modelo empírico da dinâmica demográfica

Para projetar a dinâmica demográfica nos próximos anos é suficiente ter estimativas das três taxas que se combinam para formar o ritmo de crescimento populacional: a de mortalidade, a de fertilidade e a de movimentos migratórios. Essas taxas seguem tendências temporais bem definidas, como é a de

redução secular da taxa de mortalidade e aumento da esperança de vida ao nascer –, mas também podem estar relacionadas a variáveis exógenas e a fatores aleatórios. Um exemplo de variáveis exógenas que afetam o ritmo de crescimento demográfico são as oportunidades econômicas que atraem migrantes para cidades emergentes. Outro exemplo, neste caso de fator aleatório, é a ocorrência da Covid-19, que aumentou de forma inespera-

da a taxa de mortalidade enquanto não havia forma eficaz de combater e controlar a doença.

Neste estudo, são construídos três modelos estatísticos para calcular as tendências das taxas de mortalidade, fertilidades e para gerar parâmetros para o fenômeno da migração. Esses modelos partem da base de dados desenvolvida para este estudo com informações para os 5.570 municípios brasileiros de 2008 a 2023.

As variáveis dependentes são:

Taxa de fertilidade: relação entre o número de nascidos vivos em cada cidade e ano e sua respectiva população;

Taxa de mortalidade: relação entre o número de mortos em cada cidade e ano e sua respectiva população; e

Taxa de migração: relação entre o saldo de entradas e saídas de moradores em cada cidade e ano e sua respectiva população.

O único modelo que traz uma variável independente explicativa é o de migração, em que se assumiu

que o rendimento do trabalho per capita é um fator de atração de movimentos migratórios.

A **Tabela 3.5** traz as estatísticas descritivas das variáveis empregadas nos modelos demográficos. As regressões contaram com 89.120 observações arranjadas em 5.570 grupos (cidades) com 16 observações por município. A **Tabela 3.6** apresenta os resultados das estimativas dos fatores determinantes da dinâmica demográfica dos municípios brasileiros. As variáveis independentes mostraram-se significativas a menos de 5%, com exceção do coeficiente associado à altitude nas regressões da taxa de mortalidade e da taxa de fluxo migratório. Isso significa que esses coeficientes são próximos a zero, ou seja, que a altitude do município não influencia essas duas taxas.

Muito embora os coeficientes sejam significativos, as estatísticas de R^2 indicam que os três processos, principalmente o de fluxo migratório são dominados por eventos aleatórios, com influência relativamente pequena de tendências, localização e renda do trabalho, no caso do fluxo migratório. Ainda assim, os coeficientes são apropriados para traçar as projeções, visto que a componente aleatória tem média zero e variância constante, como desejado.



4

Cenários até 2050

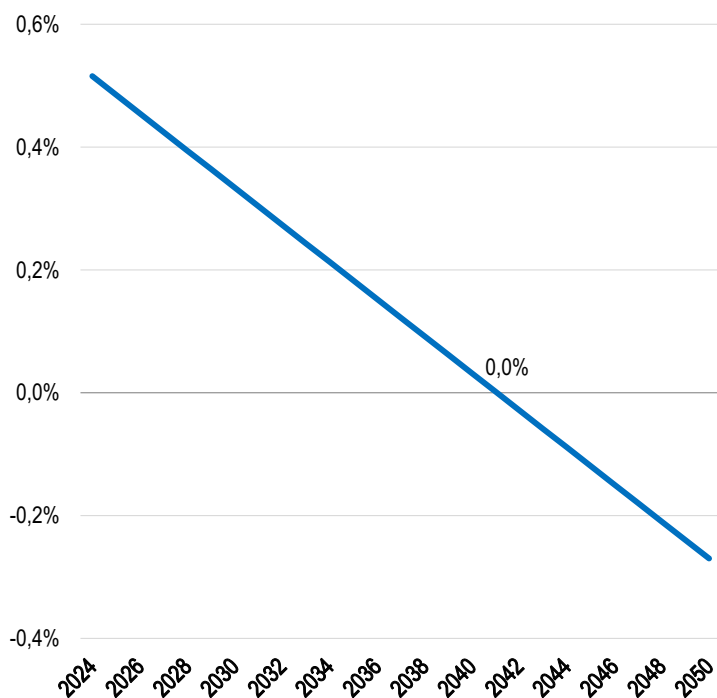
Este capítulo apresenta os cenários de expansão demográfica e de crescimento econômico para o Brasil de 2023 a 2050. Essas análises tomam por referência os parâmetros estimados no capítulo anterior e traçam algumas premissas de evolução de certas variáveis-chave até 2050. Essas premissas formam o que se chama de cenários, que assume valores de referência para algumas variáveis (independentes) de modo a projetar o valor de outras variáveis (dependentes) no futuro. Na sequência deste capítulo, é descrito o cenário de expansão demográfica para o período de 2023 a 2050 (**seção 4.1**) e os cenários de crescimento da renda no país para essa mesma extensão temporal (**seção 4.2**). Por fim, na **seção 4.3** é apresentado o cenário de consumo de água para o período de 2023 a 2050.

4.1. Cenário de expansão demográfica

O presente estudo adotou apenas um cenário de expansão demográfica. O cenário está baseado na projeção das taxas de fertilidade, mortalidade e fluxos migratórios líquidos para o período de 2023 a 2050. A projeção leva em consideração os parâmetros estimados na seção anterior e algumas premissas para o futuro. A primeira pressuposição é a de que a tendência temporal se manterá constante no período de 2023 a 2050, ou seja, que a cada ano adicional na projeção o tempo terá o mesmo efeito que no passado. Por exemplo, no caso da taxa de fertilidade, um ano a mais teve o efeito de reduzir em 0,014% a taxa; espera-se que esse efeito se mantenha inalterado para o futuro. A segunda premissa é de aumento dos salários médios conforme a evolução da produtividade da mão de obra, a mesma premissa que será adotada na seção seguinte que discute os cenários de crescimento econômico. Por fim, a terceira premissa é a de que os diferenciais de salários que estimulam os fluxos migratórios se manterão no futuro na mesma magnitude que existem hoje.

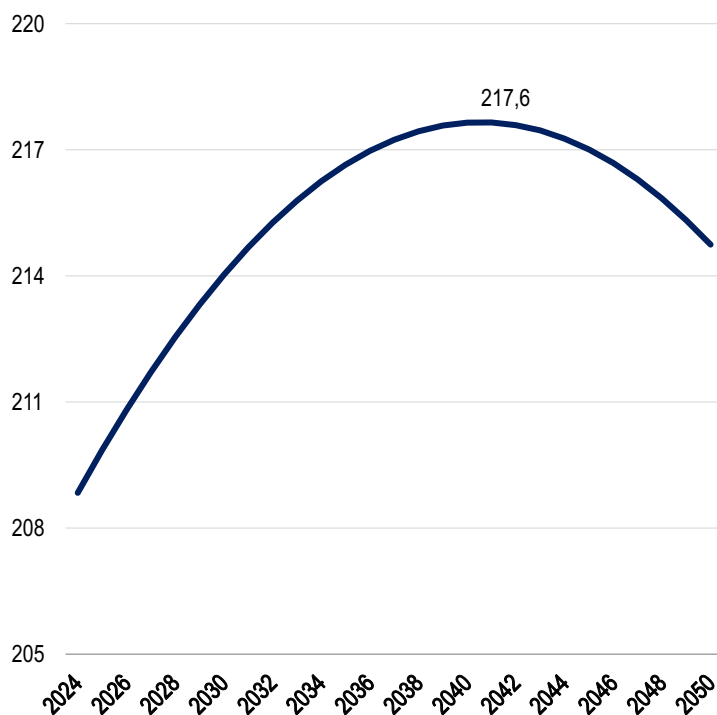
Com base nessas premissas, projeta-se uma taxa de expansão demográfica brasileira de 0,1% ao ano no período de 2023 a 2050, uma taxa 0,8 ponto percentual inferior à observada entre 2000 a 2023. Essa taxa média anual é resultado da redução sistemática das taxas de expansão demográfica do Brasil ao longo desses anos. Como ilustra o **Gráfico 4.1**, a taxa se reduz de 0,52% ao ano em 2024 para 0,0% ao ano ao final de 2041, ano a partir

Gráfico 4.1. Taxa de expansão demográfica, em (%) ao ano, Brasil, 2024 a 2050



Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Gráfico 4.2. População, em milhões de habitantes, Brasil, 2023 a 2050



Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

do qual essa taxa deve ficar negativa. Em 2050, espera-se uma retração demográfica de 0,27% em relação a 2049. Em razão disso, a população brasileira deve atingir um máximo de 217.649.748 habitantes em 2041 – ver **Gráfico 4.2**.

Como ilustra a **Tabela 4.1**, as taxas de expansão demográficas caem em todas as regiões e estados brasileiros entre os períodos de 2000 a 2023 e 2023 a 2040, mas ainda são positivas. Entre os períodos de 2023 a 2040 e 2040 a 2050, as taxas voltam a cair e ficam positivas apenas em algumas regiões e unidades da federação. O resultado acumulado entre 2023 e 2050 é de retrações demográfica nas regiões Sul e Sudeste, exceto Minas Gerais, e de crescimento positivo no Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Na região Norte, os destaques serão os estados do Acre, Amazonas, Amapá e Roraima. No Nordeste, apenas o Maranhão deve manter taxa de crescimento demográfico superior a 0,5% ao ano.

No plano municipal, as mudanças também serão expressivas. No período de 2000 a 2023, as taxas de expansão demográficas dos municípios variavam entre -4,1% ao ano e 9,6% ao ano. O desvio padrão das taxas de crescimento foi de 1,1%. No período seguinte, de 2023 a 2050, caem a amplitude e o desvio padrão das taxas de expansão demográfica. As taxas devem flutuar entre -0,4% ao ano e 1,5% ao ano, com desvio padrão de -0,3%. Em parte, esse resultado espelha a tendência de redução intensa das taxas de fertilidade em todo o país. Mas também, as taxas com menor amplitude de variação estão associadas ao fato de o cenário demográfico considerar movimentos migratórios mais amenos.

Os **Mapas 4.1** e **4.2** trazem as taxas de expansão demográfica dos municípios brasileiros entre 2000 e 2023 e entre 2023 e 2050, respectivamente. Nota-se uma redução

Tabela 4.1.

População e taxa de expansão demográfica, 2000 a 2050

	2023	2033	2040	2050	Variações médias anuais			
					2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	17.998.562	19.964.930	21.081.508	22.200.676	1,0%	0,8%	0,5%	0,8%
Rondônia	1.661.549	1.833.388	1.928.515	2.019.378	1,0%	0,7%	0,5%	0,7%
Acre	854.943	960.141	1.022.533	1.089.853	1,2%	0,9%	0,6%	0,9%
Amazonas	4.107.635	4.632.128	4.947.395	5.294.920	1,2%	0,9%	0,7%	0,9%
Roraima	675.535	777.017	841.490	918.636	1,4%	1,1%	0,9%	1,1%
Pará	8.387.422	9.247.346	9.721.613	10.171.356	1,0%	0,7%	0,5%	0,7%
Amapá	767.508	857.899	910.607	965.900	1,1%	0,9%	0,6%	0,9%
Tocantins	1.543.971	1.657.010	1.709.356	1.740.633	0,7%	0,4%	0,2%	0,4%
Nordeste	55.869.913	59.022.656	60.224.141	60.381.608	0,6%	0,3%	0,0%	0,3%
Maranhão	6.892.750	7.484.665	7.784.798	8.020.871	0,8%	0,6%	0,3%	0,6%
Piauí	3.322.964	3.565.292	3.677.199	3.743.384	0,7%	0,4%	0,2%	0,4%
Ceará	9.011.405	9.642.292	9.925.873	10.076.651	0,7%	0,4%	0,2%	0,4%
Rio Grande do Norte	3.373.553	3.570.075	3.646.647	3.661.040	0,6%	0,3%	0,0%	0,3%
Paraíba	4.058.836	4.272.431	4.347.762	4.341.581	0,5%	0,3%	0,0%	0,2%
Pernambuco	9.295.622	9.749.427	9.896.148	9.846.188	0,5%	0,2%	-0,1%	0,2%
Alagoas	3.173.527	3.315.992	3.357.030	3.327.470	0,4%	0,2%	-0,1%	0,2%
Sergipe	2.249.884	2.346.528	2.372.477	2.347.203	0,4%	0,2%	-0,1%	0,2%
Bahia	14.491.372	15.075.953	15.216.206	15.017.219	0,4%	0,1%	-0,1%	0,1%
Sudeste	86.704.832	88.333.647	87.854.816	84.899.715	0,2%	-0,1%	-0,3%	-0,1%
Minas Gerais	20.927.216	21.424.462	21.381.340	20.763.687	0,2%	0,0%	-0,3%	0,0%
Espírito Santo	3.965.505	4.032.155	4.004.748	3.862.256	0,2%	-0,1%	-0,4%	-0,1%
Rio de Janeiro	16.626.981	16.850.220	16.696.572	16.048.574	0,1%	-0,1%	-0,4%	-0,1%
São Paulo	45.185.130	46.026.809	45.772.156	44.225.199	0,2%	-0,1%	-0,3%	-0,1%
Sul	30.518.312	30.939.766	30.666.843	29.490.797	0,1%	-0,1%	-0,4%	-0,1%
Paraná	11.632.650	11.875.779	11.828.632	11.454.684	0,2%	-0,1%	-0,3%	-0,1%
Santa Catarina	7.830.668	7.917.857	7.833.249	7.512.257	0,1%	-0,2%	-0,4%	-0,2%
Rio Grande do Sul	11.054.995	11.146.131	11.004.962	10.523.856	0,1%	-0,2%	-0,4%	-0,2%
Centro-Oeste	16.675.023	17.526.634	17.818.630	17.771.077	0,5%	0,2%	0,0%	0,2%
Mato Grosso do Sul	2.828.430	2.951.404	2.985.138	2.954.961	0,4%	0,2%	-0,1%	0,2%
Mato Grosso	3.746.025	4.016.013	4.139.828	4.211.182	0,7%	0,4%	0,2%	0,4%
Goiás	7.201.648	7.531.783	7.629.917	7.569.809	0,4%	0,2%	-0,1%	0,2%
Distrito Federal	2.898.920	3.027.434	3.063.746	3.035.125	0,4%	0,2%	-0,1%	0,2%
Brasil	207.766.642	215.787.633	217.645.938	214.743.873	0,4%	0,1%	-0,1%	0,1%

Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica. Elaboração: Ex Ante Consultoria Econômica.

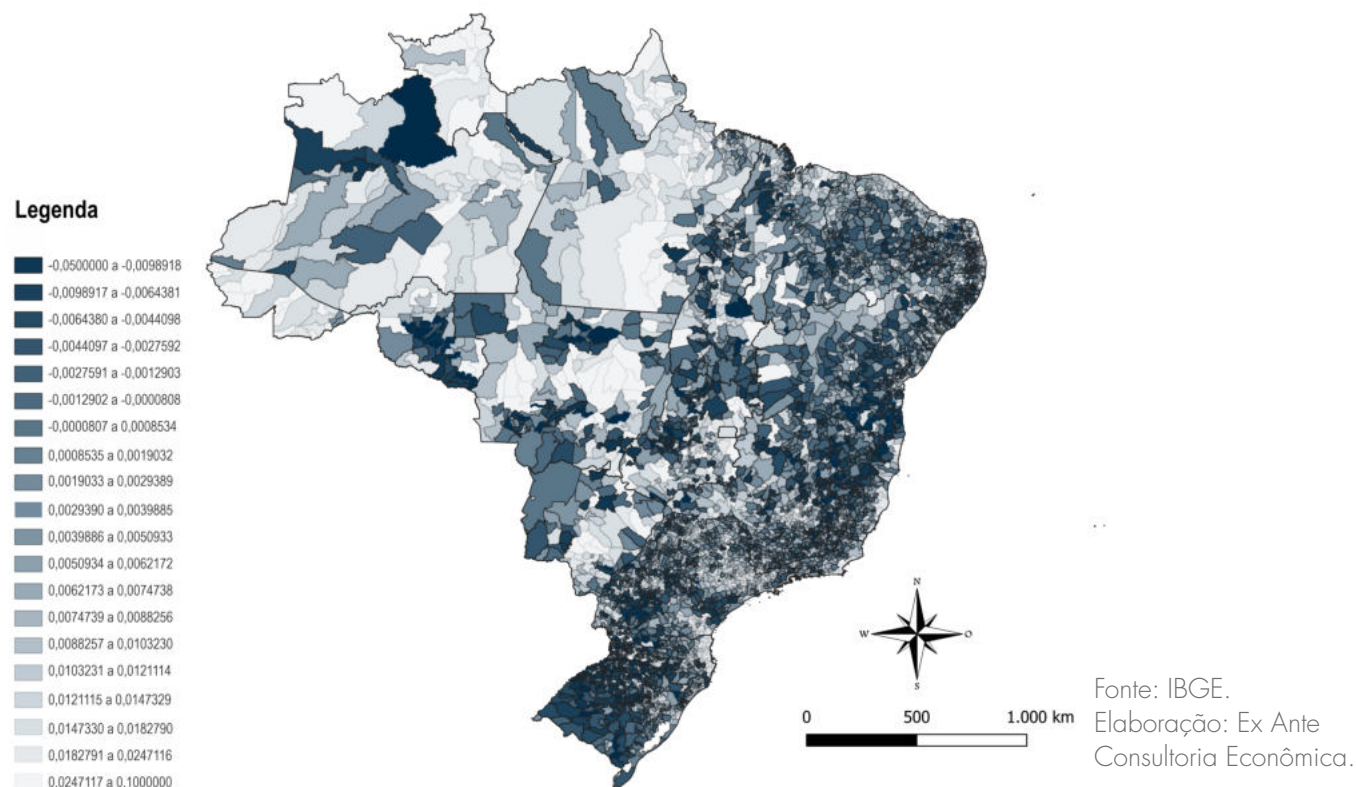
expressiva do contraste entre grandes taxas de expansão (cores claras) e grandes taxas de retração demográficas (cores escuras). As cidades mais a oeste e mais ao norte do país devem manter taxas maiores, ao passo que as cidades litorâneas e mais ao sul são as que se espera retração da população entre 2023 e 2050.

Os resultados agregados dessas estimativas podem ser contrastados com as projeções feitas em outros

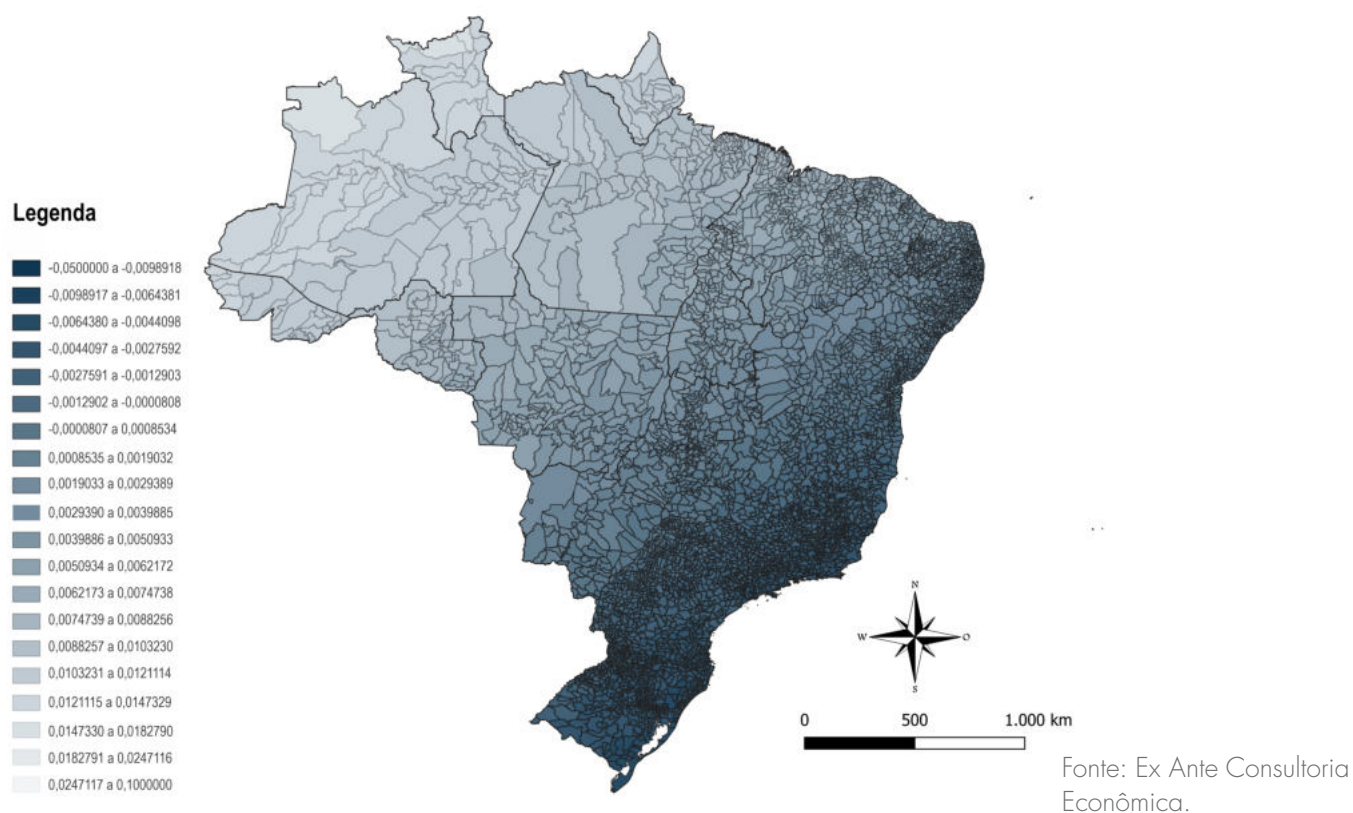
estudos. Durante a revisão do Plano Nacional de Habitação, a Universidade Federal Fluminense (UFF) desenvolveu para o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) um cenário demográfico que foi apresentado no livro de Givízies e Oliveira (2018). Segundo esse cenário, a população brasileira deveria crescer ao ritmo de 0,4% ao ano entre 2017 e 2040. Esse patamar é consistente com a projeção de 0,3% ao ano apresentada na **Tabela 4.1**. O padrão regional de crescimento da população

Mapa 4.1.

Taxa de expansão demográfica, em (%) ao ano, 2000 a 2023

**Mapa 4.2.**

Taxa de expansão demográfica, em (%) ao ano, 2023 a 2050



apresentado naquele estudo é semelhante ao exposto na **Tabela 4.1**, com os estados do Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentando taxas de crescimento maiores que as das regiões Sudeste e Sul no período de 2017 a 2050.

Outra referência é a projeção feita pelo IBGE (2024) para a população brasileira por gênero e faixa etária. Nesse estudo, projeta-se que a expansão demográfica deve ficar em 0,6% ao ano entre 2023 e 2040. Essa taxa deve cair para -0,09% no período seguinte entre 2040 e 2050. Assim, a taxa média anual entre 2023 e 2050 foi projetada em 0,12% ao ano, um valor muito próximo ao projetado no presente estudo.

4.2. Cenários de crescimento econômico

Neste estudo são traçados dois cenários de crescimento econômico, ambos baseados nas relações estatísticas entre o crescimento e seus determinantes estimados na **seção 3.2**. Optou-se por trabalhar com a relação entre rendimentos médios do trabalho e as variáveis explicativas. Assim, a variáveis determinantes do crescimento são: a taxa de crescimento do salário médio, o salário médio defasado ($\ln$), a taxa de investimento ($\ln$), a taxa de *break-even* ($\ln$), a taxa de matrícula ($\ln$), a razão de alunos por professor ($\ln$), o Índice municipal de produtividade, a população com acesso à água (%), a população com coleta de esgoto (%), e o esgoto tratado sobre água consumida (%).

Nos dois cenários econômicos estudados, assumem-se algumas premissas iguais. Nos dois é assumida a dinâmica demográfica municipal descrita na seção anterior, a qual afeta a taxa de *break-even*. Também são assumidas hipóteses idênticas com relação (i) à taxa de matrícula ($\ln$), em que se supõe uma taxa de matrícula convergente para o patamar de 97% em todas as cidades brasileiras até 2030, e (ii) à razão de alunos por professor ($\ln$) no futuro, para a qual espera-se convergência para uma relação máxima de 15 alunos por mestre em 2050, um nível considerado adequado para o padrão de desenvolvimento do

país. As premissas com relação à evolução do saneamento, que é outra variável que afeta a produtividade do trabalho são também idênticas nos dois cenários. Neste último caso, pressupõe-se que todas as cidades atinjam as metas do Novo Marco Regulatório do Saneamento até 2033, exceção feita às pequenas cidades do Norte, Nordeste e Centro-Oeste que deverão alcançá-las até 2040.

Dessa forma, o que diferencia os dois cenários de crescimento econômico são as premissas com relação à taxa de investimento – despesas com construção, máquinas e equipamentos, semoventes e florestas em relação ao PIB – e à evolução do índice de produtividade. No cenário mais conservador (**Cenário 1**), assume-se a manutenção dos investimentos em torno de 17% do PIB, patamar que prevaleceu em 2015 e 2022, período com baixos volumes de formação bruta de capital e crescimento econômico relativamente reduzido, incluindo breves períodos de recessão. Com relação à produtividade, no primeiro cenário pressupõe-se um avanço modesto da produtividade, fato que está diretamente associado a um ritmo mais lento de substituição do capital.

No cenário mais otimista (**Cenário 2**), assume-se um crescimento dos investimentos para o patamar que prevaleceu entre 2008 e 2014, período que mescla experiências de maior e menor crescimento econômico, com flutuações nas taxas de investimento, mas com média 23% superior à observada entre 2015 e 2022. Com relação à produtividade, neste segundo cenário pressupõe-se um avanço mais expressivo da produtividade, com introdução de novas tecnologias ocorrendo em ritmo mais acentuado. Em consequência dessas premissas, o crescimento econômico resulta maior no segundo cenário.

Conforme os dados da **Tabela 4.2**, a qual traz as projeções com base nas premissas do **Cenário 1**, o crescimento da renda do trabalho per capita resultante da manutenção do investimento no patamar reduzido de 2015 a 2022 deve ser de

Tabela 4.2.**Cenário 1:** Renda do trabalho per capita, em R\$ por habitante*, 2002 a 2050

	2023	2033	2040	2050	Variações médias anuais			
					2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	35.198,60	39.378,85	41.018,51	45.295,44	1,1%	0,6%	1,0%	0,9%
Rondônia	29.434,37	32.860,05	33.942,77	36.251,91	1,1%	0,5%	0,7%	0,8%
Acre	26.569,55	24.758,43	25.734,80	28.509,87	-0,7%	0,6%	1,0%	0,3%
Amazonas	31.665,29	33.899,10	35.768,04	41.070,07	0,7%	0,8%	1,4%	1,0%
Roraima	32.753,24	36.191,71	37.256,42	40.044,48	1,0%	0,4%	0,7%	0,7%
Pará	39.174,39	44.447,94	46.332,00	51.087,72	1,3%	0,6%	1,0%	1,0%
Amapá	22.978,41	29.517,79	30.681,54	33.537,26	2,5%	0,6%	0,9%	1,4%
Tocantins	41.126,73	50.163,83	51.439,37	54.768,52	2,0%	0,4%	0,6%	1,1%
Nordeste	27.329,78	34.536,93	36.057,92	40.978,05	2,4%	0,6%	1,3%	1,5%
Maranhão	26.576,24	30.823,96	31.778,64	34.443,68	1,5%	0,4%	0,8%	1,0%
Piauí	29.468,06	32.910,53	33.786,24	36.406,39	1,1%	0,4%	0,7%	0,8%
Ceará	27.245,11	37.925,28	40.625,07	50.367,25	3,4%	1,0%	2,2%	2,3%
Rio Grande do Norte	24.953,86	30.856,55	31.787,45	34.699,22	2,1%	0,4%	0,9%	1,2%
Paraíba	29.558,64	40.134,30	41.522,15	45.755,86	3,1%	0,5%	1,0%	1,6%
Pernambuco	26.843,24	34.340,26	36.226,44	42.198,90	2,5%	0,8%	1,5%	1,7%
Alagoas	25.118,18	32.698,58	33.643,69	35.992,46	2,7%	0,4%	0,7%	1,3%
Sergipe	26.394,35	32.843,25	33.767,54	36.386,53	2,2%	0,4%	0,7%	1,2%
Bahia	28.121,00	34.331,60	35.609,13	39.718,93	2,0%	0,5%	1,1%	1,3%
Sudeste	34.715,14	42.728,77	46.376,72	62.144,85	2,1%	1,2%	3,0%	2,2%
Minas Gerais	30.620,31	43.193,85	45.725,19	56.569,82	3,5%	0,8%	2,2%	2,3%
Espírito Santo	32.633,99	43.518,66	45.215,93	50.889,94	2,9%	0,5%	1,2%	1,7%
Rio de Janeiro	28.427,64	34.235,72	36.996,38	47.404,01	1,9%	1,1%	2,5%	1,9%
São Paulo	39.107,92	46.136,06	50.691,60	71.038,41	1,7%	1,4%	3,4%	2,2%
Sul	36.821,71	46.834,89	49.297,58	58.894,06	2,4%	0,7%	1,8%	1,8%
Paraná	35.435,20	44.796,86	46.659,43	53.259,59	2,4%	0,6%	1,3%	1,5%
Santa Catarina	40.827,81	52.920,35	56.110,17	67.694,98	2,6%	0,8%	1,9%	1,9%
Rio Grande do Sul	35.443,00	44.581,06	47.167,27	58.722,95	2,3%	0,8%	2,2%	1,9%
Centro-Oeste	42.491,27	45.904,31	47.745,28	53.979,49	0,8%	0,6%	1,2%	0,9%
Mato Grosso do Sul	40.775,48	44.210,83	45.230,75	48.130,08	0,8%	0,3%	0,6%	0,6%
Mato Grosso	41.240,78	51.359,81	52.864,65	56.997,98	2,2%	0,4%	0,8%	1,2%
Goiás	33.562,28	41.959,02	43.232,82	47.897,30	2,3%	0,4%	1,0%	1,3%
Distrito Federal	67.963,11	62.192,56	67.008,76	84.190,06	-0,9%	1,1%	2,3%	0,8%
Brasil	33.704,57	41.195,30	43.949,53	55.104,02	2,0%	0,9%	2,3%	1,8%

Nota: (*) valores a preços de 2024. Fonte: IBGE, Ministério do Trabalho e Emprego e Ex Ante Consultoria Econômica.

1,6% ao ano entre 2023 e 2030, valor inferior ao registrado no período entre 2008 e 2023 (2,1%). No período seguinte (2040 a 2050), a expansão é maior (2,3% ao ano) em razão da redução da expansão demográfica esperada para o período.

Assim, espera-se que a renda do trabalho per capita deva crescer ao ritmo de 1,8% ao ano no período de 2023 a 2050, acumulando avanço de 63,5% em 27 anos. Considerando o aumento da população projetado em 3,4% no acumulado entre 2050 e 2023, a renda total do trabalho deve aumentar em 69,0% nesses 27 anos.

Os dados da **Tabela 4.3**, que trazem as projeções da renda do trabalho per capita no **Cenário 2**, indicam um crescimento maior. Entre 2023 e 2040, a expansão deve alcançar 2,0% ao ano, e entre 2040 e 2050, o ritmo deve ser de 4,0% ao ano. Pesam para esse resultado os investimentos maiores e o ritmo mais acelerado de expansão da produtividade que os projetados no **Cenário 1**. Para o avanço considerável do rendimento per capita do trabalho, além dos fatores apontados anteriormente, pesa a projeção de retração da população, o que reduz o denominador da renda per capita.

Tabela 4.3.

Cenário 2: Renda do trabalho per capita, em R\$ por habitante*, 2002 a 2050

	2023	2033	2040	2050	Variações médias anuais			
					2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	35.198,60	41.290,81	43.212,91	49.157,45	1,6%	0,7%	1,3%	1,2%
Rondônia	29.434,37	34.412,93	35.652,14	38.759,46	1,6%	0,5%	0,8%	1,0%
Acre	26.569,55	25.952,01	27.100,31	31.242,67	-0,2%	0,6%	1,4%	0,6%
Amazonas	31.665,29	35.601,71	37.818,20	45.228,47	1,2%	0,9%	1,8%	1,3%
Roraima	32.753,24	37.912,16	39.156,50	42.924,81	1,5%	0,5%	0,9%	1,0%
Pará	39.174,39	46.600,95	48.799,74	55.379,89	1,8%	0,7%	1,3%	1,3%
Amapá	22.978,41	30.948,75	32.313,90	36.287,31	3,0%	0,6%	1,2%	1,7%
Tocantins	41.126,73	52.535,50	54.033,96	58.609,42	2,5%	0,4%	0,8%	1,3%
Nordeste	27.329,78	36.253,85	38.095,45	45.417,05	2,9%	0,7%	1,8%	1,9%
Maranhão	26.576,24	32.299,82	33.432,04	37.306,12	2,0%	0,5%	1,1%	1,3%
Piauí	29.468,06	34.476,78	35.522,77	39.536,81	1,6%	0,4%	1,1%	1,1%
Ceará	27.245,11	39.942,52	43.265,54	58.014,57	3,9%	1,1%	3,0%	2,8%
Rio Grande do Norte	24.953,86	32.327,03	33.432,83	38.179,16	2,6%	0,5%	1,3%	1,6%
Paraíba	29.558,64	42.095,36	43.773,58	49.828,49	3,6%	0,6%	1,3%	2,0%
Pernambuco	26.843,24	36.088,89	38.370,76	47.021,17	3,0%	0,9%	2,1%	2,1%
Alagoas	25.118,18	34.251,57	35.357,45	38.599,09	3,1%	0,5%	0,9%	1,6%
Sergipe	26.394,35	34.416,78	35.520,86	39.192,25	2,7%	0,5%	1,0%	1,5%
Bahia	28.121,00	36.013,85	37.558,01	43.733,29	2,5%	0,6%	1,5%	1,6%
Sudeste	34.715,14	45.116,32	49.726,01	75.400,56	2,7%	1,4%	4,3%	2,9%
Minas Gerais	30.620,31	45.468,11	48.657,47	67.676,23	4,0%	1,0%	3,4%	3,0%
Espírito Santo	32.633,99	45.686,32	47.772,83	56.053,73	3,4%	0,6%	1,6%	2,0%
Rio de Janeiro	28.427,64	36.131,68	39.578,24	55.266,41	2,4%	1,3%	3,4%	2,5%
São Paulo	39.107,92	48.788,88	54.566,78	87.680,49	2,2%	1,6%	4,9%	3,0%
Sul	36.821,71	49.250,67	52.322,42	67.681,22	3,0%	0,9%	2,6%	2,3%
Paraná	35.435,20	47.061,19	49.377,52	59.054,22	2,9%	0,7%	1,8%	1,9%
Santa Catarina	40.827,81	55.689,28	59.642,81	77.163,65	3,2%	1,0%	2,6%	2,4%
Rio Grande do Sul	35.443,00	46.902,50	50.157,36	70.544,97	2,8%	1,0%	3,5%	2,6%
Centro-Oeste	42.491,27	48.174,86	50.413,39	59.975,62	1,3%	0,7%	1,8%	1,3%
Mato Grosso do Sul	40.775,48	46.304,61	47.527,18	51.584,91	1,3%	0,4%	0,8%	0,9%
Mato Grosso	41.240,78	53.813,82	55.596,53	61.393,58	2,7%	0,5%	1,0%	1,5%
Goiás	33.562,28	43.976,12	45.515,12	53.629,52	2,7%	0,5%	1,7%	1,8%
Distrito Federal	67.963,11	57.551,43	62.773,85	84.848,14	-1,6%	1,2%	3,1%	0,8%
Brasil	33.704,57	43.387,61	46.832,27	64.727,37	2,6%	1,1%	3,3%	2,4%

Nota: (*) valores a preços de 2024. Fonte: IBGE, Ministério do Trabalho e Emprego e Ex Ante Consultoria Econômica.

Assim, espera-se que, no **Cenário 2**, a renda do trabalho per capita deva crescer ao ritmo de 2,7% ao ano no período de 2023 a 2050, acumulando avanço de 108,0% em 27 anos. Considerando o aumento da população projetado em 3,4% no acumulado entre 2050 e 2023, a renda total do trabalho deve aumentar em 115,0% nesses 27 anos nessa segunda projeção.

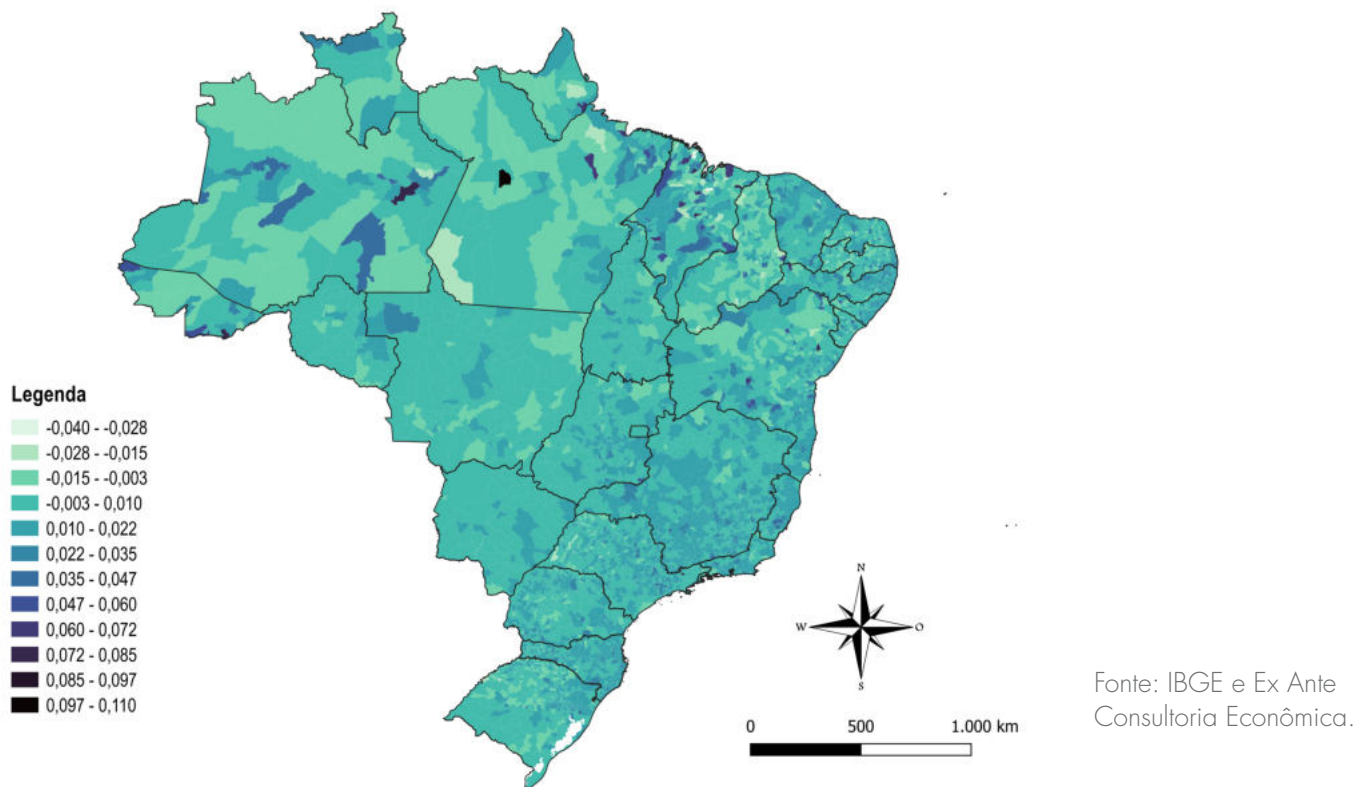
Os **Mapas 4.3 e 4.4** ilustram a dinâmica de crescimento econômico nas cidades brasileiras nos dois cenários, por faixa de variação da renda do trabalho per capita. No **Cenário 1**, a maior parte dos municípios brasileiros devem ter crescimento

positivo da renda do trabalho per capita – todos com tons mais escuros de azul. O **Cenário 2** preserva aproximadamente a mesma distribuição regional do crescimento econômico, mas há uma concentração maior de municípios com tons de azul relativamente mais escuros. Notadamente, os investimentos mais elevados e a produtividade crescente do **Cenário 2** têm impactos mais expressivos na região Sudeste e Sul do país.

Os **Gráficos 4.3 e 4.4** trazem as trajetórias no tempo do salário médio projetado (em R\$ por mês) e da massa salarial (em R\$ trilhões) no Brasil entre 2023

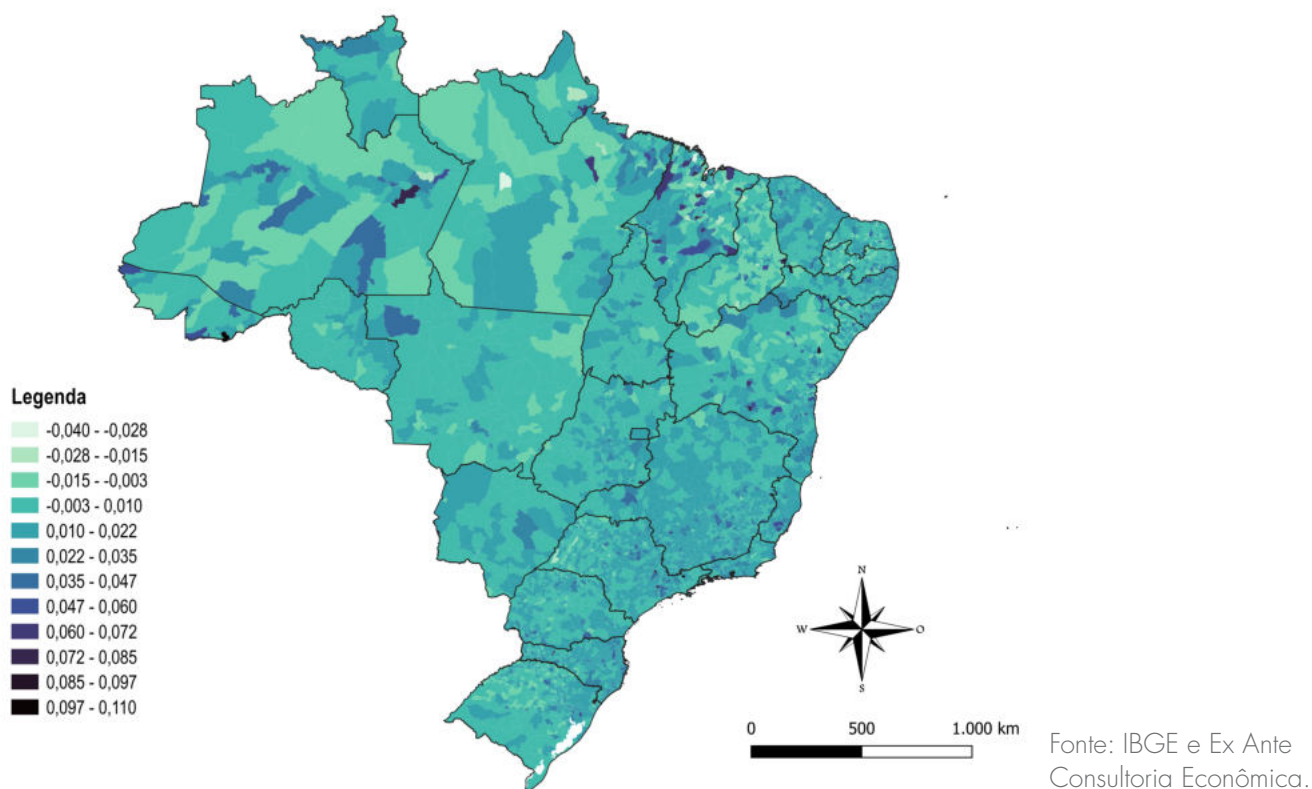
Mapa 4.3.

Crescimento da renda do trabalho per capita, em (%) ao ano, **Cenário 1**, 2023 a 2050



Mapa 4.4.

Crescimento da renda do trabalho per capita, em (%) ao ano, **Cenário 2**, 2023 a 2050



e 2050 nos dois cenários econômicos. No **Cenário 1**, o salário médio parte do nível de R\$ 2.915,49 por mês e alcança R\$ 4.766,57 por mês em 2050. Já no cenário de crescimento mais acelerado, o valor do rendimento médio mensal do trabalho alcança o valor de R\$ 6.063,98 por mês em 2050. A diferença é uma renda mensal 27,2% superior no **Cenário 2**. Em termos agregados, a massa de rendimentos deve passar de R\$ 3,090 trilhões em 2023 para R\$ 5,052 em 2050 no **Cenário 1**. As projeções do **Cenário 2** apontam para uma massa total de rendimentos do trabalho de R\$ 6,428 trilhões em 2050.

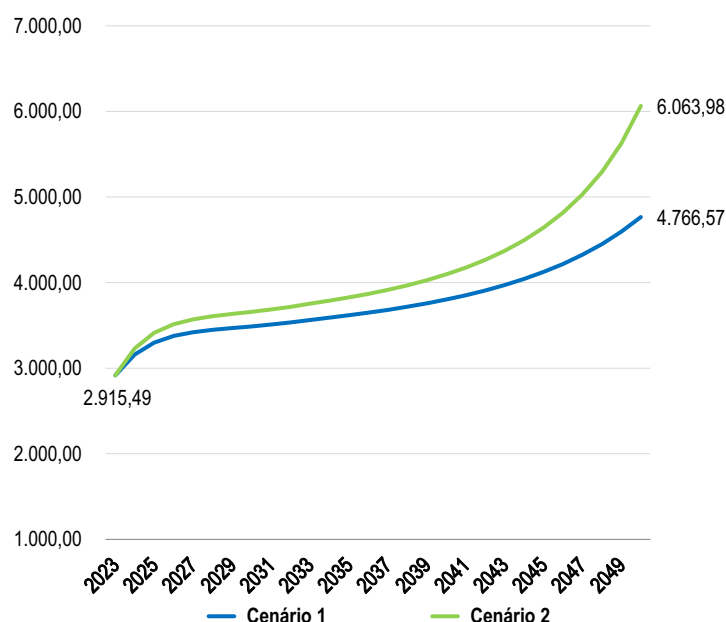
4.3. Cenários de consumo de água

Esta seção apresenta os cenários de consumo de água no Brasil até 2050, com destaque para as evoluções nos subperíodos até os anos de 2033 e 2040. Ao total, são apresentados quatro cenários que resultam de premissas econômicas e comportamentais alternativas. A **Figura 4.1** traz a estrutura dos quatro cenários.

Todos os cenários levam em consideração duas tendências observadas desde o início dos anos 2000 no país. Primeiro, é a tendência de aumento do preço da água e da coleta de esgoto em relação ao preço médio da cesta de consumo dos brasileiros. Entre 2000 e 2024, o IPCA acumulou variação média de 6,2% ao ano, contra um aumento médio dos preços dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto de 8,4% ano. Essa tendência está associada, de um lado, ao aumento de custos com energia no Brasil, item consumido de forma intensiva na produção do setor. De outro, a tendência espelha o barateamento dos bens industriais que compõem a cesta de consumo das famílias, que fez os IPCA crescer abaixo dos bens e serviços intensivos em energia. Como o preço afeta negativamente o consumo per capita, essa tendência faz cair o consumo por habitante ao longo do tempo.

Gráfico 4.3.

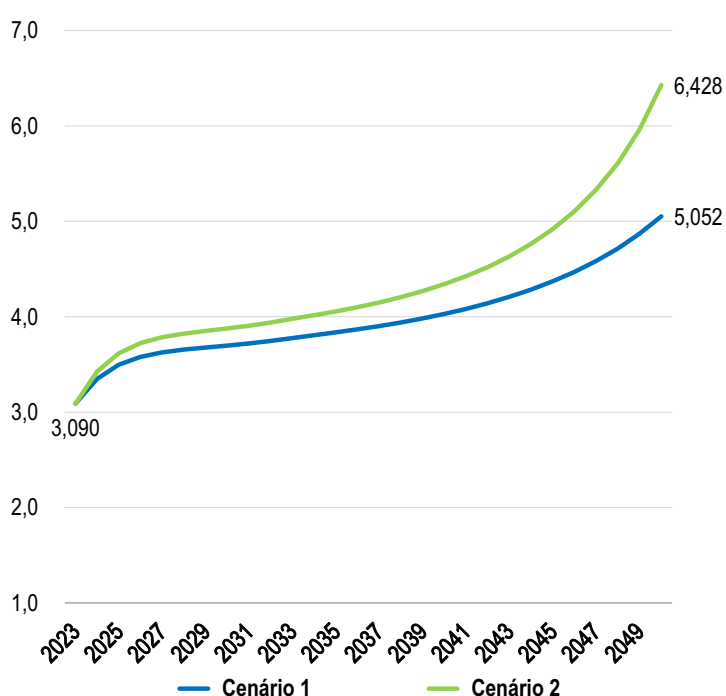
Salário real médio, em R\$ por mês, Brasil, 2023 a 2050



Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Gráfico 4.4.

Massa de rendimentos do trabalho, em R\$ trilhões, Brasil, 2023 a 2050



Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Figura 4.1.

Cenários de consumo de água, por situação econômica e padrão de consumo, Brasil, 2023 a 2050

		Cenários econômicos	
		Cenário 1 (conservador)	Cenário 2 (otimista)
Universalização	até 2040	A	B
	até 2033	C	D

Fonte: Ex Ante
Consultoria Econômica.

Outra premissa presente em todos os cenários de demanda por água é a paulatina redução do índice de perdas de água na distribuição. Em 2023, havia muitos municípios com perdas elevadíssimas que superavam 80% da produção, o que significa dizer que para cada litro de água que chegou às residências foi necessário produzir e despachar nas redes 5 litros de água. Essas perdas resultaram, em sua grande maioria, de vazamentos na rede e do desvio de água (consumo não autorizado). Nos cenários traçados neste estudo, pressupõe-se um ritmo constante de redução dessas perdas de 0,6% ao ano na média das cidades brasileiras até 2050. Esse é um fato que impedirá um crescimento excessivo do consumo com o avanço esperado em direção à universalização dos serviços.

Os quatro cenários se diferenciam em razão de outras premissas. Os **Cenários A e B** estão baseados em diferentes premissas de urbanização e de ritmo de atingimento dos serviços universalizados de abastecimento de água tratada que os **Cenários C e D**. Nos **Cenários A e B**, a intensidade de crescimento do consumo de água está associada a uma perspectiva de urbanização mais lenta, o que leva a ritmo também mais lento de adensamento das cidades. Ademais, supõe-se que a universalização dos serviços de abastecimento de água em todo o país é

alcançada somente em 2040. Nos **Cenários C e D**, a urbanização é mais acelerada, assim como o ritmo de convergência para um padrão universal de abastecimento de água em todas as cidades brasileiras. Nessa segunda visão, a universalização dos serviços de abastecimento de água em todo o país é alcançada já em 2033. Nesse sentido, os **Cenários C e D** podem ser vistos como situações em que há convergência dos padrões de consumo entre as cidades brasileiras para um patamar mais elevado em período de tempo mais curto.

Os **Gráficos 4.5 e 4.6** trazem a principal diferença das trajetórias de população atendida com abastecimento de água tratada, que resulta no número de pessoas atendidas por serviços de abastecimento de água em 2033. Nos **Cenários A e B**, ainda haverá um déficit de atendimento em 2033 da ordem de 20 milhões de pessoas. Nos demais cenários, o atendimento está universalizado nesse ano.

O que varia entre os **Cenários A e C**, de um lado, e os **Cenários B e D**, de outro, é a perspectiva econômica. Nos **Cenários A e C**, prevalece a taxa de crescimento associada ao cenário de crescimento econômico conservador (**Cenário econômico 1**), em que a renda do trabalho per capita cresce apenas 1,8% ao ano entre 2023 e 2050 e a renda total do trabalho

crece 2,0% ao ano. Nos **Cenários B e D**, que traz as estimativas de evolução da renda do **Cenário econômico 2**, a economia cresce mais: o rendimento do trabalho per capita cresce 2,7% ao ano e a massa total de salários cresce 2,9% ao ano entre 2023 e 2050. Nessas duas visões econômicas alternativas, vale notar, as taxas de crescimento da renda do trabalho per capita é maior no subperíodo de 2040 a 2050, momento em que a economia está mais madura e a população apresenta ligeira retração.

Consumo per capita

A **Tabela 4.4** traz a evolução do consumo per capita nos **Cenários A e C**, em que o crescimento do rendimento do trabalho per capita é menos acentuado (**Cenário econômico 1**). Nessa projeção, o consumo per capita médio do país deve passar de 175,29 litros diários por habitante em 2023 – com acesso ao sistema de abastecimento de água – para um volume médio de 202,61 litros diários por habitante em 2033 (**Tabela 4.4**). Isso indica uma taxa de crescimento médio anual de 1,5%, um ritmo inferior ao do aumento do rendimento per capita do trabalho nesse período, o qual foi projetado em 2,0% ao ano. A expansão do consumo deve ficar abaixo do aumento de renda em razão da redução de perdas, de um lado, e do ligeiro aumento de preços que contém o crescimento da demanda.

No período seguinte, entre 2033 e 2040, quando se espera que a renda per capita cresça à taxa de 0,9% ao ano, a expansão do consumo é também menor. Como se projeta a continuidade da redução de perdas e o ritmo suave de crescimento dos preços relativos, a demanda por habitante chega a apresentar uma redução de 0,5% ao ano nesse segmento temporal.

No terceiro subperíodo, de 2040 a 2050, projeta-se uma expansão do rendimento do trabalho per capita mais elevada, de 2,3% ao

Gráfico 4.5.

População total e população atendida com abastecimento de água, em milhões de pessoas, **Cenários A e B**, Brasil, 2023 a 2050

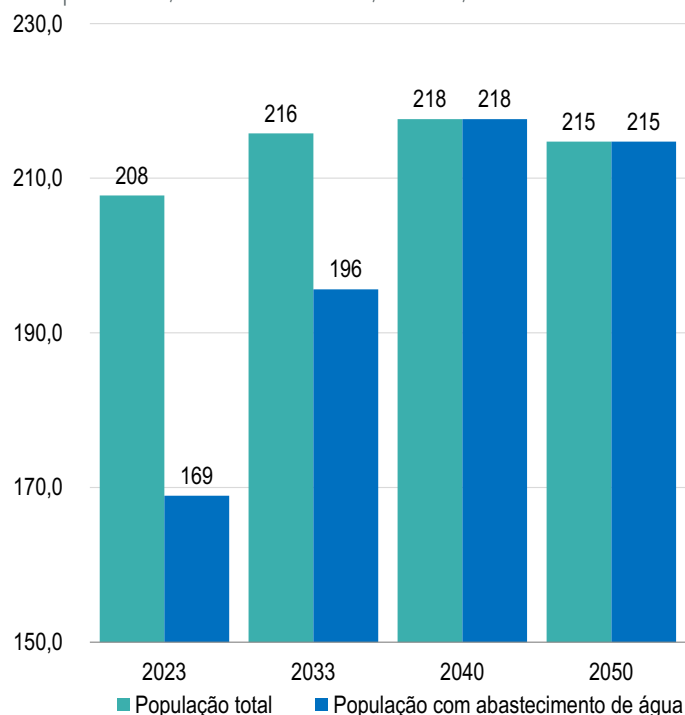
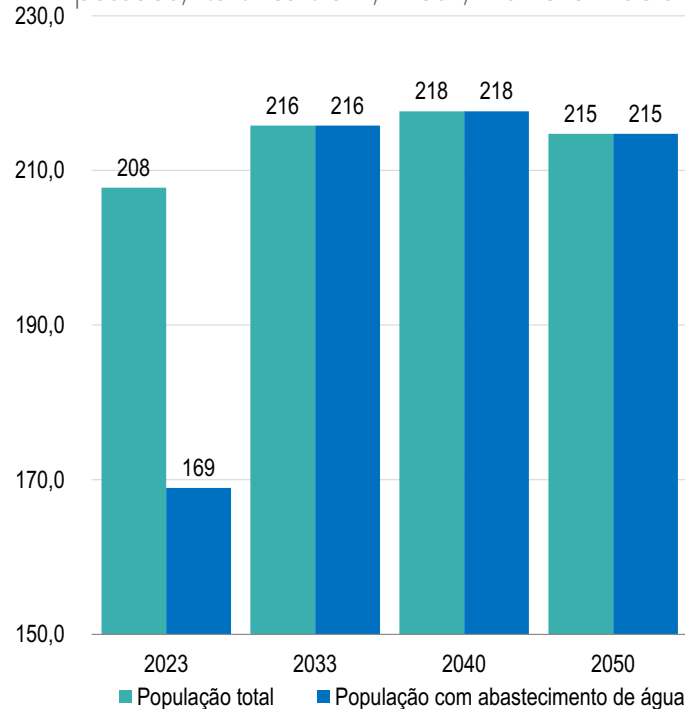


Gráfico 4.6.

População total e população atendida com abastecimento de água, em milhões de pessoas, **Cenários C e D**, Brasil, 2023 a 2050



Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Tabela 4.4.

Consumo diário per capita de água, **Cenários A e C**, em litros por habitante/dia e (%) ao ano, Brasil, 2023 a 2050

	litros diários por habitante				Variação média anual (%)			
	2023	2033	2040	2050	2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	160,98	176,69	171,70	167,67	0,9%	-0,4%	-0,2%	0,2%
Rondônia	176,60	188,37	180,73	175,38	0,6%	-0,6%	-0,3%	0,0%
Acre	171,65	178,55	171,48	171,68	0,4%	-0,6%	0,0%	0,0%
Amazonas	178,82	204,28	204,47	200,74	1,3%	0,0%	-0,2%	0,4%
Roraima	173,25	175,90	167,03	161,45	0,2%	-0,7%	-0,3%	-0,3%
Pará	137,38	148,65	144,86	140,94	0,8%	-0,4%	-0,3%	0,1%
Amapá	238,94	280,65	272,13	265,11	1,6%	-0,4%	-0,3%	0,4%
Tocantins	157,71	175,57	168,20	161,05	1,1%	-0,6%	-0,4%	0,1%
Nordeste	145,24	173,73	167,69	164,53	1,8%	-0,5%	-0,2%	0,5%
Maranhão	184,29	209,02	197,46	191,51	1,3%	-0,8%	-0,3%	0,1%
Piauí	195,32	189,64	174,14	168,36	-0,3%	-1,2%	-0,3%	-0,5%
Ceará	129,66	166,09	161,68	162,00	2,5%	-0,4%	0,0%	0,8%
Rio Grande do Norte	142,60	164,34	157,25	152,52	1,4%	-0,6%	-0,3%	0,2%
Paraíba	138,74	165,98	156,29	151,72	1,8%	-0,9%	-0,3%	0,3%
Pernambuco	174,65	216,61	208,60	206,54	2,2%	-0,5%	-0,1%	0,6%
Alagoas	114,45	140,37	136,77	132,04	2,1%	-0,4%	-0,4%	0,5%
Sergipe	119,68	138,99	132,88	128,05	1,5%	-0,6%	-0,4%	0,3%
Bahia	128,74	150,99	146,21	142,84	1,6%	-0,5%	-0,2%	0,4%
Sudeste	196,00	228,95	223,86	230,54	1,6%	-0,3%	0,3%	0,6%
Minas Gerais	178,48	230,98	222,53	222,22	2,6%	-0,5%	0,0%	0,8%
Espírito Santo	192,64	249,74	239,61	233,43	2,6%	-0,6%	-0,3%	0,7%
Rio de Janeiro	208,19	246,14	241,34	249,70	1,7%	-0,3%	0,3%	0,7%
São Paulo	199,07	220,36	216,73	227,24	1,0%	-0,2%	0,5%	0,5%
Sul	170,16	202,31	195,36	195,79	1,7%	-0,5%	0,0%	0,5%
Paraná	161,50	192,43	185,25	182,01	1,8%	-0,5%	-0,2%	0,4%
Santa Catarina	166,84	209,41	203,10	205,62	2,3%	-0,4%	0,1%	0,8%
Rio Grande do Sul	181,82	207,82	200,73	203,77	1,3%	-0,5%	0,2%	0,4%
Centro-Oeste	168,00	187,42	182,55	180,61	1,1%	-0,4%	-0,1%	0,3%
Mato Grosso do Sul	172,14	175,57	169,71	162,58	0,2%	-0,5%	-0,4%	-0,2%
Mato Grosso	182,61	210,57	202,52	195,94	1,4%	-0,6%	-0,3%	0,3%
Goiás	151,19	177,96	172,24	167,30	1,6%	-0,5%	-0,3%	0,4%
Distrito Federal	186,80	192,48	193,76	210,10	0,3%	0,1%	0,8%	0,4%
Brasil	175,31	203,06	195,87	196,57	1,5%	-0,5%	0,0%	0,4%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

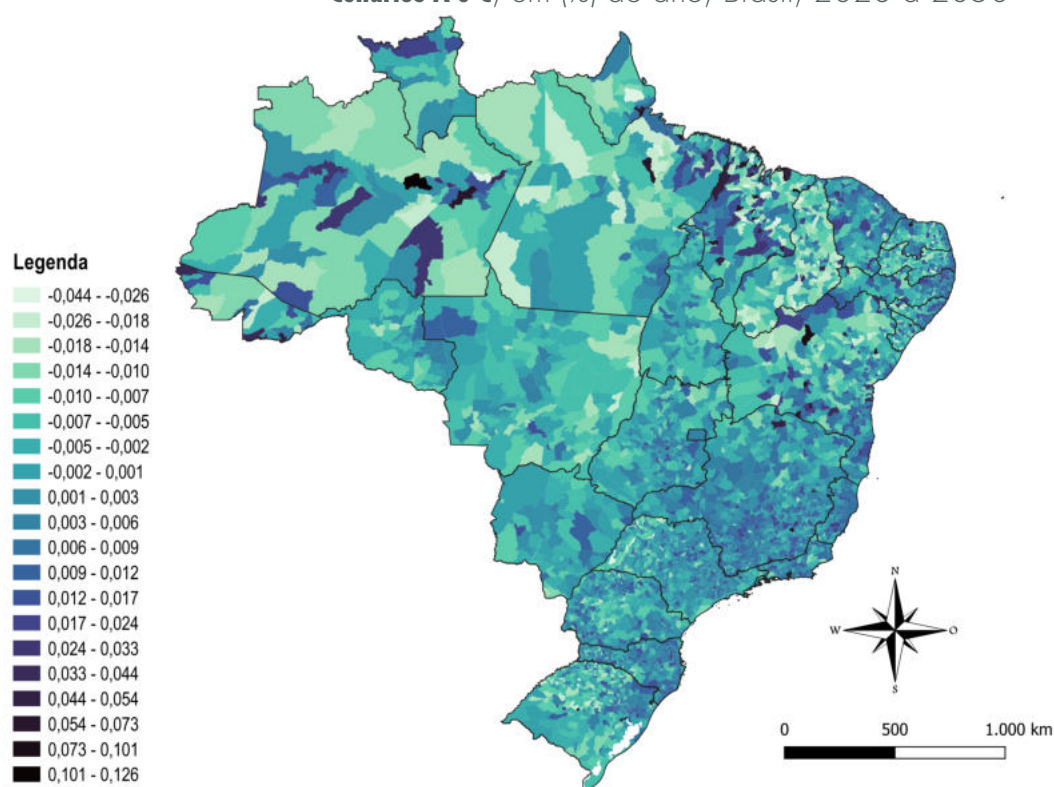
ano. Isso é resultado da continuidade dos investimentos e do aumento da produtividade, de um lado, e da própria redução demográfica esperada para o período. Esse avanço esperado mais forte da renda para a década de 2040 fará com que o consumo per capita fique estável no país.

Assim, para o período de 2023 a 2050, espera-se um crescimento médio anual de 0,4% do consumo per capita de água, acumulando aumento de

12,2% nos 27 anos. Note-se que as taxas de expansão do consumo per capita variam relativamente pouco entre os estados, como ilustra a **Tabela 4.4**. Não obstante, os estados com crescimento da renda do trabalho per capita mais acentuado no acumulado do período (**Tabela 4.2**) deverão apresentar taxas de expansão do consumo per capita também mais elevadas, o que reforça a tendência determinada pelo avanço mais acentuado das taxas de cobertura nessas regiões que hoje têm

Mapa 4.5.

Taxa de expansão do consumo diário per capita de água, **Cenários A e C**, em (%) ao ano, Brasil, 2023 a 2050



Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

coberturas menores. O **Mapa 4.5** traz as taxas de expansão do consumo diário de água por habitante nas cidades brasileiras. Em alguns municípios, esperam-se taxas de crescimento do consumo per capita superiores a 7,5% ao ano, enquanto que para outras cidades deverá ocorrer retração média anual. Nesse último caso, estão as cidades que tinham em 2023 índices de perdas na distribuição muito elevados.

A **Tabela 4.5** traz a evolução do consumo per capita nos **Cenários B e D**, em que o crescimento do rendimento do trabalho per capita é maior (**Cenário econômico 2**). Nessa segunda projeção, o consumo per capita médio do país deve passar de 175,29 litros diários por habitante em 2023 para um volume médio de 204,86 litros diários por habitante em 2033. Isso indica uma taxa de crescimento médio anual de 1,6%, um ritmo também inferior ao do aumento do rendimento per capita do trabalho

nesse período, o qual foi projetado em 2,6% ao ano no **Cenário econômico 2**. A expansão do consumo também deve ficar abaixo do aumento de renda em razão da redução de perdas, de um lado, e do ligeiro aumento de preços que contém o crescimento da demanda.

Entre 2033 e 2040, quando se espera que a renda per capita cresça à taxa de 1,1% ao ano, a expansão do consumo também é menor. Assim como observado nos **Cenários A e C**, a continuidade da redução de perdas e o ritmo suave de crescimento dos preços relativos fazem com que a demanda por habitante chegue a apresentar uma redução de 0,5% ao ano.

Finalmente, no período de 2040 a 2050, projeta-se uma expansão do rendimento do trabalho per capita mais elevada, de 3,3% ao ano. Isso é resultado dos investimentos mais elevados e do

Tabela 4.5.

Consumo diário per capita de água, **Cenários B e D**, em litros por habitante/dia e (%) ao ano, Brasil, 2023 a 2050

	litros diários por habitante				Variação média anual (%)			
	2023	2033	2040	2050	2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	160,98	177,83	170,28	168,82	1,0%	-0,6%	-0,1%	0,2%
Rondônia	176,60	189,46	178,74	173,75	0,7%	-0,8%	-0,3%	-0,1%
Acre	171,65	179,84	171,90	191,86	0,5%	-0,6%	1,1%	0,4%
Amazonas	178,82	205,73	203,44	204,09	1,4%	-0,2%	0,0%	0,5%
Roraima	173,25	176,91	165,02	159,34	0,2%	-1,0%	-0,4%	-0,3%
Pará	137,38	149,56	143,38	140,33	0,9%	-0,6%	-0,2%	0,1%
Amapá	238,94	282,53	270,50	267,85	1,7%	-0,6%	-0,1%	0,4%
Tocantins	157,71	176,56	165,89	157,94	1,1%	-0,9%	-0,5%	0,0%
Nordeste	145,24	174,95	167,07	171,96	1,9%	-0,7%	0,3%	0,6%
Maranhão	184,29	210,42	196,02	200,55	1,3%	-1,0%	0,2%	0,3%
Piauí	195,32	190,75	172,49	175,21	-0,2%	-1,4%	0,2%	-0,4%
Ceará	129,66	167,46	162,67	175,39	2,6%	-0,4%	0,8%	1,1%
Rio Grande do Norte	142,60	165,34	155,77	158,64	1,5%	-0,8%	0,2%	0,4%
Paraíba	138,74	167,12	155,30	153,83	1,9%	-1,0%	-0,1%	0,4%
Pernambuco	174,65	218,24	208,57	215,65	2,3%	-0,6%	0,3%	0,8%
Alagoas	114,45	141,24	135,26	131,55	2,1%	-0,6%	-0,3%	0,5%
Sergipe	119,68	139,84	131,46	127,10	1,6%	-0,9%	-0,3%	0,2%
Bahia	128,74	152,01	145,47	149,37	1,7%	-0,6%	0,3%	0,6%
Sudeste	196,00	231,11	228,64	274,25	1,7%	-0,2%	1,8%	1,3%
Minas Gerais	178,48	232,91	224,38	261,59	2,7%	-0,5%	1,5%	1,4%
Espírito Santo	192,64	251,54	238,80	239,41	2,7%	-0,7%	0,0%	0,8%
Rio de Janeiro	208,19	248,56	247,25	289,94	1,8%	-0,1%	1,6%	1,2%
São Paulo	199,07	222,55	222,95	277,54	1,1%	0,0%	2,2%	1,2%
Sul	170,16	204,00	197,25	219,82	1,8%	-0,5%	1,1%	1,0%
Paraná	161,50	193,87	185,50	191,00	1,8%	-0,6%	0,3%	0,6%
Santa Catarina	166,84	211,29	205,90	229,70	2,4%	-0,4%	1,1%	1,2%
Rio Grande do Sul	181,82	209,63	203,72	244,15	1,4%	-0,4%	1,8%	1,1%
Centro-Oeste	168,00	190,08	182,75	185,20	1,2%	-0,6%	0,1%	0,4%
Mato Grosso do Sul	172,14	176,54	167,60	160,27	0,3%	-0,7%	-0,4%	-0,3%
Mato Grosso	182,61	211,87	200,57	195,90	1,5%	-0,8%	-0,2%	0,3%
Goiás	151,19	179,07	170,70	174,78	1,7%	-0,7%	0,2%	0,5%
Distrito Federal	186,80	202,10	203,45	220,61	0,8%	0,1%	0,8%	0,6%
Brasil	175,31	204,86	197,77	219,74	1,6%	-0,5%	1,1%	0,8%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

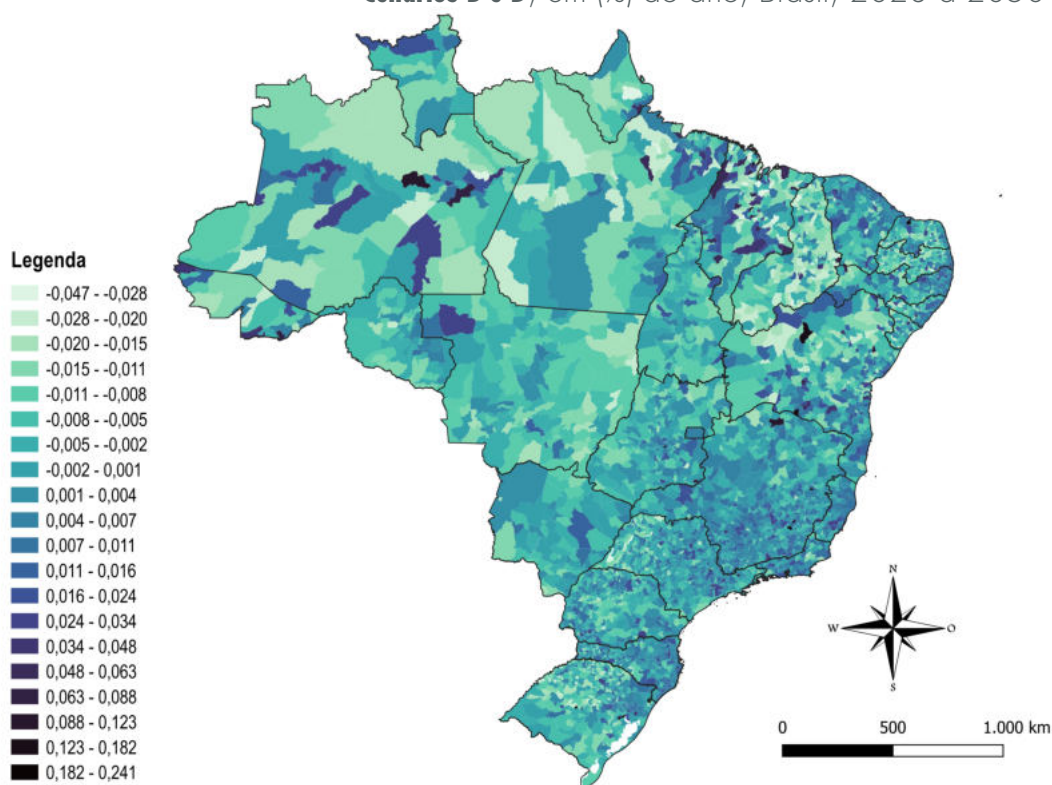
aumento da produtividade mais acentuado. Esse avanço esperado mais forte da renda para a década de 2040 fará com que a taxa de expansão do consumo per capita volte a crescer, muito embora num patamar razoável, de 1,1% ao ano.

Assim, para o período de 2023 a 2050, espera-se um crescimento médio anual de 0,8% do consumo per capita de água nos **Cenários B e D**, acumulando aumento de 25,3% nos 27 anos. Novamente, as

taxas de expansão do consumo per capita variam relativamente pouco entre os estados, como ilustra a **Tabela 4.5**, e os estados com crescimento da renda do trabalho per capita mais acentuado no acumulado do período (**Tabela 4.3**) deverão apresentar taxas de expansão do consumo per capita também mais elevadas. O **Mapa 4.6** traz as taxas de expansão do consumo diário de água por habitante nas cidades brasileiras. Esperam-se taxas de crescimento do consumo per capita superiores a 7,5% ao ano para um número maior de cidades.

Mapa 4.6.

Taxa de expansão do consumo diário per capita de água,
Cenários B e D, em (%) ao ano, Brasil, 2023 a 2050



Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

Consumo agregado

Combinando-se as premissas de evolução da população atendida e os cenários de crescimento do consumo diário de água por habitante chega-se aos 4 cenários de crescimento da demanda agregada por água para consumo humano no país. Em termos acumulados, o consumo de água deve variar entre 4,598 bilhões de m³ por ano e 6,414 bilhões de m³ por ano conforme as premissas assumidas nos **Cenários de A a D**.

A **Tabela 4.6** traz as estimativas para a o **Cenário A**, situação na qual o crescimento econômico é mais brando e a universalização dos serviços de abastecimento de água é atingida apenas em 2040. Nessa visão de futuro, o consumo total de água salta de 10,8 bilhões de m³ em 2023 para 14,5 bilhões de m³ em 2033. Isso equivale a uma expansão média anual de 3,0% da demanda agregada de água tratada e a um aumento acumulado de 34,1%

em dez anos. Entre 2033 e 2040 o consumo continua crescendo, mas num ritmo menor, de 1,0% ao ano. Após esse período, o consumo agregado se estabiliza e começa um processo de ligeira retração, acompanhando a tendência de retração demográfica esperada para aquela década. Ao final do período o consumo agregado do **Cenário A** é estimado em 15,4 bilhões de m³, um volume 42,5% superior ao volume observado em 2023.

A **Tabela 4.7** traz as estimativas para a o **Cenário B**, situação na qual o crescimento econômico é mais acelerado, mas a universalização dos serviços de abastecimento de água também é atingida apenas em 2040. Nessa segunda visão de futuro, o consumo total de água salta de 10,8 bilhões de m³ em 2023 para 14,6 bilhões de m³ em 2033, volume muito próximo do projetado no **Cenário A**. A taxa de expansão média anual da demanda agregada de água tratada é de 3,1% e a um aumento acumulado de 35,3% em dez anos. Entre

Tabela 4.6.

Consumo agregado de água, **Cenário A**,
em milhões de m³, Brasil, 2023 a 2050

	milhões de m ³				Variação média anual (%)			
	2023*	2033	2040	2050	2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	614,498	995,005	1.321,172	1.358,684	4,9%	4,1%	0,3%	3,0%
Rondônia	53,457	91,915	127,221	129,271	5,6%	4,8%	0,2%	3,3%
Acre	26,104	46,345	64,000	68,295	5,9%	4,7%	0,7%	3,6%
Amazonas	202,583	300,804	369,236	387,968	4,0%	3,0%	0,5%	2,4%
Roraima	26,544	40,214	51,301	54,135	4,2%	3,5%	0,5%	2,7%
Pará	206,046	359,022	514,026	523,229	5,7%	5,3%	0,2%	3,5%
Amapá	25,944	58,693	90,448	93,466	8,5%	6,4%	0,3%	4,9%
Tocantins	73,820	98,013	104,942	102,320	2,9%	1,0%	-0,3%	1,2%
Nordeste	2.132,408	3.219,433	3.686,067	3.626,029	4,2%	2,0%	-0,2%	2,0%
Maranhão	238,537	420,975	561,071	560,660	5,8%	4,2%	0,0%	3,2%
Piauí	155,940	204,204	233,722	230,036	2,7%	1,9%	-0,2%	1,5%
Ceará	329,161	520,274	585,767	595,837	4,7%	1,7%	0,2%	2,2%
Rio Grande do Norte	128,255	184,338	209,308	203,806	3,7%	1,8%	-0,3%	1,7%
Paraíba	141,223	219,697	248,027	240,429	4,5%	1,7%	-0,3%	2,0%
Pernambuco	420,600	665,224	753,473	742,266	4,7%	1,8%	-0,1%	2,1%
Alagoas	93,654	144,825	167,589	160,369	4,5%	2,1%	-0,4%	2,0%
Sergipe	88,023	113,305	115,070	109,704	2,6%	0,2%	-0,5%	0,8%
Bahia	537,014	746,591	812,038	782,921	3,3%	1,2%	-0,4%	1,4%
Sudeste	5.535,811	7.018,734	7.178,477	7.144,026	2,4%	0,3%	0,0%	0,9%
Minas Gerais	1.101,157	1.643,323	1.736,645	1.684,116	4,1%	0,8%	-0,3%	1,6%
Espírito Santo	221,570	331,667	350,251	329,068	4,1%	0,8%	-0,6%	1,5%
Rio de Janeiro	1.090,054	1.420,548	1.470,756	1.462,702	2,7%	0,5%	-0,1%	1,1%
São Paulo	3.123,030	3.623,197	3.620,825	3.668,140	1,5%	0,0%	0,1%	0,6%
Sul	1.641,483	2.141,318	2.186,765	2.107,473	2,7%	0,3%	-0,4%	0,9%
Paraná	595,650	783,177	799,790	760,964	2,8%	0,3%	-0,5%	0,9%
Santa Catarina	418,625	571,101	580,695	563,802	3,2%	0,2%	-0,3%	1,1%
Rio Grande do Sul	627,209	787,039	806,280	782,706	2,3%	0,3%	-0,3%	0,8%
Centro-Oeste	885,940	1.125,458	1.187,270	1.171,519	2,4%	0,8%	-0,1%	1,0%
Mato Grosso do Sul	149,125	175,206	184,915	175,347	1,6%	0,8%	-0,5%	0,6%
Mato Grosso	201,070	280,579	306,012	301,176	3,4%	1,2%	-0,2%	1,5%
Goiás	347,456	461,190	479,669	462,238	2,9%	0,6%	-0,4%	1,1%
Distrito Federal	188,289	208,483	216,673	232,757	1,0%	0,6%	0,7%	0,8%
Brasil	10.810,140	14.499,949	15.559,752	15.407,731	3,0%	1,0%	-0,1%	1,3%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica. (*) Considerando estimativas para o consumo das cidades que não prestaram informações ao SINISA.

2033 e 2040 o consumo também continua crescendo, mas num ritmo menor, de 1,0% ao ano. A diferença está no fato de que, após 2040, o consumo agregado mantém uma trajetória positiva de crescimento a uma taxa de 0,9% ao ano, mesmo com a tendência de retração demográfica esperada para a década de 2040. Ao final do período o consumo agregado do **Cenário B** é estimado em 17,2 bilhões de m³, um volume 59,3% superior ao volume observado em 2023.

O **Cenário C**, situação na qual o crescimento econômico é mais brando, mas a universalização dos serviços de abastecimento de água é atingida já em 2033, traz um quadro idêntico ao do **Cenário A** quando se tem foco em 2050, mas uma trajetória distinta entre os dois extremos temporais. Os dados da **Tabela 4.8** mostram que o consumo total de água salta de 10,8 bilhões de m³ em 2023 para 15,8 bilhões de m³ em 2033, volume bem superior ao projetado no **Cenário A** devido à maior velocidade de avanço da taxa de cobertura dos

Tabela 4.7.Consumo agregado de água, **Cenário B**, em milhões de m³, Brasil, 2023 a 2050

	milhões de m ³				Variação média anual (%)			
	2023*	2033	2040	2050	2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	614,498	1.001,381	1.310,226	1.367,983	5,0%	3,9%	0,4%	3,0%
Rondônia	53,457	92,444	125,816	128,063	5,6%	4,5%	0,2%	3,3%
Acre	26,104	46,680	64,157	76,320	6,0%	4,6%	1,8%	4,1%
Amazonas	202,583	302,936	367,379	394,426	4,1%	2,8%	0,7%	2,5%
Roraima	26,544	40,444	50,686	53,426	4,3%	3,3%	0,5%	2,6%
Pará	206,046	361,222	508,783	520,970	5,8%	5,0%	0,2%	3,5%
Amapá	25,944	59,088	89,906	94,432	8,6%	6,2%	0,5%	4,9%
Tocantins	73,820	98,567	103,500	100,346	2,9%	0,7%	-0,3%	1,1%
Nordeste	2.132,408	3.241,967	3.672,539	3.789,777	4,3%	1,8%	0,3%	2,2%
Maranhão	238,537	423,791	556,982	587,132	5,9%	4,0%	0,5%	3,4%
Piauí	155,940	205,405	231,517	239,402	2,8%	1,7%	0,3%	1,6%
Ceará	329,161	524,562	589,335	645,069	4,8%	1,7%	0,9%	2,5%
Rio Grande do Norte	128,255	185,459	207,338	211,993	3,8%	1,6%	0,2%	1,9%
Paraíba	141,223	221,201	246,455	243,776	4,6%	1,6%	-0,1%	2,0%
Pernambuco	420,600	670,211	753,387	775,019	4,8%	1,7%	0,3%	2,3%
Alagoas	93,654	145,726	165,735	159,766	4,5%	1,9%	-0,4%	2,0%
Sergipe	88,023	113,998	113,838	108,893	2,6%	0,0%	-0,4%	0,8%
Bahia	537,014	751,615	807,953	818,727	3,4%	1,0%	0,1%	1,6%
Sudeste	5.535,811	7.084,718	7.331,749	8.498,484	2,5%	0,5%	1,5%	1,6%
Minas Gerais	1.101,157	1.657,028	1.751,139	1.982,509	4,2%	0,8%	1,2%	2,2%
Espírito Santo	221,570	334,059	349,055	337,508	4,2%	0,6%	-0,3%	1,6%
Rio de Janeiro	1.090,054	1.434,506	1.506,784	1.698,364	2,8%	0,7%	1,2%	1,7%
São Paulo	3.123,030	3.659,124	3.724,770	4.480,103	1,6%	0,3%	1,9%	1,3%
Sul	1.641,483	2.159,154	2.207,905	2.366,188	2,8%	0,3%	0,7%	1,4%
Paraná	595,650	789,052	800,905	798,556	2,9%	0,2%	0,0%	1,1%
Santa Catarina	418,625	576,211	588,705	629,820	3,2%	0,3%	0,7%	1,5%
Rio Grande do Sul	627,209	793,891	818,295	937,812	2,4%	0,4%	1,4%	1,5%
Centro-Oeste	885,940	1.141,460	1.188,569	1.201,283	2,6%	0,6%	0,1%	1,1%
Mato Grosso do Sul	149,125	176,174	182,611	172,861	1,7%	0,5%	-0,5%	0,5%
Mato Grosso	201,070	282,318	303,070	301,117	3,5%	1,0%	-0,1%	1,5%
Goiás	347,456	464,060	475,381	482,910	2,9%	0,3%	0,2%	1,2%
Distrito Federal	188,289	218,907	227,507	244,395	1,5%	0,6%	0,7%	1,0%
Brasil	10.810,140	14.628,681	15.710,988	17.223,714	3,1%	1,0%	0,9%	1,7%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica. (*) Considerando estimativas para o consumo das cidades que não prestaram informações ao SINISA.

serviços de abastecimento de água tratada. A expansão média anual da demanda agregada de água tratada é de 3,9% e o aumento acumulado no período é de 46,6% em dez anos. Nesse terceiro cenário, após 2033 o consumo começa a se reduzir, fruto da retração demográfica na década de 2040 e da gradativa redução de perdas na distribuição. Ao final do período, o consumo agregado do **Cenário C** chega ao mesmo patamar do consumo projetado para o **Cenário A**, de 15,4 bilhões de m³.

Por fim, o **Cenário D** traz os números para a situação em que o crescimento econômico é mais acentuado e a universalização dos serviços de abastecimento de água é atingida em 2033. O quadro é idêntico ao do **Cenário B** quando se tem foco em 2050, mas uma trajetória também distinta entre os dois extremos temporais. Os dados da **Tabela 4.9** mostram que o consumo total de água salta de 10,8 bilhões de m³ em 2023 para 16,0 bilhões de m³ em 2033. A expansão média anual da demanda agregada de água tratada é de 4,0% e o aumento acumulado no

Tabela 4.8.

Consumo agregado de água, **Cenário C**,
em milhões de m³, Brasil, 2023 a 2050

	milhões de m ³				Variação média anual (%)			
	2023*	2033	2040	2050	2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	614,498	1.284,107	1.321,172	1.358,684	7,6%	0,4%	0,3%	3,0%
Rondônia	53,457	124,192	127,221	129,271	8,8%	0,3%	0,2%	3,3%
Acre	26,104	61,418	64,000	68,295	8,9%	0,6%	0,7%	3,6%
Amazonas	202,583	354,580	369,236	387,968	5,8%	0,6%	0,5%	2,4%
Roraima	26,544	48,970	51,301	54,135	6,3%	0,7%	0,5%	2,7%
Pará	206,046	501,815	514,026	523,229	9,3%	0,3%	0,2%	3,5%
Amapá	25,944	87,567	90,448	93,466	12,9%	0,5%	0,3%	4,9%
Tocantins	73,820	105,563	104,942	102,320	3,6%	-0,1%	-0,3%	1,2%
Nordeste	2.132,408	3.718,214	3.686,067	3.626,029	5,7%	-0,1%	-0,2%	2,0%
Maranhão	238,537	557,513	561,071	560,660	8,9%	0,1%	0,0%	3,2%
Piauí	155,940	234,687	233,722	230,036	4,2%	-0,1%	-0,2%	1,5%
Ceará	329,161	582,204	585,767	595,837	5,9%	0,1%	0,2%	2,2%
Rio Grande do Norte	128,255	211,505	209,308	203,806	5,1%	-0,1%	-0,3%	1,7%
Paraíba	141,223	252,059	248,027	240,429	6,0%	-0,2%	-0,3%	2,0%
Pernambuco	420,600	761,066	753,473	742,266	6,1%	-0,1%	-0,1%	2,1%
Alagoas	93,654	170,891	167,589	160,369	6,2%	-0,3%	-0,4%	2,0%
Sergipe	88,023	117,895	115,070	109,704	3,0%	-0,3%	-0,5%	0,8%
Bahia	537,014	830,393	812,038	782,921	4,5%	-0,3%	-0,4%	1,4%
Sudeste	5.535,811	7.374,169	7.178,477	7.144,026	2,9%	-0,4%	0,0%	0,9%
Minas Gerais	1.101,157	1.795,560	1.736,645	1.684,116	5,0%	-0,5%	-0,3%	1,6%
Espírito Santo	221,570	365,017	350,251	329,068	5,1%	-0,6%	-0,6%	1,5%
Rio de Janeiro	1.090,054	1.511,267	1.470,756	1.462,702	3,3%	-0,4%	-0,1%	1,1%
São Paulo	3.123,030	3.702,326	3.620,825	3.668,140	1,7%	-0,3%	0,1%	0,6%
Sul	1.641,483	2.269,140	2.186,765	2.107,473	3,3%	-0,5%	-0,4%	0,9%
Paraná	595,650	831,155	799,790	760,964	3,4%	-0,5%	-0,5%	0,9%
Santa Catarina	418,625	600,643	580,695	563,802	3,7%	-0,5%	-0,3%	1,1%
Rio Grande do Sul	627,209	837,342	806,280	782,706	2,9%	-0,5%	-0,3%	0,8%
Centro-Oeste	885,940	1.199,380	1.187,270	1.171,519	3,1%	-0,1%	-0,1%	1,0%
Mato Grosso do Sul	149,125	190,036	184,915	175,347	2,5%	-0,4%	-0,5%	0,6%
Mato Grosso	201,070	306,922	306,012	301,176	4,3%	0,0%	-0,2%	1,5%
Goiás	347,456	489,730	479,669	462,238	3,5%	-0,3%	-0,4%	1,1%
Distrito Federal	188,289	212,692	216,673	232,757	1,2%	0,3%	0,7%	0,8%
Brasil	10.810,140	15.845,010	15.559,752	15.407,731	3,9%	-0,3%	-0,1%	1,3%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica. (*) Considerando estimativas para o consumo das cidades que não prestaram informações ao SINISA.

período é de 47,8% em dez anos. Nesse último cenário, o consumo começa a se reduzir entre 2033 e 2040, fruto da gradativa redução de perdas na distribuição, mas volta a crescer após 2040 em razão da expansão econômica mais acentuada. Ao final do período, o consumo agregado do **Cenário D** chega ao mesmo patamar do consumo projetado para o **Cenário B**, de 17,2 bilhões de m³.

Tabela 4.9.

Consumo agregado de água, **Cenário D**,
em milhões de m³, Brasil, 2023 a 2050

	milhões de m ³				Variação média anual (%)			
	2023*	2033	2040	2050	2023-2033	2033-2040	2040-2050	2023-2050
Norte	614,50	1.292,15	1.310,23	1.367,98	7,7%	0,2%	0,4%	3,0%
Rondônia	53,46	124,90	125,82	128,06	8,9%	0,1%	0,2%	3,3%
Acre	26,10	61,85	64,16	76,32	9,0%	0,5%	1,8%	4,1%
Amazonas	202,58	357,06	367,38	394,43	5,8%	0,4%	0,7%	2,5%
Roraima	26,54	49,25	50,69	53,43	6,4%	0,4%	0,5%	2,6%
Pará	206,05	504,79	508,78	520,97	9,4%	0,1%	0,2%	3,5%
Amapá	25,94	88,15	89,91	94,43	13,0%	0,3%	0,5%	4,9%
Tocantins	73,82	106,16	103,50	100,35	3,7%	-0,4%	-0,3%	1,1%
Nordeste	2.132,41	3.743,99	3.672,54	3.789,78	5,8%	-0,3%	0,3%	2,2%
Maranhão	238,54	561,25	556,98	587,13	8,9%	-0,1%	0,5%	3,4%
Piauí	155,94	236,03	231,52	239,40	4,2%	-0,3%	0,3%	1,6%
Ceará	329,16	586,92	589,33	645,07	6,0%	0,1%	0,9%	2,5%
Rio Grande do Norte	128,26	212,81	207,34	211,99	5,2%	-0,4%	0,2%	1,9%
Paraíba	141,22	253,73	246,45	243,78	6,0%	-0,4%	-0,1%	2,0%
Pernambuco	420,60	766,72	753,39	775,02	6,2%	-0,3%	0,3%	2,3%
Alagoas	93,65	171,95	165,74	159,77	6,3%	-0,5%	-0,4%	2,0%
Sergipe	88,02	118,61	113,84	108,89	3,0%	-0,6%	-0,4%	0,8%
Bahia	537,01	835,97	807,95	818,73	4,5%	-0,5%	0,1%	1,6%
Sudeste	5.535,81	7.442,84	7.331,75	8.498,48	3,0%	-0,2%	1,5%	1,6%
Minas Gerais	1.101,16	1.810,33	1.751,14	1.982,51	5,1%	-0,5%	1,2%	2,2%
Espírito Santo	221,57	367,64	349,06	337,51	5,2%	-0,7%	-0,3%	1,6%
Rio de Janeiro	1.090,05	1.526,07	1.506,78	1.698,36	3,4%	-0,2%	1,2%	1,7%
São Paulo	3.123,03	3.738,79	3.724,77	4.480,10	1,8%	-0,1%	1,9%	1,3%
Sul	1.641,48	2.287,76	2.207,90	2.366,19	3,4%	-0,5%	0,7%	1,4%
Paraná	595,65	837,31	800,90	798,56	3,5%	-0,6%	0,0%	1,1%
Santa Catarina	418,62	605,96	588,70	629,82	3,8%	-0,4%	0,7%	1,5%
Rio Grande do Sul	627,21	844,49	818,30	937,81	3,0%	-0,4%	1,4%	1,5%
Centro-Oeste	885,94	1.215,97	1.188,57	1.201,28	3,2%	-0,3%	0,1%	1,1%
Mato Grosso do Sul	149,12	191,08	182,61	172,86	2,5%	-0,6%	-0,5%	0,5%
Mato Grosso	201,07	308,80	303,07	301,12	4,4%	-0,3%	-0,1%	1,5%
Goiás	347,46	492,77	475,38	482,91	3,6%	-0,5%	0,2%	1,2%
Distrito Federal	188,29	223,33	227,51	244,40	1,7%	0,3%	0,7%	1,0%
Brasil	10.810,14	15.982,71	15.710,99	17.223,71	4,0%	-0,2%	0,9%	1,7%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica. (*) Considerando estimativas para o consumo das cidades que não prestaram informações ao SINISA.



5

Desafios e riscos

O presente estudo avaliou o potencial de crescimento da demanda por água nas cidades brasileiras no horizonte de tempo até 2050. A modelagem para a elaboração de cenários futuros de demanda residencial de água no Brasil seguiu de perto a análise desenvolvida por Meyer et al (2019), um estudo feito por pesquisadores da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, para o Departamento de Recursos Naturais do Estado de Illinois, Estados Unidos. A modelagem metodológica do presente estudo pode ser resumida em 5 passos, a saber:

- i. Primeiro, foram analisados os modelos teóricos de fatores determinantes da demanda residencial de água mais utilizados na literatura sobre o tema;
- ii. Na sequência, foram desenvolvidos modelos estatísticos (econométricos), com base em dados dos municípios brasileiros, que analisam a influência desses fatores no consumo de água da população;
- iii. Com base na análise econométrica, foram feitas estimativas que servem à consolidação das informações para todos os municípios brasileiros no ano de 2023, o qual foi escolhido como período base para as projeções;
- iv. Então, foram elaborados cenários até 2050 de evolução das variáveis demográficas, econômicas e de padrões de consumo que afetam a demanda residencial de água; e
- v. Por fim, foram feitas as projeções do potencial de demanda residencial de água em 2050 nos diferentes cenários.

Desafios do abastecimento

As análises identificaram um acréscimo de demanda significativo associado à expansão demográfica, ao crescimento econômico e à universalização do atendimento às famílias. Os

resultados estão resumidos na **Figura 5.1**, que traz as taxas de crescimento acumulado do consumo de água até os anos de 2033 e 2050, sempre tomando como referência o ano de 2023, e os acréscimos de demanda em bilhões de m³ por ano. Os dados mostram que a expansão do consumo pode chegar a 59,3% em 27 anos. Nessa situação consistente com os **Cenários B e D**, em que o crescimento econômico é acelerado, a demanda potencial de água pode atingir 17,224 bilhões de m³ em 2050, o que representa um acréscimo de 6,414 milhões de m³ por ano em relação à demanda potencial de 2023. Mesmo na situação de menor crescimento econômico, o aumento de demanda é projetado em 4,598 bilhões de m³ até 2050.

Vale observar que, em 2023, a demanda potencial não foi plenamente atendida em razão da insuficiência de oferta, em parte justificada pela crise hídrica ocorrida em algumas localidades do país nesse

ano. O consumo observado foi de 9,974 bilhões de m³ em 2023. A demanda potencial daquele ano, conceito no qual todos os cidadãos do país recebem água tratada, é estimada em 13,037 bilhões de m³ (**Tabela 2.4**), fato que já indica uma carência relativa de 3,062 bilhões de m³ no suprimento de água tratada.

Pressupondo que a demanda potencial por água seja plenamente atendida em 2050, será necessário entregar nas cidades brasileiras 7,249 milhões de m³ de água a mais do que foi efetivamente entregue em 2023. O crescimento de demanda seria, portanto, de 72,7% em 27 anos, o que exigiria uma expansão da oferta de 2,0% ao ano por 27 anos para a demanda ser plenamente atendida.

Esse cenário remete a considerações fundamentais sobre os desafios para a expansão da produção de água nos próximos anos. Esses desafios estão

Figura 5.1.
Cenários de consumo de água, por situação econômica e padrão de consumo, Brasil, 2023 a 2050

		até 2033		até 2050	
Taxa de crescimento acumulado		Cenários econômicos		Cenários econômicos	
		Cenário 1 (conservador)		Cenário 2 (otimista)	
		até 2040	até 2033	até 2040	até 2033
Universalização		34,1%	46,6%	42,5%	59,3%
Expansão de consumo de água em m ³ bilhões		Cenários econômicos		Cenários econômicos	
		Cenário 1 (conservador)		Cenário 2 (otimista)	
		até 2040	até 2033	até 2040	até 2033
Universalização		3,690	5,035	4,598	6,414

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

associados ao ritmo de redução das ineficiências do setor de saneamento, em especial a questão das perdas na distribuição, e a potenciais desequilíbrios entre oferta e demanda que podem ser causados pelas mudanças climáticas em curso.³

Perdas na distribuição

Esse acréscimo de demanda representa um desafio grande, principalmente nas regiões em que há restrições significativas de oferta de água. Mas um problema adicional de grandes proporções é a questão das perdas de água na distribuição. Segundo o SNIS, o nível de perdas foi de 37,8% na média nacional em 2022, o que equivaleu a um desperdício de 7,062 bilhões de m³ de água tratada naquele ano. No cenário atual, marcado por recorrentes déficits hídricos em várias regiões do Brasil e forte crescimento da demanda, conter essas perdas se torna ainda mais urgente. Em 2023, essa situação não melhorou. Segundo dados do SINISA, a média de perda de água na distribuição no país foi de 40,3% em 2023, ou seja, para cada 100 litros de água captada e tratada, cerca de 40 litros não chegaram à população. Nesse ano, as perdas totais superaram a cifra de 7 bilhões de m³.

Em 2021, o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) editou a Portaria 490/2021 a qual estipulou a meta de atingimento do índice máximo de perdas na distribuição de 25%, ou de 216 litros por ligação/dia em perdas volumétricas, caso a parcela da média nacional seja inferior ao índice de 25%, até o biênio 2033-2034. Esse índice de 25% é considerado uma meta factível tendo em vista as limitações técnicas e econômicas de se reduzir

essa perda a zero.⁴ Com base nessa meta, o estudo do Instituto Trata Brasil (2024a) estimou que o volume de água economizado seria da ordem de 1,3 bilhão de m³, o que equivale ao consumo de cerca de 22 milhões de brasileiros em um ano, mais da metade da quantidade de habitantes sem acesso ao abastecimento de água em 2022. Dessa forma o estudo constatou que existe um potencial de ganhos brutos com a redução de perdas de água de R\$ 40,9 bilhões até 2034. Considerando os investimentos necessários para a redução de perdas, o benefício líquido gerado pela redução seria da ordem de R\$ 20,4 bilhões em 11 anos.

Com o nível atual de perdas, a demanda futura de água até 2050 necessitaria um crescimento de produção muito elevado. Considerando os **Cenários B e D**, o consumo adicional até 2050 será de 6,414 bilhões de m³, como argumentado anteriormente. Com o índice de perdas do ano de 2023, que foi de 40,3%, a produção necessária adicional de água seria de 10,672 bilhões de m³, o que equivale a um acréscimo de 59,3% em relação à produção do setor de saneamento em 2023 (GTA1001 do SINISA), que foi de 18,002 bilhões de m³.

Isso sugere fortemente que o suprimento da demanda futura incremental por água deva ser garantido, em boa parte, por um processo mais acelerado de racionalização e diminuição das perdas na distribuição. O que se desperdiçou de água tratada em 2023 (7,257 bilhões de m³) seria mais que o suficiente para suprir a demanda incremental (6,414 bilhões de m³), sem pressão extrativa adicional sobre os mananciais. Com desperdícios de 20%, a necessidade de produção de água cairia 2,726 bilhões de m³ em relação a que prevaleceria numa situação de manutenção das perdas em 40,3% da produção.

3 Outro tema recorrentemente citado entre os desafios do setor de saneamento é a questão do financiamento. Muito embora a escassez de crédito e as taxas de juros elevadas tenham efeitos nocivos sobre praticamente todos os tipos de investimento, esse aspecto pesa de forma mais intensa o setor de saneamento, principalmente nas cidades em que os operadores são de menor porte ou estão atrelados ao setor público municipal ou estadual. Nesses casos, a falta de escala e as limitações financeiras dos governos limitam de maneira substancial a tomada de recursos de dívida, o que torna inviável a expansão do setor. A esse respeito, ver estudo do Instituto Trata Brasil (2020).

4 O limite econômico é dado pelo volume a partir do qual os custos para reduzir as perdas são maiores do que o valor intrínseco dos volumes recuperados e o limite técnico é definido como o volume mínimo de perdas que pode ser obtido com as tecnologias atuais dos materiais, ferramentas, equipamentos e logística.

Mudanças climáticas

Outra questão importantíssima que surge nesse horizonte temporal de análise de mais de duas décadas é a das mudanças climáticas. Os relatórios do Fundo Verde para o Clima – GCF (2017) – e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014) dimensionam os desafios brasileiros para as próximas décadas em relação às mudanças climáticas. Essas mudanças envolvem o aumento na temperatura, variações de precipitação, risco de desabastecimento hídrico, aumento do nível do mar e transformações nos padrões climáticos como alguns dos principais impactos já identificados.

Ferreira Filho (2020) compilou alguns indicadores climáticos para os estados de São Paulo e do Ceará com base em dados extraídos do estudo de Xavier et al. (2018). Nesse estudo, os autores consolidaram as informações coletadas em 3.625 pluviômetros e 735 estações automáticas de medição climática no

período de 1980 a 2015. No que diz respeito ao Ceará, Ferreira Filho (2000) identificou a diminuição de chuvas de 53,9 mm por década entre 1980 e 2015 no Ceará, totalizando uma queda de 188,65 mm em mais de três décadas. Com relação às temperaturas, houve acréscimo de 1,33°C na temperatura máxima nesse período, assim como aumento de 0,73°C na temperatura mínima e 1,01°C na temperatura média. Em decorrência disso, a amplitude térmica também foi ampliada. No estado de São Paulo, de outro lado, houve queda de 70,7 mm referente ao volume médio de chuvas entre 1980 e 2015. No mesmo período, foi possível observar um aumento da temperatura máxima de 0,98°C, diminuição de 0,35°C na temperatura mínima e um aumento de 0,49°C na temperatura média, com consequente elevação da amplitude térmica.

Além dos dados extraídos de Xavier et. al. (2018), Ferreira Filho (2020) também cita algumas informa-



ções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas e de outros autores para as regiões Nordeste e Sudeste do país até 2070. A **Figura 5.2** resume as principais informações. Os estudos apontam para um aumento da temperatura do ar até 2070 em 1,5°C a 2,5°C no Nordeste, e 1,5°C a 2,0°C no Sudeste. De outro lado, espera-se uma diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva na região Nordeste e elevação entre 15% e 20% nos padrões de chuva no Sudeste do país. Alguns estudos apontam para o aumento de dias secos consecutivos tanto no Nordeste quanto no Sudeste e de alta probabilidade de haver um aumento da irregularidade na distribuição da precipitação ao longo do ano.

Mais recentemente, o relatório de mudanças climáticas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2022) indicou que a elevação contínua das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) têm provocado a aceleração do ritmo de aquecimento global. Além da análise das tendênci-

as passadas, o estudo traçou 5 cenários futuros até 2100. Na melhor das hipóteses, em que as emissões de GEE são bastante reduzidas, que significa ter emissões líquidas de CO₂ nulas até 2050, estima-se um aquecimento de 1,6°C entre os anos de 2041 e 2060, o qual deve chegar a 1,4°C entre os anos de 2081 e 2100. Na pior das hipóteses, situação em que as emissões de GEE são muito elevadas, o que significa triplicar os níveis atuais de emissões de CO₂ até 2075, estima-se um aquecimento de 2,4°C entre os anos de 2041 e 2060, o qual deve chegar a 4,4°C entre os anos de 2081 e 2100.

Os parâmetros do modelo econométrico de análise do clima apresentado no Anexo Metodológico do presente estudo indicam a tendência de elevação tanto da temperatura máxima quanto da temperatura mínima anual no Brasil até 2050, com aumento da amplitude térmica. A temperatura máxima deve se elevar em aproximadamente 1°C em relação ao verificado em 2023 e a temperatura mínima deve

Figura 5.2.
Projeções climáticas para o Sudeste e Nordeste

Atribuições analisadas	Tendências	
	Nordeste	Sudeste
Temperatura do ar até 2070	Aumento de 1,5°C a 2,5°C (PBMC, 2014a)	Aumento de 1,5°C a 2,0°C (PBMC, 2014a)
Precipitação	Diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva (PBMC, 2014a)	Aumento de 15% a 20% nos padrões de chuva (PBMC, 2014a)
Dias secos consecutivos até 2100	Aumento de dias secos consecutivos para mais de 30 dias (MARENGO et al, 2011)	Aumento de dias secos consecutivos (TORRES, 2016-2017)
Aumento da irregularidade na distribuição da precipitação ao longo do ano	Probabilidade alta (MARENGO et al, 2011; PBMC, 2014a)	Probabilidade alta (TORRES, 2016-2017; PBMC, 2014a)

Fonte: Ferreira Filho (2020).

crescer 0,47°C, indicando aumento da amplitude de 0,52°C até 2050. Outras tendências são a redução do número de dias de chuva e a ocorrência de precipitações mais fortes.

Riscos associados às mudanças e sua mitigação

Como visto no **Capítulo 2**, as temperaturas máxima e mínima observadas nas cidades afetam de forma decisiva o consumo residencial de água: quanto maior a temperatura máxima em uma cidade, maior o consumo per capita diário e quanto maior a temperatura mínima, menor a demanda por habitante, indicando que uma queda da temperatura mínima deve elevar o consumo. Nesse sentido, o aumento da amplitude térmica tem como efeito implícito o aumento do consumo per capita.

Tomando por base essa tendência e os parâmetros da equação de demanda, as mudanças climáticas deverão elevar ainda mais o consumo per capita de água das famílias brasileiras. Devido aos aumentos de temperatura, o consumo deve crescer 12,4% adicionalmente ao que deve crescer em razão dos fatores econômicos. Isso resultaria numa demanda incremental de 2,113 bilhões de m³ por ano e uma quantidade necessária de produção de mais 3,515 bilhões de m³ por ano (mantendo o nível de perdas na distribuição de 2023). **Isso indica desafios ainda maiores que os decorrentes da expansão demográfica e econômica em razão das mudanças climáticas em curso.**

Mas além do aumento de consumo, deve-se observar que as mudanças climáticas projetadas até 2050 poderão desequilibrar o balanço entre oferta e demanda de água em razão de outros fatores. O aumento das temperaturas e a perspectiva de redução dos dias de chuva devem levar várias regiões do país à desertificação e ampliar a área do semiárido brasileiro, que reúne municípios mais secos e com maior dificuldade de suprir a demanda. Nas regiões que hoje são mais secas, o aquecimento poderá implicar a quebra na oferta com elevada probabilidade.

Na média das cidades brasileiras, as tendências climáticas indicam restrição de oferta de 3,4% na

média do ano. Isso indica que haverá na média do país cerca 12 dias de racionamento de água por ano. Onde a precipitação média e o número de dias de chuva já são menores – partes do Nordeste e do Centro-Oeste, por exemplo – espera-se que a duração do racionamento superará 30 dias sem água, fato com consequências graves para a saúde e a qualidade de vida da população. Vale observar que os 30 dias sem água, na prática significa um tempo maior de restrições no abastecimento, visto que as políticas de contingenciamento são feitas com rodízios; por exemplo, um dia com água e dois sem. Nesse último caso, o racionamento poderá durar três meses ou mais.

O estudo do Instituto Trata Brasil (2024b) analisou os efeitos das mudanças climáticas para o setor de saneamento básico. O estudo utilizou como base os modelos de cenário climático centralizados no CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*) que é um projeto internacional de modelagem climática. Dentre os cenários apresentados no estudo do IPCC (2022) foi escolhido para o trabalho de riscos o cenário em que as emissões de CO₂ dobram até 2100, elevando a temperatura média mundial em 2,1°C entre 2041-2060 e 3,6°C entre 2081-2100. O período de análise do estudo abrangeu a trajetória histórica de 1895 a 1994, a trajetória histórica recente de 1995 a 2014 e as projeções climáticas para o período de 2030 (2021 a 2040) e 2050 (2041 a 2060).

O estudo analisou três ameaças climáticas relacionadas aos riscos materiais ao setor de saneamento: tempestades, ondas de calor e secas. A modelagem climática combinou o cenário climático com uma série de indicadores de exposição ao risco e vulnerabilidade dos municípios brasileiros de forma a criar um indicador de risco que varia de 0 a 1 que aponte os níveis de exposição de muito baixo a muito alto.

Para o sistema de abastecimento de água, o estudo do Instituto Trata Brasil (2024b), encontrou 16 impactos, sendo 6 para a ameaça de ondas de calor, 6 para secas meteorológicas e 4 para tempestades. Esses impactos ocorrem em todas as etapas da operação de abastecimento de água,

partindo do manancial, passando pelo tratamento da água em ETA e finalizando na distribuição. Em resumo:

- As **ondas de calor** provocam redução do volume de água e aumento na concentração de poluentes nos mananciais, trazem danos na infraestrutura e sobrecarga nos equipamentos, elevam a demanda por energia nas estações de tratamento de água, aumentam a probabilidade de contaminação e propagação de doenças e aumentam o consumo de água.
- As **secas** provocam aumento na concentração de poluentes nos mananciais, aumento da demanda por águas subterrâneas e conflito de uso dos recursos hídricos. Nas estações de tratamento de água, as secas levam a um aumento de custos de produção e à redução da eficiência no tratamento. Por

fim, na fase de distribuição, as secas devem provocar racionamento e uso de fontes alternativas.

- Já as **tempestades** levam ao aumento do acúmulo de sedimentos nos mananciais, reduzindo a capacidade de armazenamento e dificultando o tratamento de água. Nas estações de tratamento de água, as tempestades trazem danos físicos às estruturas e bloqueios ao transporte de água. Durante os períodos de tempestade também se espera a redução da eficiência do tratamento, pois nesses períodos os fluxos de água ficam acima da capacidade projetada e há, em geral, interrupções de energia elétrica, o que afeta o funcionamento das estações.

O estudo também trouxe a classificação do risco de cada uma dessas ameaças climáticas em cada etapa da operação de saneamento por município



brasileiro. As principais conclusões dos impactos das ameaças climáticas para o abastecimento de água no Brasil foram:

- Espera-se um **risco elevado de tempestades** afetando os mananciais nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e Goiás;
- Foi identificado um **alto risco de tempestade** afetando a operação das estações de tratamento de água nos estados de Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás e Pará;
- Espera-se que as **ondas de calor terão alto risco** de afetar os mananciais no interior de São Paulo, sudoeste de Minas Gerais, região litorânea de Pernambuco e alguns municípios dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Acre e Amazonas;
- Espera-se que as **ondas de calor terão alto risco** de afetar a operação das estações de tratamento em regiões como Amazonas, sul do Mato Grosso do Sul, noroeste do Paraná, oeste de São Paulo, Rio Grande do Norte e Ceará;
- Espera-se **risco médio de ondas de calor** afetando o consumo de água nas seguintes regiões: São Paulo, Espírito Santo e regiões de Minas Gerais e Rio de Janeiro, grande parte do litoral do Nordeste e em áreas de estados do Sul, como Paraná e Santa Catarina; e
- Esperam-se **secas com risco alto** para a operação das estações de tratamento de água na região nordeste em especial no agreste e sertão nordestino.

Uma questão que decorre naturalmente da constatação das mudanças climáticas e seus riscos é identificar que ações estão em curso no setor de saneamento para mitigar esses pontos. O estudo de Ferreira Filho (2020) sobre o setor de saneamento

básico dos estados de São Paulo e do Ceará – que incluiu a análise das companhias estaduais de cada estado e as agências reguladoras estaduais – trabalhou essa questão. O estudo concluiu, por meio da análise das entrevistas realizadas com funcionários das companhias e das agências, que os agentes envolvidos observavam o fenômeno das mudanças climáticas como algo concreto e inexorável. Contudo, o estudo identificou que os cenários climáticos para o futuro eram pouco considerados quando se tinha em mente o planejamento da expansão e a manutenção das operações de saneamento básico nesses dois estados.

Segundo Ferreira Filho (2020), a demanda hídrica era uma preocupação iminente do setor de saneamento dos dois estados, ao ponto de ser elencada como impacto prioritário ao se considerar também as alterações do clima, como já ocorreram em outras décadas. A estiagem de 2012 a 2018 em parte do Nordeste foi considerada a mais longa pelo setor de saneamento da região, com danos à demanda hídrica e ao sistema sanitário dos centros urbanos e rurais. Já a estiagem de 2013 a 2015 no Sudeste, sobretudo em São Paulo, foi apontada pelo setor de saneamento básico como a estiagem mais duradoura na região.

Ferreira Filho (2020) identificou que os agentes reconhecem que os eventos climáticos extremos tendem a se repetir no futuro. Mas a incerteza dos impactos climáticos no futuro ainda era um indicador de resistência dentro do setor de saneamento básico, que aparentava estar pouco preparado para enfrentar esses novos eventos climáticos extremos, principalmente aqueles relacionados à seca. O grupo de profissionais entrevistados por Ferreira Filho (2020) indicou que os principais impactos das mudanças climáticas seriam: (i) risco de desabastecimento de água nas cidades; (ii) a necessidade de buscar novas fontes de água; e (iii) aumentar o valor da tarifa de água para amortizar os investimentos. Além disso, os profissionais entrevistados na ocasião indicaram os seguintes impactos gerais relacionados aos eventos climáticos extremos (secas e cheias): (i) danos às infraestruturas

hídricas pelo volume baixo dos reservatórios em épocas de estiagens; (ii) impacto das cheias nos sistemas de esgotamento sanitário (ETEs); e (iii) impacto aos sistemas sanitários devido às ligações irregulares da rede pluvial à rede de esgoto.

Ferreira Filho (2020) também buscou compreender como as mudanças climáticas transformaram a busca pela oferta hídrica. Observou-se que em São Paulo e Ceará, as obras de infraestrutura cinza foram priorizadas durante os eventos climáticos extremos de seca ocorridos na década de 2010. Essas obras envolveram interligações de reservatórios ou açudes, construção e reparação de novas adutoras, ampliação dos sistemas de abastecimento de água, estudos sobre plantas de reuso de água para fins que não o consumo humano e estudos para a instalação de planta de dessalinização da água do mar, como estava sendo pensado para a Região Metropolitana de Fortaleza.

É importante destacar que, como observado por Ferreira Filho (2020), as obras aconteceram durante os momentos da ocorrência dos eventos climáticos extremos, os quais foram sentidos de forma severa pelo setor de saneamento básico. Isto indica que os modos de repensar a oferta foram precipitados quando os estados sofreram severamente com o impacto provocado pelas mudanças climáticas, e não de forma antecipada às crises.

Como recomendações para o setor de saneamento básico, frente às mudanças climáticas e o impacto na demanda e oferta hídrica, Ferreira Filho (2020) lançou mão dos seguintes pontos:

- i) Compreender as vulnerabilidades causadas pelas mudanças climáticas nos territórios de operação dos serviços de água e esgoto;
- ii) Incluir nos planejamentos de operação e investimentos o histórico de variabilidade climática das últimas décadas disponível para que haja compreensão dos impactos causados pelos eventos climáticos extremos do passado;
- iii) Incluir a variável climática nos investimentos necessários, em termos de recursos financeiros, das operações dos sistemas de saneamento básico;
- iv) Incluir as projeções climáticas sobre cenários futuros para que as operações não sejam afetadas; e
- v) Garantir que os investimentos pelas companhias de saneamento sejam alocados para a resiliência do abastecimento de água para consumo humano, manutenção dos sistemas de operação e ampliação da coleta e tratamento de esgoto.

Em seu estudo, Ferreira Filho (2020) também destacou as recomendações dispostas na literatura de adoção de modelos alternativos de abastecimento de água. Entre esses modelos, destacam-se **as tecnologias descentralizadas de ofertas de água e a infraestrutura verde, modelos em que se privilegia a recuperação dos ecossistemas para se tornarem fontes de abastecimento de água para a população.**



BIBLIOGRAFIA

ARBUÉS, F., GARCÍA-VALIÑAS, M.A. e MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics*, vol 32, p. 81–102, 2003.

BABEL, M.S., DAS GUPTA, A. e PRADHAN, P. A multivariate econometric approach for domestic water demand modeling: An application to Kathmandu, Nepal. *Water Resource Management*, vol 21, p.573–589, 2007.

CORRAL, L., FISHER, A. C. e HATCH, N. W. *Price and non-price influences on water Conservation: an econometric model of aggregate demand under nonlinear budget constrain*. Department of Agricultural and Resource Economics, UCB, UC Berkeley, 1999.

ESPEY, M., ESPEY, J. e SHAW, W.D. Price elasticity of residential demand for water: A meta-analysis. *Water Resource Research*, vol 33, n 6, p. 1369–1374, 1997.

FERREIRA FILHO, R. A. *Mudanças Climáticas e o Acesso à Água e Esgotamento Sanitário – Desafios e Oportunidades para os Estados do Ceará e São Paulo, Brasil*. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Contas Municipais, de 2002 a 2021*. Rio de Janeiro, vários anos.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Contas econômicas e ambientais da água: Brasil, 2018 a 2020*. Rio de Janeiro, 2023.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Projeção da População, revisão 2024*. Rio de Janeiro, 2024.

GIVISIEZ, G. H. N.; OLIVEIRA, E. L. *Demanda futura por moradias: demografia, habitação e mercado*. Niterói, RJ: UFF, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Séries históricas de medição da umidade relativa do ar*. Brasília, 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Cenário para investimentos em saneamento no Brasil após a aprovação do novo marco legal*. São Paulo, 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Perdas de água 2024: Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*, São Paulo, 2024a.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *As Mudanças Climáticas no Setor de Saneamento: Como tempestades, secas e ondas de calor impactam o consumo de água?* São Paulo, 2024b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros SS, Gheyi HR, Galvão CO, Paz VPS, organizadores. *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido*; p.384-422. 2011.

MEYER, S.C., DZIEGIELEWSKI, B., ZHANG, Z., ABRAMS, D. e KELLY, W.R. *Water demand in the Rock River water supply planning region, 2010-2060*. Illinois State Water Survey. Prairie Research Institute University of Illinois at Urbana-Champaign. 2019.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico*. Brasília, 2025.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. Brasília, 2023.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas* [T. Ambrizzi, & M. Araújo, (Orgs.)]. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.

SCHLEICH, J. e HILLENBRAND, T. Determinants of water demand in Germany. *Ecological Economics*, vol 68, p.1756-1769, 2009.

TORRES, R. R. Qual é o conhecimento disponível hoje e quais informações ainda faltam para São Paulo. Dezembro/2016. In: DI GIULIO, G. M. et al. *Relatório Técnico-Científico Workshop Mudanças climáticas e o processo decisório na megacidade de São Paulo: análise das discussões promovidas, 2016-2017*.

WENTZ, E.A. e GOBER, P. Determinants of Small-Area Water Consumption for the City of Phoenix, Arizona. *Water Resource Management*, vol 21, p. 1849–1863, 2007.

WOOLDRIDGE, W. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. Editora Thompson, São Paulo, 2006.

XAVIER, A. C. et al. An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Campinas, GALOÃ, 2018.

XAVIER, A. C. et al. *Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013)*. Int. J Climatol 36: 2644-2659. 2015.

Anexo metodológico

Anexo 1

Tabela A.1.

Parâmetros do modelo econométrico de análise do clima, Brasil, 2000 a 2024

	Coeficiente	Erro padrão	z	p(z)	Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Temperatura mínima						
Tendência	0,01724	0,00135	12,82000	0,00%	0,01461	0,01988
Latitude	0,29883	0,00120	248,96000	0,00%	0,29648	0,30118
Longitude	-0,01217	0,00129	-9,47000	0,00%	-0,01469	-0,00965
Altitude	-0,00095	0,00003	-31,94000	0,00%	-0,00101	-0,00089
Temperatura média						
Tendência	0,02573	0,00143	18,03000	0,00%	0,02293	0,02853
Latitude	0,30497	0,00127	240,33000	0,00%	0,30249	0,30746
Longitude	0,01419	0,00133	10,64000	0,00%	0,01157	0,01680
Altitude	0,00000	0,00003	-0,04000	96,70%	-0,00006	0,00006
Temperatura máxima						
Tendência	0,03665	0,00159	23,06000	0,00%	0,03354	0,03977
Latitude	0,29376	0,00141	208,35000	0,00%	0,29100	0,29653
Longitude	0,03395	0,00151	22,56000	0,00%	0,03100	0,03690
Altitude	0,00098	0,00004	27,77000	0,00%	0,00091	0,00105
Precipitação média						
Tendência	-0,08256	0,05994	-1,38000	16,80%	-0,20005	0,03493
Latitude	0,75713	0,05298	14,29000	0,00%	0,65328	0,86097
Longitude	-3,85852	0,05661	-68,16000	0,00%	-3,96947	-3,74757
Altitude	-0,00839	0,00133	-6,33000	0,00%	-0,01099	-0,00579
Dias de chuva						
Tendência	-0,04630	0,00382	-12,13000	0,00%	-0,05379	-0,03882
Latitude	0,06617	0,00344	19,22000	0,00%	0,05942	0,07292
Longitude	-0,19079	0,00365	-52,34000	0,00%	-0,19793	-0,18364
Altitude	-0,00149	0,00009	-17,35000	0,00%	-0,00165	-0,00132
Umidade relativa do ar						
Tendência	-0,09383	0,00663	-14,15000	0,00%	-0,10682	-0,08083
Latitude	-0,07723	0,00591	-13,07000	0,00%	-0,08881	-0,06565
Longitude	-0,44037	0,00610	-72,20000	0,00%	-0,45232	-0,42841
Altitude	-0,00910	0,00015	-61,22000	0,00%	-0,00939	-0,00881

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Anexo 2. Estimativas das taxas de poupança e investimento

As estimativas de taxa de poupança / investimento municipal levaram em consideração três bases de dados:

- Contas Nacionais de 2008 a 2023
- Contas Municipais de 2008 a 2021
- Relatório Anual de Indicadores Sociais (RAIS), do Ministério do Trabalho

A formação bruta de capital fixo do Brasil foi decomposta por município por meio de suas três principais componentes: (i) investimentos em obras (construção); (ii) investimentos máquinas e equipamentos; (iii) softwares e patentes; e (iv) formação de florestas e rebanhos. O valor nacional de cada uma dessas quatro componentes do investimento foi distribuído entre os municípios empregando como fatores:

- peso por município na construção civil em cada cidade, por meio da folha de pagamentos de trabalhadores formais da construção em cada ano;
- peso por município na folha de pagamentos de instalações industriais (para distribuir valor investido em máquinas e equipamentos);
- peso por município no setor de TI e de projetos de engenharia e arquitetura, testes laboratoriais, atividades de P&D e consultorias, por meio da folha de pagamentos de trabalhadores formais desses setores em cada ano; e
- peso por município na agropecuária em cada cidade, por meio da folha de pagamentos de trabalhadores formais em cada ano.

A taxa de poupança / investimento é a razão entre a soma dessas três componentes da formação bruta de capital fixo em cada cidade pelo PIB médio do período de 2008 a 2023 das cidades brasileiras.

Anexo 3. Estimativas da intensidade tecnológica

As estimativas do índice de tecnologia levaram em consideração o Relatório Anual de Indicadores Sociais (RAIS), do Ministério do Trabalho. Para cada cidade e ano da análise, foram levantadas as folhas de pagamentos dos setores de 'Atividades dos serviços de tecnologia da informação', 'Tratamento de dados, hospedagem na internet e outras atividades relacionadas', 'Atividades de consultoria em gestão empresarial', 'Serviços de arquitetura e engenharia e atividades técnicas relacionadas', 'Testes e análises técnicas', 'Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciências físicas e naturais', 'Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciências sociais e humanas', 'Pesquisas de mercado e de opinião pública'. A variável de intensidade tecnológica foi então definida como o peso por município da folha de pagamentos desses setores no total dos salários pagos em cada municípios a cada ano.

