

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA



| Relatório Final - Volume 2 |
Hidrogeologia dos Sistemas
Aquíferos da Região de Belém/PA
Tomo II: Impactos da Urbanização
nas Águas Subterrâneas

República Federativa do Brasil

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente

Edson Duarte

Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira - Diretora-Presidente

Ricardo Medeiros de Andrade

Ney Maranhão

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Marcelo Cruz

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Tibério Magalhães Pinheiro (Superintendente)

Victor Sucupira (Superintendente Adjunto)

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Fernando Roberto de Oliveira (Coordenador)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabrcio Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto do Contrato)

Mrcia Tereza Pantoja Gaspar (Gestora do Contrato)

© 2018 Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Capa: Vanessa Cardoso
Local da Foto: Theatro da Paz – Belém/PA
Autor da fotografia: Cristiano Cantão

Equipe:

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)	Leonardo de Almeida (ANA)	
Márcia Helena D’Oliveira Nascimento (SEMAS/PA)	Juvenal Andrade Neto (SEMAS/PA)	Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)
Homero Reis de Melo Junior (CPRM)	Manoel Imbiriba Junior (CPRM)	Valmor José Freddo Filho (CPRM)
Raimundo Nonato do Espírito Santo (UFPA/IG)	Ronaldo Lopes Mendes (UFPA/NUMA)	Giovanni Chaves Penner (UFPA/ITEC)
Wanderley Nascimento da Silva (COSANPA)	Alessandra Machado Noronha (AMAE)	Hélida Gonçalves Soares (SEMMA Belém)
Edivan de Jesus Souza (SEMMA Marituba)	Fernando Monteiro da Silva (SEMMA Marituba)	Rosângela Maria L. da Rocha (SEMMA Marituba)
Alexsandra Christine Borges de Queiroz (SEMMA Marituba)	Ricelly Luciana Luz Maia do Rosário (SEMMA Santa Izabel do Pará)	Carla Marques de Oliveira (SEMMA Santa Bárbara do Pará)

Elaboração e Execução – PROFILL Engenharia e Ambiente S.A.

Mauro Jungblut – Coordenação Geral
Cíntia Letícia Sallet – Gerente de Projetos

Membros da Equipe Técnica Executora:

Flávio de Paula e Silva e Tiago Vier Fischer – Coordenação Técnica		
Antônio Flavio Uberti Costa	Antônio Silvio Jornada Krebs	Ana Luiza Helfer
Carla Gasparini	Carlos Bortoli	Daniel Wiegand
Guilherme Joaquim	Igor Alves	Isabel Rekowsky
Marcia Regina Stradioto	Neomar Oliveira Fraga	Rodrigo Tusi Costa
Sidnei Agra		

Agradecimentos

Agradecemos a todos os colaboradores e usuários de recursos hídricos que direta ou indiretamente contribuíram com a elaboração deste trabalho.

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

A265e Agência Nacional de Águas (Brasil).
Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da
Região de Belém/PA: Relatório Final / Agência Nacional de Águas;
Elaboração e Execução: Profill Engenharia e Ambiente S.A – Brasília: ANA,
2018.

79 p. il.

Conteúdo: v.1. Diagnóstico do meio físico da região de Belém/PA – v. 2,
t 1. Hidrogeologia dos sistemas aquíferos da região de Belém/PA: Resultados
em hidrogeologia – v. 2, t. 2. Hidrogeologia dos sistemas aquíferos da região
de Belém/PA: Impactos da urbanização nas águas subterrâneas – v. 3. Plano
de gestão para as águas subterrâneas da região de Belém/PA.

1. Hidrogeologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Belém, Região metropolitana
de (PA). I. Título

CDU 556.3

APRESENTAÇÃO

O Relatório Final dos “*Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA*” apresenta os resultados do projeto desenvolvido no âmbito do Contrato nº 039/2016/ANA, adjudicado pela Agência Nacional de Águas (ANA) à Empresa Profill Engenharia e Ambiente S.A., em agosto de 2016.

Os estudos realizados estão compilados neste Relatório Final, Resumo Executivo, complementados por relatórios técnicos temáticos sobre os dados gerados no projeto, definidos a partir do Termo de Referência elaborado pela ANA e órgão gestor do Estado do Pará. O estudo contempla a ampliação do conhecimento acerca dos aquíferos nos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Izabel do Pará e Santa Bárbara do Pará, numa área de 2.536 km² (Figura 1).

O estudo foi desenvolvido seguindo nove etapas metodológicas:

Etapa I: Mobilização, Planejamento e Detalhamento das Ações Previstas: consolidação do Plano de Trabalho e coleta de dados disponíveis sobre a área de estudo, além de reunião de apresentação da equipe e definição de diretrizes e procedimentos.

Etapa II: Levantamento, Sistematização e Interpretação de Dados Existentes: busca por dados secundários, visando à avaliação e obtenção do conhecimento técnico existente na área de estudo, incluindo Geologia, Hidrogeologia, Hidroquímica, entre outros.

Etapa III: Avaliação do Meio Físico: realização dos levantamentos de campo programados com base nas fases antecedentes (etapas I e II).

Etapa IV: Levantamento Hidrogeológico: cadastramento de pontos d'água e fontes potenciais de poluição, detalhamento dos estudos climatológicos e avaliação hidrológica. Realização de ensaios de infiltração, testes de aquíferos e eleição da rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, com duas campanhas de coleta de amostras d'água para análise físico-química.

Etapa V: Avaliação Hidrogeológica: elaboração do mapa hidrogeológico e do modelo hidrogeológico conceitual para a área de estudo.

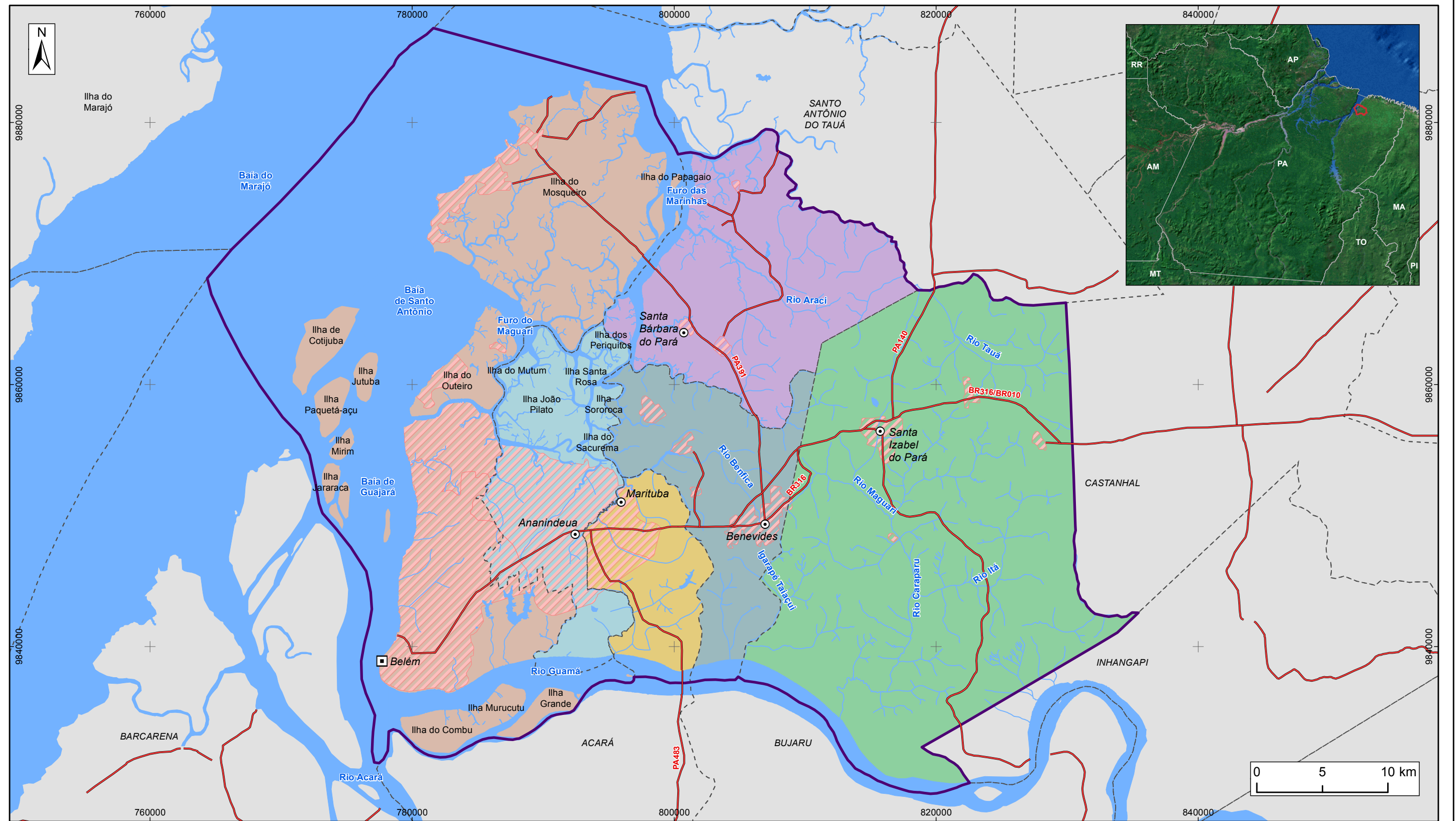
Etapa VI: Avaliação da Recarga, Reservas, Potencialidades, Disponibilidades e Exploração da Água Subterrânea: eleição e aplicação de metodologia para avaliação, a partir das características naturais e da urbanização, e cálculo do balanço hídrico.

Etapa VII: Avaliação das Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas: quantificação da exploração de água subterrânea e da recarga urbana pela infiltração de efluentes domésticos, vazamentos nas tubulações de abastecimento e fugas na rede de esgotos nos cenários atual e futuro e elaboração do balanço hidrogeológico.

Etapa VIII: Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos e Perigo de Contaminação: proposição das zonas com maiores potencialidades para contaminação dos aquíferos.

Etapa IX: Proposta de Estratégias de Gestão de Águas Subterrâneas: identificação dos pontos de maior sensibilidade hidrogeológica e proposição de estratégias para a elaboração de um modelo de gestão das águas subterrâneas na área de estudo.

O projeto teve a supervisão da Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF), composta por representantes de órgãos públicos dedicados ao conhecimento, distribuição e autorização de uso das águas subterrâneas na área de estudo. O estudo está orientado pelo ANEXO I - Projeto Básico, junto à documentação da Concorrência Nº 05/ANA/2015.



LEGENDA

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| □ Capital Estadual | Município |
| ⊙ Sede Municipal | ■ Ananindeua |
| ~ Hidrografia | ■ Belém |
| — Rodovia | ■ Benevides |
| ☁ Massa d'água | ■ Marituba |
| ⊕ Área de Estudo | ■ Santa Bárbara do Pará |
| ▨ Área urbana | ■ Santa Izabel do Pará |
| - - - Limite municipal | |

Figura 1 – Localização da área de estudo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE
Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_1_Mapa_Localizacao_A3
Escala:	1:290.000

Neste **Relatório Final** apresenta-se a consolidação dos estudos, estruturado em 14 capítulos, apresentado em três volumes, sendo o segundo subdividido em dois tomos. O produto final inclui ainda o Resumo Executivo, Relatórios Técnicos Temáticos (Impactos da Urbanização, Hidrogeoquímica, Geofísica, Testes de Aquífero e Ensaio de Infiltração), e um banco de dados (SIGBEL), que consiste no sistema de informações geográficas dos estudos que reúne mapas, relatórios, planilhas e toda a base de dados dos estudos.

O **Relatório Final** está estruturado conforme descrito a seguir:

VOLUME 1 – DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Capítulo 1 – Introdução

Capítulo 2 – Área de Estudo

Capítulo 3 – Levantamento de Dados Primários e Secundários

Capítulo 4 – Banco de Dados

Capítulo 5 – Aspectos Socioeconômicos

Capítulo 6 – Caracterização do Meio Físico

VOLUME 2 – HIDROGEOLOGIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

TOMO I: RESULTADOS EM HIDROGEOLOGIA

Capítulo 7 – Avaliação Hidrogeológica

Capítulo 8 – Caracterização Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas

TOMO II: IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Capítulo 9 – Impactos da Urbanização nas Águas Subterrâneas no Cenário Atual

Capítulo 10 – Impactos da Urbanização nas Águas Subterrâneas em um Cenário Tendencial

Capítulo 11 – Balanço Hidrogeológico

VOLUME 3 – PLANO DE GESTÃO PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Capítulo 12 – Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas

Capítulo 13 – Proposta de Plano de Gestão das Águas Subterrâneas

Capítulo 14 – Seminários de Gestão Participativa

Ao final de cada volume, estão listadas as referências bibliográficas citadas ao longo do texto ou utilizadas para consulta. Este caderno constitui o **Tomo II do Volume 2** do Relatório Final que inclui os **capítulos 9, 10 e 11**.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo	4
Figura 2 – Esquema metodológico utilizado para a estimativa da água explotada dos mananciais subterrâneos e das perdas dos sistemas públicos na distribuição de água.	12
Figura 3 – Índice de atendimento total de água. Fonte: SNIS (2011, 2012, 2015) e COSANPA (2018).	13
Figura 4 – Índice de perdas na distribuição de água. Fonte: SNIS (2011, 2012, 2015) e COSANPA (2018).	14
Figura 5 – Captação de água no rio Guamá para reforço dos lagos Água Preta e Bolonha.	15
Figura 6 – Lago Água Preta. Fonte: Portal ORM	16
Figura 7 – Lago Bolonha.	16
Figura 8 – ETA Bolonha.	17
Figura 9 – ETA Bolonha.	17
Figura 10 – Reservatório São Brás.	18
Figura 11 – ETA e Reservatório Elevado 5º Setor.	18
Figura 12 – Sistema Isolado Sideral (Belém), composto por três poços profundos. Fonte: COSANPA.	19
Figura 13 – Sistema Isolado Mata Fome I (Belém), composto por um poço profundo. Fonte: PMB (2014).	19
Figura 14 – Sistema Isolado Sabiá, em Ananindeua, composto por dois poços profundos. Fonte: COSANPA.	20
Figura 15 – Estimativa da participação dos mananciais superficiais e subterrâneos na produção dos sistemas públicos de abastecimento de água, por município.	21
Figura 16 – Estimativa da demanda superficial e subterrânea da população não atendida por sistema público de abastecimento de água, por município.	23
Figura 17 – Localização das outorgas do setor industrial. Fonte: Cadastro de Outorgas (SEMAS/PA).	25
Figura 18 – Localização das outorgas de outros usuários. Fonte: Cadastro de Outorgas (SEMAS/PA).	26
Figura 19 – Estimativa da demanda superficial e subterrânea da indústria, por município.	27
Figura 20 – Estimativa da demanda superficial e subterrânea para outros usos, por município.	28
Figura 21 – Grau de dependência dos setores usuários em relação às águas subterrâneas na região de Belém.	30
Figura 22 – Demandas totais, demandas subterrâneas e relação entre demanda subterrânea na região de Belém.	31
Figura 23 – índice de coleta e tratamento de esgoto. Fonte: ANA (2017).	33
Figura 24 – ETE Sideral, em Belém. Fonte: Barbosa (2006).	34
Figura 25 – ETE Coqueiro, em Belém. Fonte: PMB (2014).	34

Figura 26 – ETE Vila da Barca, em Belém. Fonte: COSANPA.....	34
Figura 27 – Contaminação do solo e corpos hídricos devido à carência de saneamento básico na região de Belém.....	35
Figura 28 – Localização dos poços com valores de Nitrato acima do limite da Portaria nº 2914/2011 e densidade de empreendimentos com risco potencial de contaminação.	37
Figura 29 – Esquema metodológico utilizado para a estimativa do esgoto gerado e da recarga relativa à vazamentos na rede de coleta e infiltração através de soluções individuais.....	38
Figura 30 – Taxa de permeabilidade, por setor censitário nas áreas edificadas urbanas na Região de Belém.....	43
Figura 31 – Distribuição da recarga na região de Belém antes e após a impermeabilização do solo.	44
Figura 32 – Perdas físicas na rede de distribuição de água para abastecimento público.....	45
Figura 33 – Perdas na rede coletora de esgoto e infiltração em decorrência da utilização de alternativas individuais de tratamento do esgoto <i>in situ</i>	47
Figura 34 – Evolução e Projeção do VAB Industrial, por município.	52
Figura 35 – Projeção da população atendida por sistema público de abastecimento, por município. .	54
Figura 36 – Projeção da população não atendida por sistema público de abastecimento, por município	55
Figura 37 – Projeção da quantidade de água a ser produzida pelos sistemas públicos de abastecimento	56
Figura 38 – Projeção das perdas nos sistemas público de abastecimento	57
Figura 39 – Projeção da demanda hídrica para a população não atendida por sistema público.	58
Figura 40 – Projeção da participação de mananciais subterrâneos na produção de água para abastecimento público.....	59
Figura 41 – Projeção da demanda hídrica subterrânea para a população não atendida por sistema público de abastecimento.....	60
Figura 42 – Projeção da demanda hídrica da indústria.	61
Figura 43 – Projeção da demanda hídrica de outros usuários.	62
Figura 44 – Projeção da demanda hídrica subterrânea da indústria.	63
Figura 45 – Projeção da demanda hídrica subterrânea de outros usuários.	64
Figura 46 – Projeção do esgoto gerado	66
Figura 47 – Projeção da infiltração através das fossas e sumidouros.....	67
Figura 48 – Projeção da infiltração devido às perdas na rede de esgoto.....	68
Figura 49 – Projeção da recarga relativa ao esgotamento sanitário.	69
Figura 50 – Modelo esquemático das condições de equilíbrio do balanço hidrogeológico de um sistema aquífero. Condições iniciais de equilíbrio, passando a condições de desenvolvimento equilibrado a desequilibrado.	71
Figura 51 – Cenários de balanços hidrogeológicos dos municípios da região de Belém.	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores sobre os serviços e sistemas de abastecimento de água nos municípios da região de Belém.	13
Quadro 2 – Estimativa da produção total e perdas na distribuição dos sistemas públicos de abastecimento de água	21
Quadro 3 – Estimativa da demanda da população urbana e rural não atendida por sistema público de abastecimento de água	22
Quadro 4 – Estimativa da demanda total, superficial e subterrânea da população não atendida por sistema público de abastecimento de água	22
Quadro 5 – Número de processos e vazão outorgada para o setor industrial.	27
Quadro 6 – Número de processos e vazão outorgada para outros usuários.	28
Quadro 7 – Estimativa da demanda total de água nos municípios da área de estudo	29
Quadro 8 – Estimativa da demanda de água subterrânea nos municípios da área de estudo	29
Quadro 9 – Indicadores de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário	32
Quadro 10 – Informações sobre as ETEs do Município de Belém.	33
Quadro 11 – Produção e destinação final do esgoto doméstico de Belém e municípios adjacentes. .	39
Quadro 12 – Estimativa da recarga urbana relativa ao esgotamento sanitário de Belém e municípios adjacentes.	40
Quadro 13 – Aporte potencial de DBO ao aquífero Barreiras em Belém e municípios adjacentes	40
Quadro 14 – Aporte potencial de Nitrogênio ao aquífero Barreiras em Belém e municípios adjacentes	41
Quadro 15 – Aporte potencial de Fósforo ao aquífero Barreiras em Belém e municípios adjacentes .	41
Quadro 16 – Densidade habitacional e área impermeável	41
Quadro 17 – Recarga e poluentes associados	48
Quadro 18 – Evolução e projeção da população total, por município.	50
Quadro 19 – Taxas geométricas de crescimento da população total, por município.	51
Quadro 20 – Evolução e projeção do VAB Industrial, por município.	51
Quadro 21 – Índices de cobertura com abastecimento público de água adotados em cada horizonte temporal.....	53
Quadro 22 – Índices de perdas na rede de distribuição de água adotados em cada horizonte temporal.	53
Quadro 23 – Projeção da população atendida por sistema público de abastecimento, por município.	54
Quadro 24 – Projeção da população não atendida por sistema público de abastecimento, por município	55
Quadro 25 – Projeção da quantidade de água a ser produzida pelos sistemas públicos de abastecimento	56
Quadro 26 – Projeção das perdas nos sistemas público de abastecimento	57
Quadro 27 – Projeção da demanda hídrica para a população não atendida por sistema público.	58

Quadro 28 – Projeção da participação de mananciais subterrâneos na produção de água para abastecimento público.....	59
Quadro 29 – Projeção da demanda hídrica subterrânea para a população total não atendida por sistema público de abastecimento.....	60
Quadro 30 – Projeção da demanda hídrica da indústria.....	61
Quadro 31 – Projeção da demanda hídrica de outros usuários.	62
Quadro 32 – Projeção da demanda hídrica subterrânea da indústria.	63
Quadro 33 – Projeção da demanda hídrica subterrânea de outros usuários.....	64
Quadro 34 – Índices de coleta de esgoto adotados em cada horizonte temporal.....	65
Quadro 35 – Índices de utilização de práticas de saneamento <i>in situ</i> adotados em cada horizonte temporal.....	65
Quadro 36 – Índice da população sem qualquer tipo de solução para o esgoto adotados em cada horizonte temporal.....	65
Quadro 37 – Projeção do esgoto gerado.....	66
Quadro 38 – Projeção da infiltração através das soluções individuais.....	67
Quadro 39 – Projeção da infiltração devido às perdas na rede de esgoto.....	68
Quadro 40 – Projeção da recarga relativa ao esgotamento sanitário.....	69
Quadro 41 – Resumo do balanço hidrogeológico.....	74
Quadro 42 - Balanços hidrogeológicos dos municípios da região de Belém. Valores destacados em vermelho (negativos) indicam extração de água subterrânea maior do que a recarga.....	76

SUMÁRIO

9	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CENÁRIO ATUAL	11
9.1	AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	12
9.1.1	Abastecimento Humano.....	12
9.1.2	Indústria e Outros Usos.....	23
9.1.1	Síntese das Demandas.....	28
9.2	ATIVIDADES RELATIVAS AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO	32
9.3	ATIVIDADES RELATIVAS À DRENAGEM URBANA	41
9.4	RECARGA URBANA E SEUS IMPACTOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	45
10	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM CENÁRIO TENDENCIAL	50
10.1	AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	52
10.1.1	Abastecimento Humano.....	52
10.1.2	Indústria e Outros Usuários.....	61
10.1	ATIVIDADES RELATIVAS AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO	64
11	BALANÇO HIDROGEOLÓGICO	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

9 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CENÁRIO ATUAL

As atividades, infraestruturas e fatores físicos naturais existentes num aglomerado urbano podem provocar, influenciar ou potencializar um processo de degradação de um aquífero. As impermeabilizações dos terrenos diminuem a parcela de água que naturalmente infiltraria para recarregar o aquífero numa região. O adensamento de poços motivado pela crescente demanda de uma cidade, pode ser uma ameaça à quantidade, o qual, associado à diminuição da recarga pela impermeabilização, torna o cenário mais crítico. Em contrapartida, as fugas de água das redes de abastecimento contribuem com a recarga do aquífero, assim como os vazamentos das redes de esgoto e a infiltração das fossas e sumidouros (ANA, 2012).

A recarga urbana representa uma parcela de entrada de água no aquífero, situada na área de influência da urbanização, cuja origem é decorrente das ações antrópicas e dos modelos de uso e ocupação do solo (ANA, 2012). Dentre as componentes da recarga urbana avaliadas, estão: a quantidade de água que infiltra indiretamente no aquífero proveniente dos vazamentos nas redes de distribuição de água, vazamentos nas redes de esgoto e através da infiltração das fossas e sumidouros. Considerou-se também como descarga urbana, a quantidade de água que deixa de infiltrar devido a impermeabilização do solo nas áreas urbanas.

Em relação à exploração das águas subterrâneas nas áreas urbanas da região de Belém, foram levantados, sistematizados e avaliadas as demandas, em especial, para o abastecimento humano, industrial e outros usuários outorgados. Além disso, foi avaliada a eficiência dos sistemas de abastecimento de água no que tange às captações, produção e distribuição, o que permitiu quantificar as perdas físicas dos sistemas.

Dessa forma, os estudos pormenorizados apresentados na sequência, permitiram estimar os volumes explorados dos aquíferos nas áreas urbanas e os volumes de contribuição de cada componente da recarga urbana e avaliar os possíveis impactos dessa recarga no aquífero Barreiras.

9.1 AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A avaliação da exploração das águas subterrâneas nas áreas urbanas da região de Belém foi realizada considerando os seguintes usos: abastecimento humano, industrial e outros usos. Para o abastecimento humano foi realizada uma caracterização dos sistemas públicos de abastecimento existentes, com enfoque nas captações, produção de água e nas perdas físicas na rede de distribuição de água. A Figura 2 apresenta o esquema metodológico adotado nas análises dessas componentes.

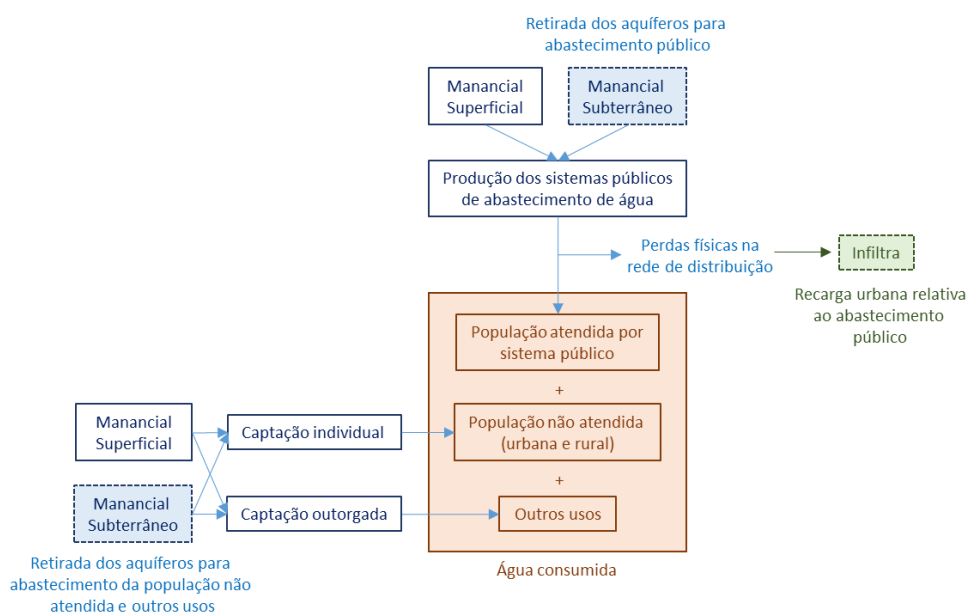


Figura 2 – Esquema metodológico utilizado para a estimativa da água explorada dos mananciais subterrâneos e das perdas dos sistemas públicos na distribuição de água.

9.1.1 Abastecimento Humano

Em Belém, Ananindeua e Marituba os sistemas públicos de abastecimento de água são operados pela COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará. Em Benevides e Santa Bárbara do Pará, os sistemas são operados pela prefeitura e em Santa Izabel do Pará, pelo SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgotos.

Os indicadores sobre os sistemas de abastecimento de água da região de Belém (Quadro 1) foram obtidos junto ao SNIS – Sistema Nacional de Informações em Saneamento, com exceção dos municípios atendidos pela COSANPA, cujos dados foram fornecidos pela Companhia. Cabe ressaltar que dados atualizados foram solicitados mediante ofício aos demais operadores, mas as informações não foram enviadas.

Quadro 1 – Indicadores sobre os serviços e sistemas de abastecimento de água nos municípios da região de Belém.

Município	População total (hab)	Consumo per capita de água (l/hab./dia)	Índice de atendimento total de água (%)	Índice de perdas na distribuição (%)	Índice de perdas no faturamento (%)
Ananindeua	516.057	270,0	33,3	48,9	42,7
Belém	1.452.275	220,0	90,1	40,8	31,9
Benevides	60.990	49,0	47,7	30,2	30,2
Marituba	127.858	190,0	22,2	48,7	37,7
Santa Bárbara do Pará	20.492	294,6	60,1	0,0*	100,0
Santa Izabel do Pará	68.836	106,8	62,1	50,5	50,5
Total	2.246.508				

Fonte: IBGE (2017); SNIS (2011, 2012, 2015) e COSANPA (2018).

* Valor não reflete a realidade operacional local. Substituído, no decorrer do trabalho, pela média do índice de perdas dos demais municípios da área de estudo (43,8%).

O índice de atendimento total de água tem como objetivo medir o percentual da população com acesso ao sistema público de abastecimento de água. Conforme pode-se observar na Figura 3, a cobertura dos sistemas públicos de abastecimento é extremamente baixa na região de Belém. A maioria dos municípios possuem índices mais baixos do que a média nacional (83,3%). Essa situação faz com que a população procure por fontes alternativas de abastecimento.

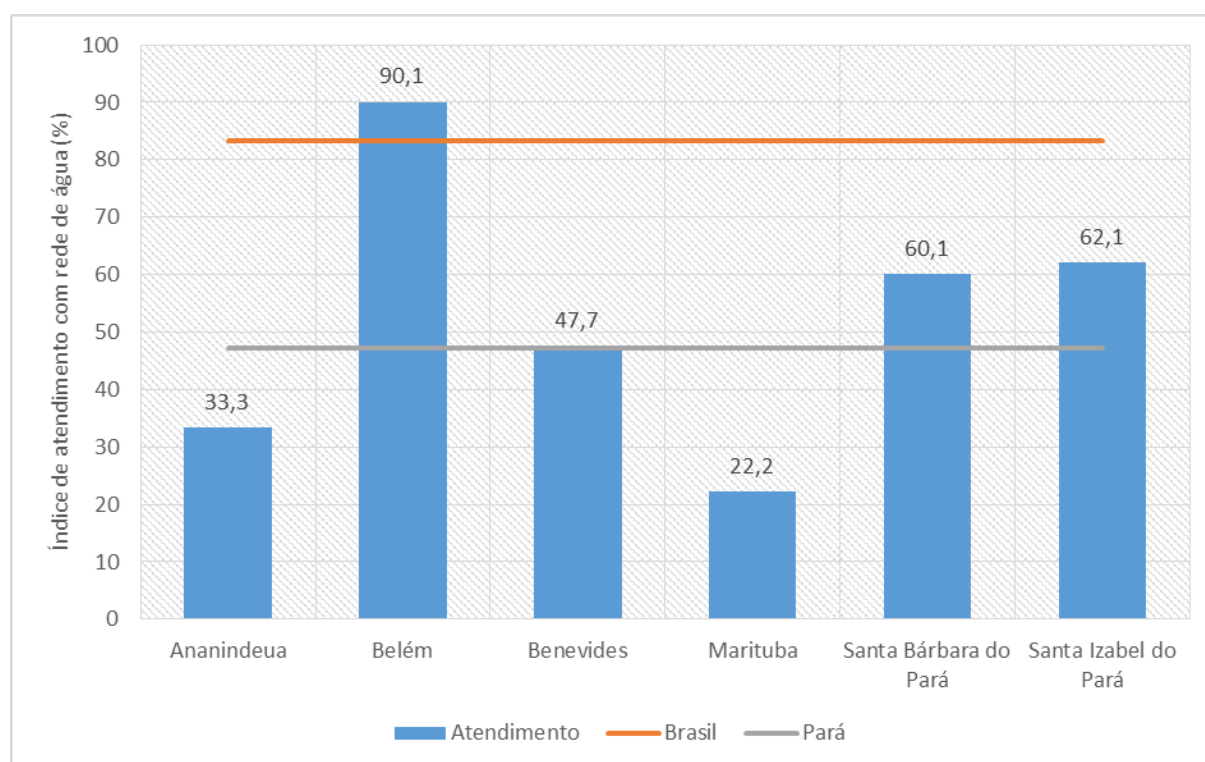


Figura 3 – Índice de atendimento total de água. Fonte: SNIS (2011, 2012, 2015) e COSANPA (2018).

Outro indicador relevante, no que diz respeito aos sistemas de abastecimento, corresponde às perdas físicas de água na distribuição. As perdas físicas se caracterizam como ineficiências técnicas e são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água. É um tema importante devido à escassez hídrica e aos altos custos de energia elétrica, além da sua relação com a saúde financeira dos prestadores de serviços. Pode-se afirmar que os sistemas de abastecimento de água sempre apresentam perdas; porém, quando elevadas, representam desperdício de recursos naturais, operacionais e de receita para o prestador de serviços. Dessa forma, os custos decorrentes das perdas físicas devem ser minimizados e estar sujeitos a gerenciamento apropriado (SNIS, 2015).

A Figura 4 apresenta o índice de perdas físicas na distribuição de água dos municípios da região de Belém. Na maioria dos municípios o índice é superior ao índice médio do Brasil (36,7%) e ao índice médio do Estado do Pará (39,7%). Ressalta-se que o índice de perdas físicas de Santa Bárbara do Pará, dado como nulo no SNIS, foi substituído pela média do índice de perdas dos demais municípios da área de estudo (43,8%).

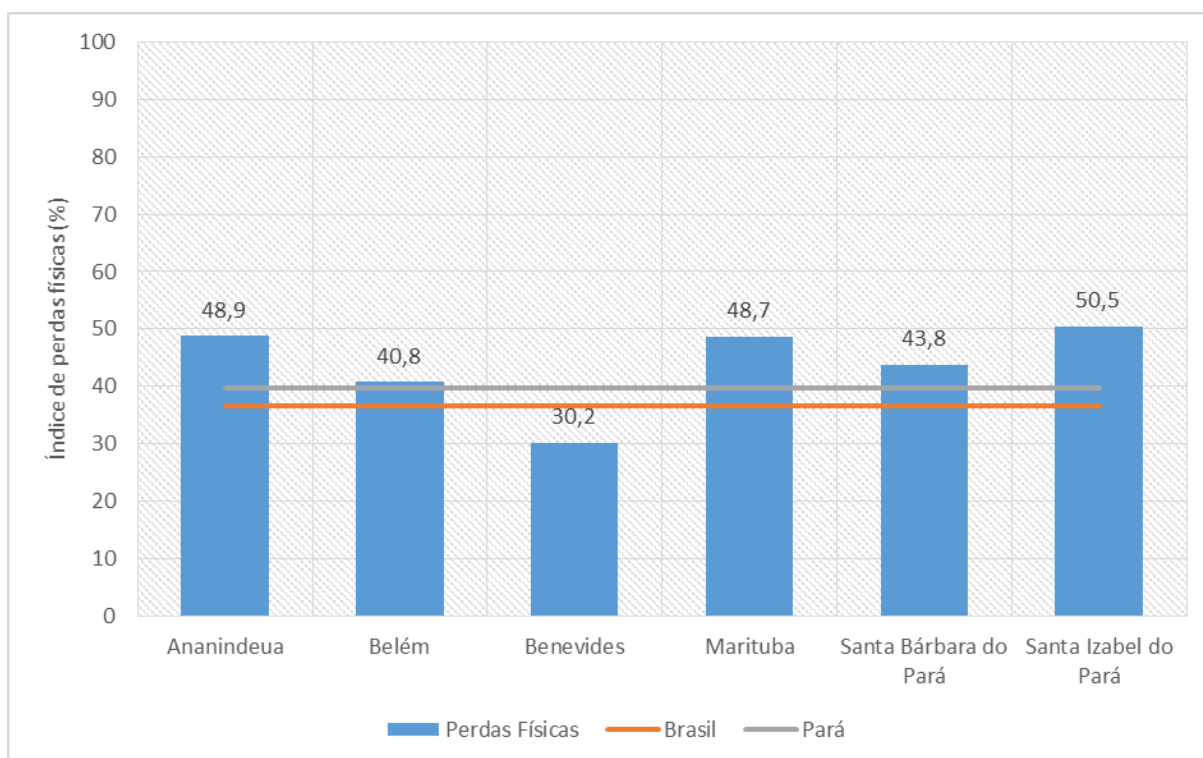


Figura 4 – Índice de perdas na distribuição de água. Fonte: SNIS (2011, 2012, 2015) e COSANPA (2018).

Na região de Belém, há um único sistema integrado de abastecimento de água que abastece Belém e Ananindeua, denominado Complexo Bolonha. Os demais sistemas são todos isolados. O Complexo Bolonha é o único sistema público de abastecimento que utiliza

água de mananciais superficiais. Os demais sistemas públicos se caracterizam, em sua maioria, por captações em poços tubulares profundos.

Os principais mananciais superficiais do Complexo Bolonha são o rio Guamá (Figura 5), o lago Água Preta (Figura 6) e o lago Bolonha (Figura 7). Atualmente, segundo informações da COSANPA (2018), são captados 3,20 m³/s no rio Guamá para reforço dos lagos Água Preta e Bolonha.

A água captada é então distribuída para tratamento em três Estações de Tratamento de Águas (ETAs): ETA Bolonha, ETA Utinga – São Brás e ETA Utinga – 5º Setor. Conforme informações fornecidas pela COSANPA (2018), a capacidade de tratamento nominal das ETAs é de 6,4 m³/s, 1,2 m³/s e 0,7 m³/s, respectivamente, mas atualmente são produzidos para distribuição 2,90 m³/s, dos quais, estima-se, proporcionalmente à população total atendida e ao consumo médio *per capita*, que 0,30 m³/s são distribuídos para Ananindeua e 2,60 m³/s são distribuídos para Belém.



Figura 5 – Captação de água no rio Guamá para reforço dos lagos Água Preta e Bolonha.



Figura 6 – Lago Água Preta. Fonte: Portal ORM



Figura 7 – Lago Bolonha.



Figura 8 – ETA Bolonha.



Figura 9 – ETA Bolonha.



Figura 10 – Reservatório São Brás.



Figura 11 – ETA e Reservatório Elevado 5º Setor.

Estima-se que em Belém sejam produzidos atualmente 5,63 m³/s de água tratada para abastecimento da população servida com rede, dos quais 2,60 m³/s são provenientes do Complexo Bolonha (mananciais superficiais) e o restante (3,03 m³/s) é proveniente de mananciais subterrâneos.

Em relação às captações subterrâneas, em Belém a água é captada em poços tubulares com capacidade que variam de 60 a 360 m³/h. Segundo Oliveira (2003), o sistema aquífero Pirabas é o mais explorado em razão do maior volume de produção de água e do menor teor de ferro. Nesse aquífero são construídos poços de até 280 m de profundidade, com vazões médias da ordem de 250 m³/h. Nos poços com captação na Formação Barreiras e Pós Barreiras, em profundidades da ordem de 70 metros, o elevado teor de ferro na água, em alguns casos, exige a construção de estações de tratamento de água de desferrização.

Oliveira (2003) observa que apesar dos baixos teores de ferro da água do aquífero Pirabas, problemas na construção de poços podem resultar na “contaminação” com água do Aquífero Barreiras, o que, naturalmente, ocasionaria aumento nas concentrações de ferro e exigiria tratamento da água antes da sua distribuição.



Figura 12 – Sistema Isolado Sideral (Belém), composto por três poços profundos. Fonte: COSANPA.



Figura 13 – Sistema Isolado Mata Fome I (Belém), composto por um poço profundo. Fonte: PMB (2014).

Em Ananindeua, o abastecimento público do município é realizado pela ETA Bolonha e por sistemas isolados de poços. Estima-se que sejam produzidos atualmente 1,05 m³/s de água tratada para atendimento da população servida com rede, dos quais 0,30 m³/s são provenientes da ETA Bolonha e o restante, 0,75 m³/s, é proveniente de mananciais subterrâneos, extraídos através de poços profundos.

Nos demais municípios da região de Belém, o abastecimento público é realizado em sua totalidade por água subterrânea. Estima-se que em Benevides seja produzido para distribuição em torno de 0,10 m³/s; em Marituba, 0,12 m³/s; em Santa Bárbara do Pará, 0,05 m³/s; e em Santa Izabel do Pará, 0,20 m³/s (Figura 15).



Figura 14 – Sistema Isolado Sabiá, em Ananindeua, composto por dois poços profundos.
Fonte: COSANPA.

No total, estima-se que a produção atual dos sistemas públicos seja em torno de 7,15 m³/s, sendo 2,90 m³/s (41%) proveniente de mananciais superficiais e 4,25 m³/s (59%) de mananciais subterrâneos. Aplicando-se o índice de perdas físicas de cada município, tem-se que 3,02 m³/s de água são perdidos na distribuição antes de chegar às residências, água que deve retornar na forma de recarga aos aquíferos (Quadro 2).

Quadro 2 – Estimativa da produção total e perdas na distribuição dos sistemas públicos de abastecimento de água

Município	Abastecimento Público					
	População atendida (hab)	Produção Total (m ³ /s)	Manancial Superficial (m ³ /s)	Manancial Subterrâneo (m ³ /s)	Índice de perdas físicas (%)	Perdas (m ³ /s)
Ananindeua	171.847	1,05	0,30	0,75	48,90	0,51
Belém	1.308.500	5,63	2,60	3,03	40,80	2,30
Benevides	29.097	0,10	0,00	0,10	30,23	0,03
Marituba	28.384	0,12	0,00	0,12	48,70	0,06
Santa Bárbara do Pará	12.309	0,05	0,00	0,05	43,78	0,02
Santa Izabel do Pará	42.727	0,20	0,00	0,20	50,51	0,10
Total	1.592.864	7,15	2,90	4,25		3,02

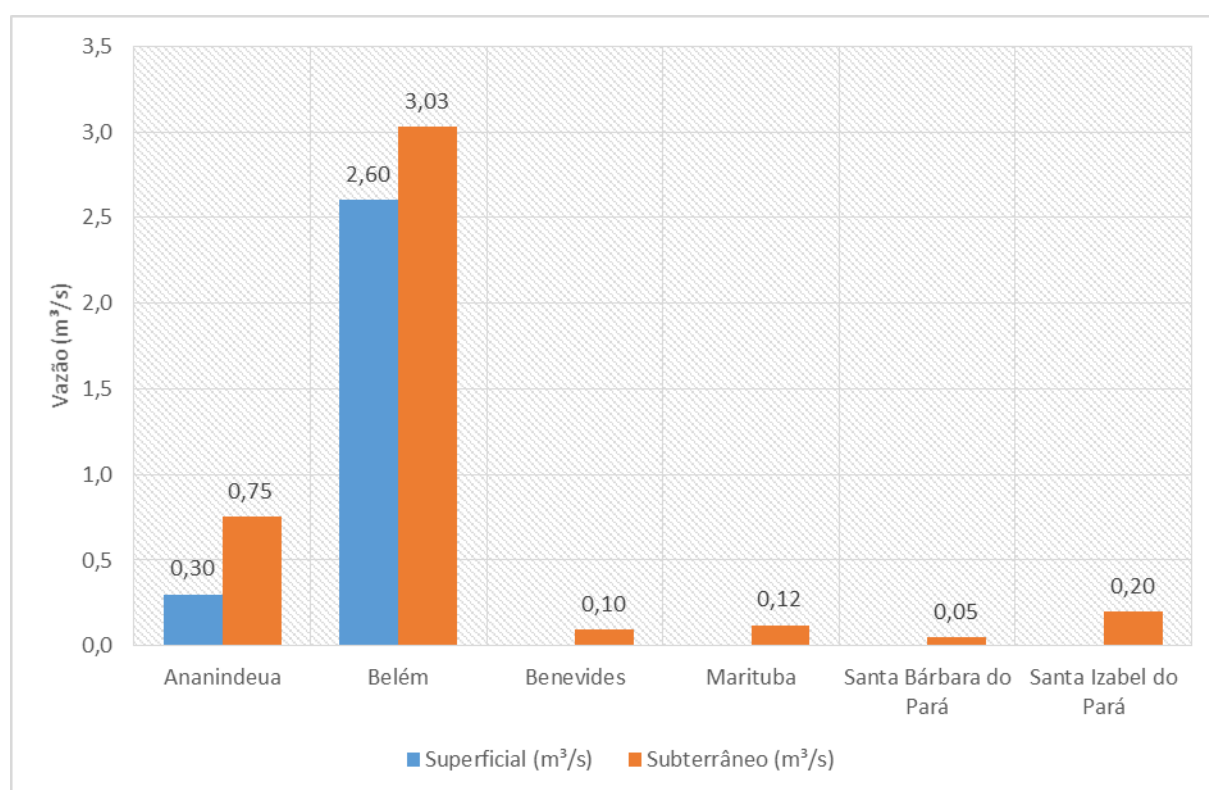


Figura 15 – Estimativa da participação dos mananciais superficiais e subterrâneos na produção dos sistemas públicos de abastecimento de água, por município.

Em relação à população não atendida por sistema público de abastecimento, a demanda de água foi calculada em função do número de habitantes e do consumo médio *per capita*. Para a população urbana considerou-se um consumo médio *per capita*, igual a 200 l/hab.dia. Para a população rural, adotou-se o consumo médio *per capita* recomendado pela Nota Técnica nº 56/2015/SPR (ANA, 2015), igual a 100 l/hab.dia. O Quadro 3 apresenta a demanda da população não atendida por sistema público de abastecimento de água.

Quadro 3 – Estimativa da demanda da população urbana e rural não atendida por sistema público de abastecimento de água

Município	Urbana		Rural	
	População (hab)	Demanda (m³/s)	População (hab)	Demanda (m³/s)
Ananindeua	343.363	0,795	847	0,001
Belém	142.545	0,330	1.230	0,001
Benevides	17.852	0,041	14.041	0,016
Marituba	98.442	0,228	1.032	0,001
Santa Bárbara do Pará	2.606	0,006	5.577	0,006
Santa Izabel do Pará	18.879	0,044	7.230	0,008
Total	623.687	1,444	29.957	0,035

Estima-se, portanto, que a população sem acesso ao sistema público de abastecimento, demanda em torno de 1,478 m³/s de água. Conforme informações do Censo (IBGE, 2010), as principais fontes alternativas aos sistemas públicos de abastecimento, utilizadas pela população sem acesso à rede geral, são: poços ou nascente, carro-pipa, água da chuva armazenada em cisternas, água da chuva armazenada de outra forma, captações diretas em rios, açudes, lagos ou igarapés, dentre outros. Para a região de Belém, agrupando-se as informações do IBGE em superficial e subterrânea, estima-se que 98% (1,458 m³/s) da água seja proveniente de mananciais subterrâneos e 2% (0,020 m³/s) seja proveniente de mananciais superficiais conforme apresentado no Quadro 4 e Figura 16.

Quadro 4 – Estimativa da demanda total, superficial e subterrânea da população não atendida por sistema público de abastecimento de água

Município	Abastecimento Humano – População Não Atendida		
	Demanda (m³/s)	Superficial (m³/s)	Subterrâneo (m³/s)
Ananindeua	0,796	0,007	0,789
Belém	0,331	0,007	0,324
Benevides	0,058	0,001	0,056
Marituba	0,229	0,001	0,228
Santa Bárbara do Pará	0,012	0,001	0,011
Santa Izabel do Pará	0,052	0,003	0,049
Total	1,478	0,020	1,458

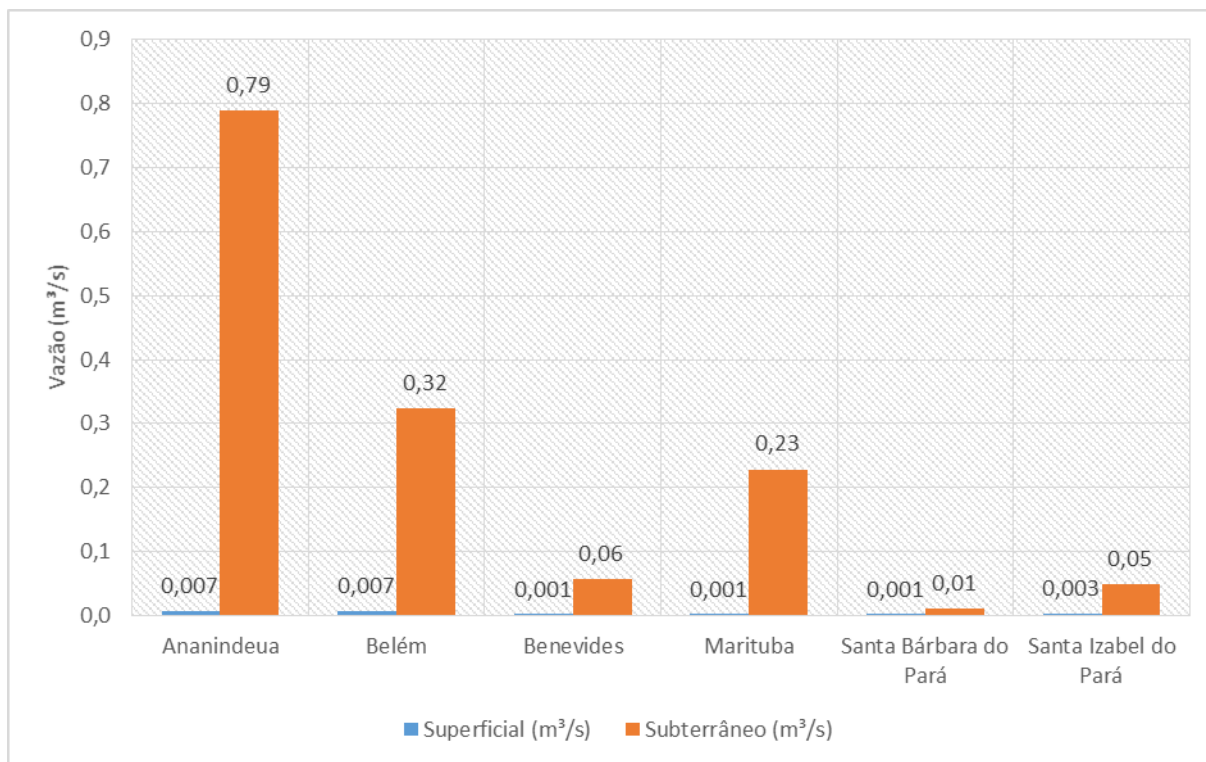


Figura 16 – Estimativa da demanda superficial e subterrânea da população não atendida por sistema público de abastecimento de água, por município.

9.1.2 Indústria e Outros Usos

Na região de Belém encontram-se dois dos quatro distritos industriais do Estado do Pará: um na capital Belém (no distrito de Icoaraci) e um no Município de Ananindeua. O Distrito Industrial de Icoaraci conta com 48 empresas em uma área de 205 hectares e dista aproximadamente 20 km do centro da capital. Já o distrito industrial de Ananindeua tem mais de 110 empresas em uma área de 457 hectares, no Município de Ananindeua, vizinho à capital.

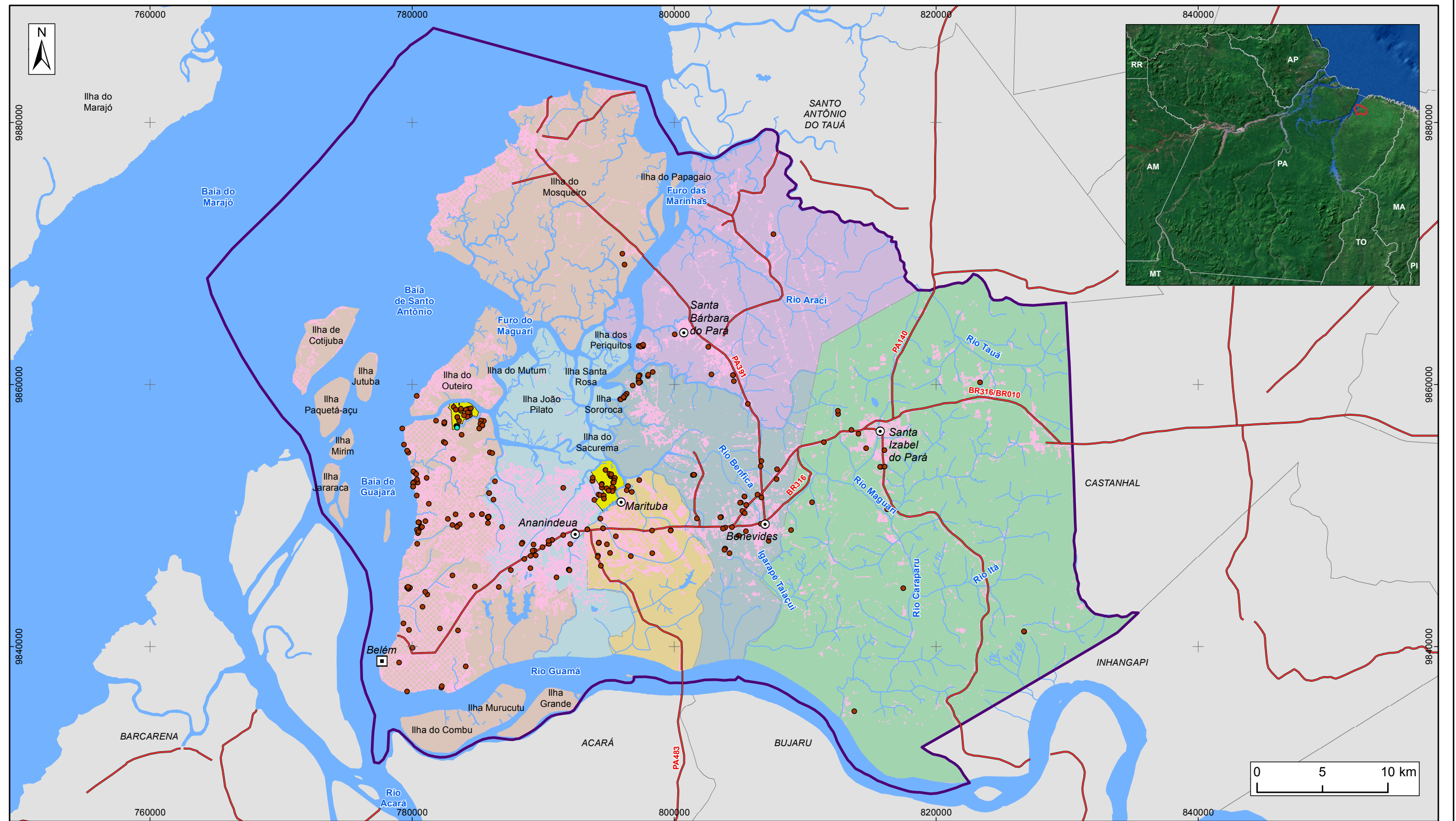
Dessa forma, devido à alta concentração de indústrias na região de Belém, foi avaliada a demanda de água superficial e subterrânea para esse setor e a demanda de água para outros usuários tais como lojas e/ou comércio, postos de combustíveis, hospitais, lavanderia, balneário e clubes, instituições de ensino, entre outros usuários que se utilizam de fontes próprias de água para seu abastecimento.

Em relação às indústrias, conforme o cadastro de outorgas da SEMAS/PA, na região de Belém existem 301 processos de outorga vigentes, sendo 300 referente à captações subterrânea e um apenas referente à captação superficial. A Figura 17 apresenta a localização dos processos.

Em Belém, percebe-se uma maior concentração das indústrias no distrito industrial de Icoaraci, ao norte do município. Em Ananindeua, a concentração maior das indústrias é verificada à leste do município e ao longo da BR-316. No Município de Benevides as indústrias estão localizados próximo ao centro urbano e à noroeste do município, região composta em sua totalidade por indústrias de beneficiamento de madeira.

O parque industrial da região de Belém é diversificado com a maior parte das indústrias enquadradas nas seguintes tipologias: indústria de beneficiamento de madeira (marcenaria/moveleira) e indústria alimentícia e bebidas (refrigerantes e alcoólicas). Destaca-se o potencial poluidor dessas tipologias industriais, principalmente pelo nível de produção de efluentes líquidos.


Em relação aos demais usuários, conforme o cadastro de outorgas da SEMAS/PA, na região de Belém existem 473 processos de outorga vigentes para empreendimentos diversos, sendo 456 referente à captações subterrânea e 17 referente à captação superficial. Conforme pode-se visualizar na Figura 18, percebe-se uma maior concentração desses empreendimentos nos municípios de Belém e Ananindeua.

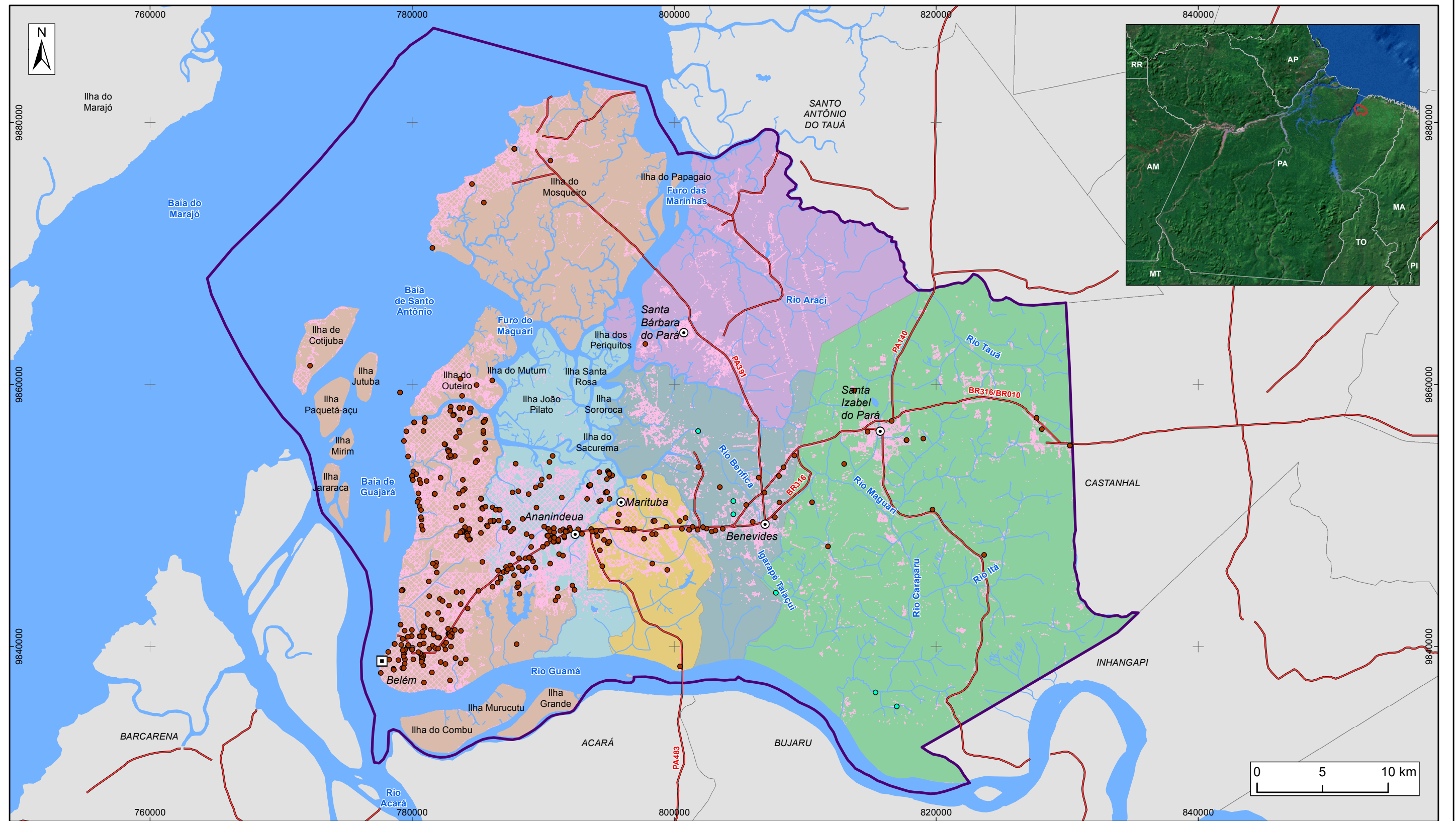


LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- Outorgas - Indústrias**
- Superficial
- Subterrânea
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- ☁ Massa d'água
- ⊕ Área de Estudo
- Distrito industrial
- ▨ Área Edificada
- Município**
- Ananindeua
- Belém
- Benevides
- Marituba
- Santa Bárbara do Pará
- Santa Izabel do Pará

Figura 17 – Localização das outorgas do setor industrial

 ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS	ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA	Sistema de Coordenadas: UTM Datum Horizontal: SIRGAS 2000 Unidade: Metros Fiscalização: ANA Data: Junho/2018 Arquivo: Figura_17_Localizacao_outorgas_industria_A3
	Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Área Edificada: ANA/Profill Cadastro de outorgas: SEMAS/PA	
		Escala: 1:290.000



LEGENDA

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- Outorgas - Outros usuários**
 - Superficial
 - Subterrânea
 - ~ Hidrografia
 - Rodovia
 - ☁ Massa d'água
 - ⊞ Área de Estudo
- ▨ Área Edificada
- Município**
 - Ananindeua
 - Belém
 - Benevides
 - Marituba
 - Santa Bárbara do Pará
 - Santa Izabel do Pará

Figura 18 – Localização das outorgas de outros usuários



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Área edificada: ANA/Profill. Cadastro de outorgas: SEMAS/PA

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_18_Localizacao_outorgas_outros_usuarios_A3
Escala:	1:290.000

No total, são captados na região de Belém 0,613 m³/s de água para a indústria (Quadro 5, Figura 19), sendo 0,607 m³/s (99,0%) provenientes de mananciais subterrâneos e 0,006 m³/s (1,0%) provenientes de mananciais superficiais. A maior parte da água para abastecimento industrial, portanto, é proveniente de manancial subterrâneo. Belém e Benevides detêm os maiores volumes de água captada para esse setor.

Quadro 5 – Número de processos e vazão outorgada para o setor industrial.

Município	Subterrânea		Superficial		Total (m ³ /s)
	Nº processos	Vazão outorgada (m ³ /s)	Nº processos	Vazão outorgada (m ³ /s)	
Ananindeua	64	0,046	0	0,000	0,046
Belém	125	0,345	1	0,006	0,351
Benevides	53	0,177	0	0,000	0,177
Marituba	22	0,012	0	0,000	0,012
Santa Bárbara do Pará	16	0,005	0	0,000	0,005
Santa Izabel do Pará	20	0,022	0	0,000	0,022
Total	300	0,607	1	0,006	0,613

Fonte: Cadastro de Outorgas (SEMAS/PA)

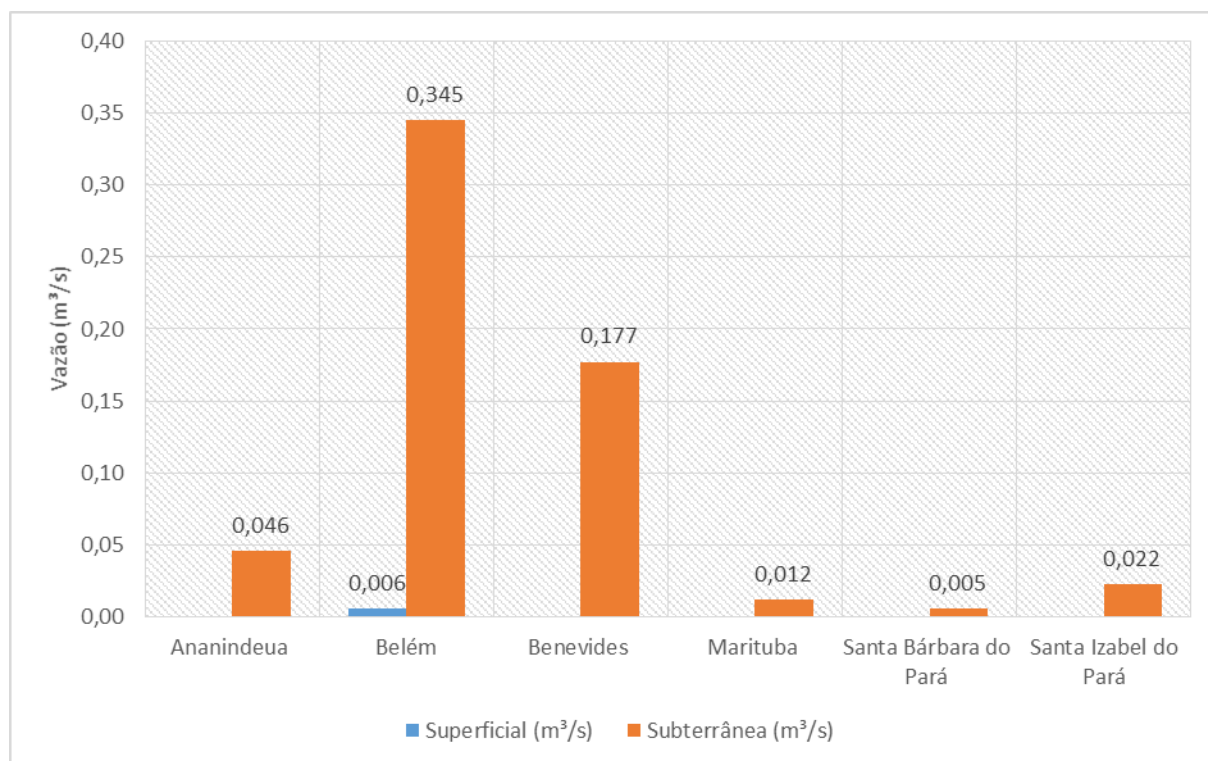


Figura 19 – Estimativa da demanda superficial e subterrânea da indústria, por município.

Em relação aos demais usuários (Quadro 6, Figura 20), no total, são captados 0,545 m³/s, sendo 0,392 m³/s (72%) provenientes de manancial subterrâneo e 0,153 m³/s (28%) provenientes de manancial superficial.

Quadro 6 – Número de processos e vazão outorgada para outros usuários.

Município	Subterrânea		Superficial		Total (m ³ /s)
	Nº processos	Vazão outorgada (m ³ /s)	Nº processos	Vazão outorgada (m ³ /s)	
Ananindeua	135	0,070	0	0,000	0,070
Belém	260	0,213	9	0,008	0,222
Benevides	16	0,006	4	0,066	0,073
Marituba	27	0,079	0	0,000	0,079
Santa Bárbara do Pará	1	0,000	1	0,000	0,000
Santa Izabel do Pará	17	0,023	3	0,079	0,101
Total	456	0,392	17	0,153	0,545

Fonte: Cadastro de Outorgas (SEMAS/PA)

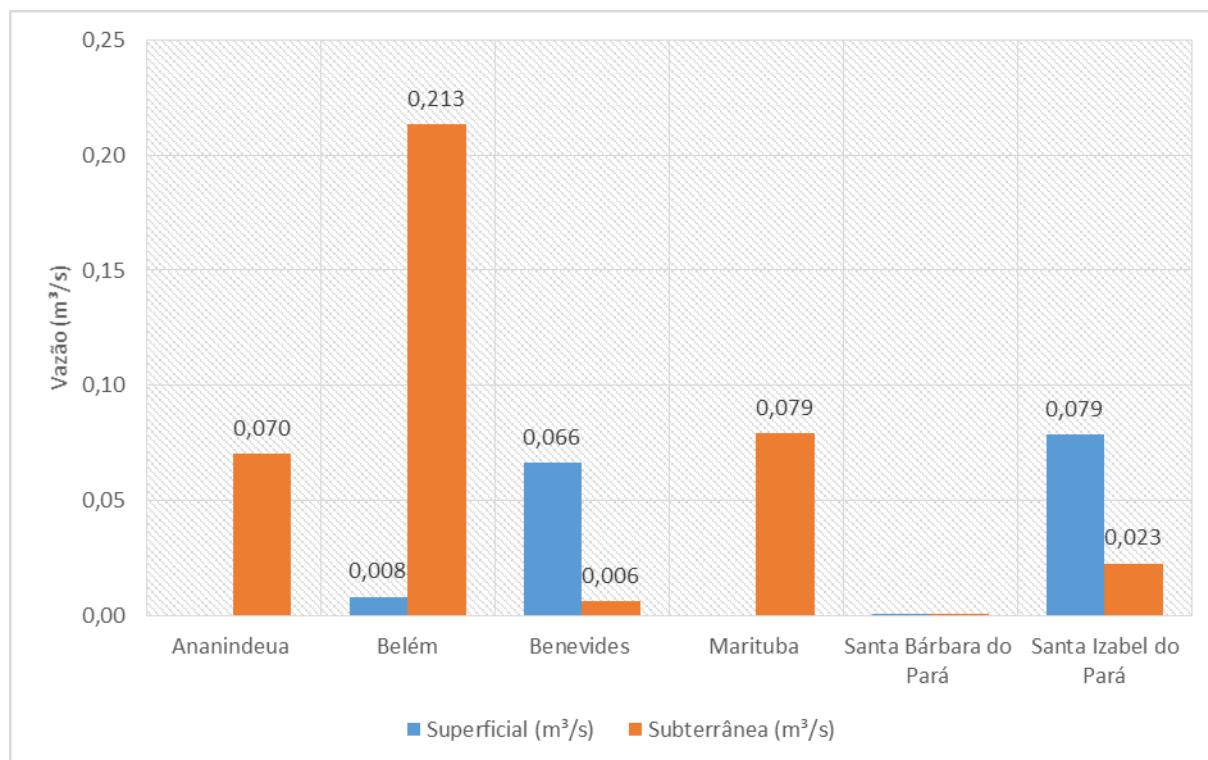


Figura 20 – Estimativa da demanda superficial e subterrânea para outros usos, por município.

9.1.1 Síntese das Demandas

Uma síntese das demandas hídricas para abastecimento humano, industrial e de outros usuários da região de Belém é apresentada no Quadro 7. O Quadro 8, por sua vez, apresenta a demanda desses usuários especificamente por água subterrânea.

Quadro 7 – Estimativa da demanda total de água nos municípios da área de estudo

Município	Demanda Total (m³/s)			
	Abastecimento Humano	Indústria	Outros Usos	Total
Ananindeua	1,847	0,046	0,070	1,963
Belém	5,959	0,351	0,222	6,532
Benevides	0,154	0,177	0,073	0,404
Marituba	0,351	0,012	0,079	0,442
Santa Bárbara do Pará	0,063	0,005	0,000	0,069
Santa Izabel do Pará	0,252	0,022	0,101	0,375
Total	8,626	0,613	0,545	9,784

Quadro 8 – Estimativa da demanda de água subterrânea nos municípios da área de estudo

Município	Demanda Subterrânea (m³/s)			
	Abastecimento Humano	Indústria	Outros Usos	Total
Ananindeua	1,540	0,046	0,070	1,656
Belém	3,352	0,345	0,213	3,910
Benevides	0,153	0,177	0,006	0,336
Marituba	0,350	0,012	0,079	0,441
Santa Bárbara do Pará	0,062	0,005	0,000	0,067
Santa Izabel do Pará	0,249	0,022	0,023	0,294
Total	5,706	0,607	0,392	6,705

Conforme o Quadro 8, na região de Belém são retirados 6,705 m³/s de água dos aquíferos, o que representa 69% da demanda dos usuários. A Figura 21 mostra o grau de dependência de cada setor usuário em relação às águas subterrâneas, por município.

Em Benevides, Marituba, Santa Izabel do Pará e Santa Bárbara do Pará, a população é quase em sua totalidade dependente das águas subterrâneas para o seu abastecimento, seja através dos poços dos sistemas públicos, seja através dos poços individuais. Em Ananindeua e Belém, 83% e 56% da água utilizada para abastecimento humano é proveniente de águas subterrâneas, respectivamente. Em termos absolutos, Belém é o município que mais utiliza as águas subterrâneas para abastecimento humano, explotando em torno de 3,352 m³/s, sendo 3,028 m³/s provenientes dos poços tubulares dos sistemas públicos e 0,324 m³/s provenientes de poços individuais. Ressalta-se que alguns condomínios, principalmente em Belém, mesmo sendo atendidos pelo sistema público, optam por possuir poços tubulares próprios como fonte alternativa.

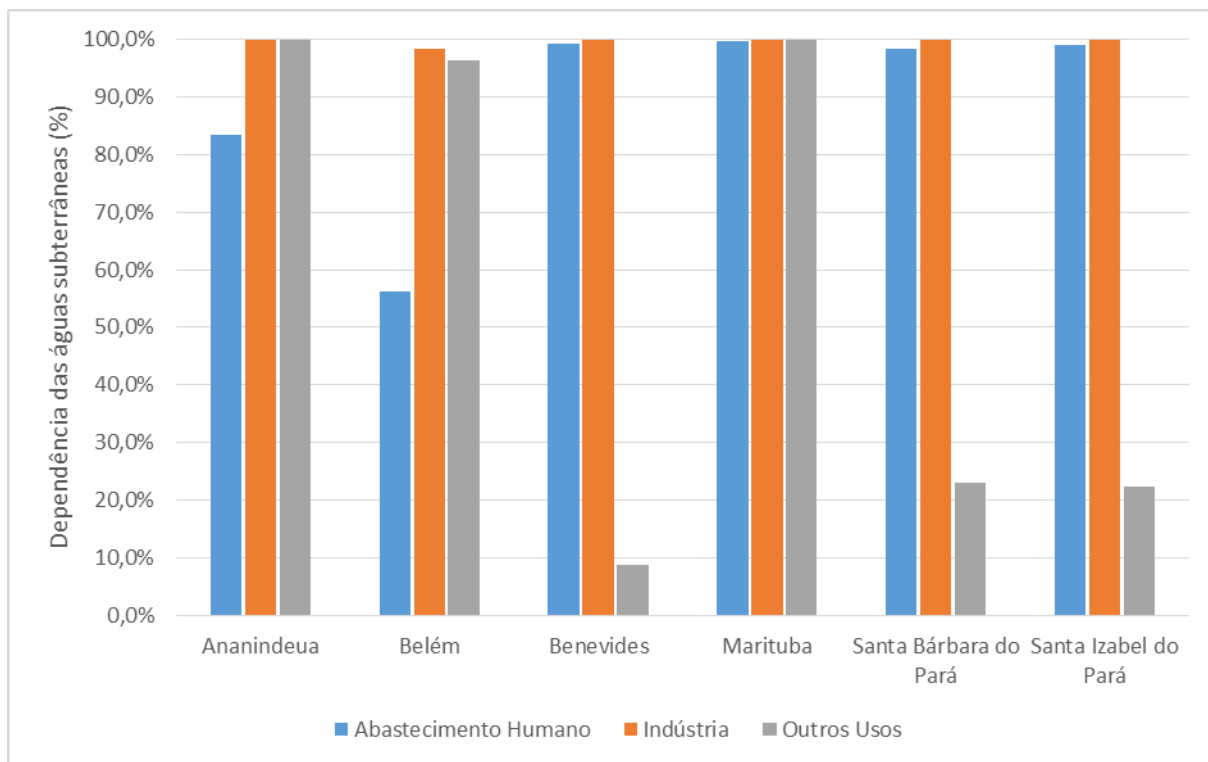
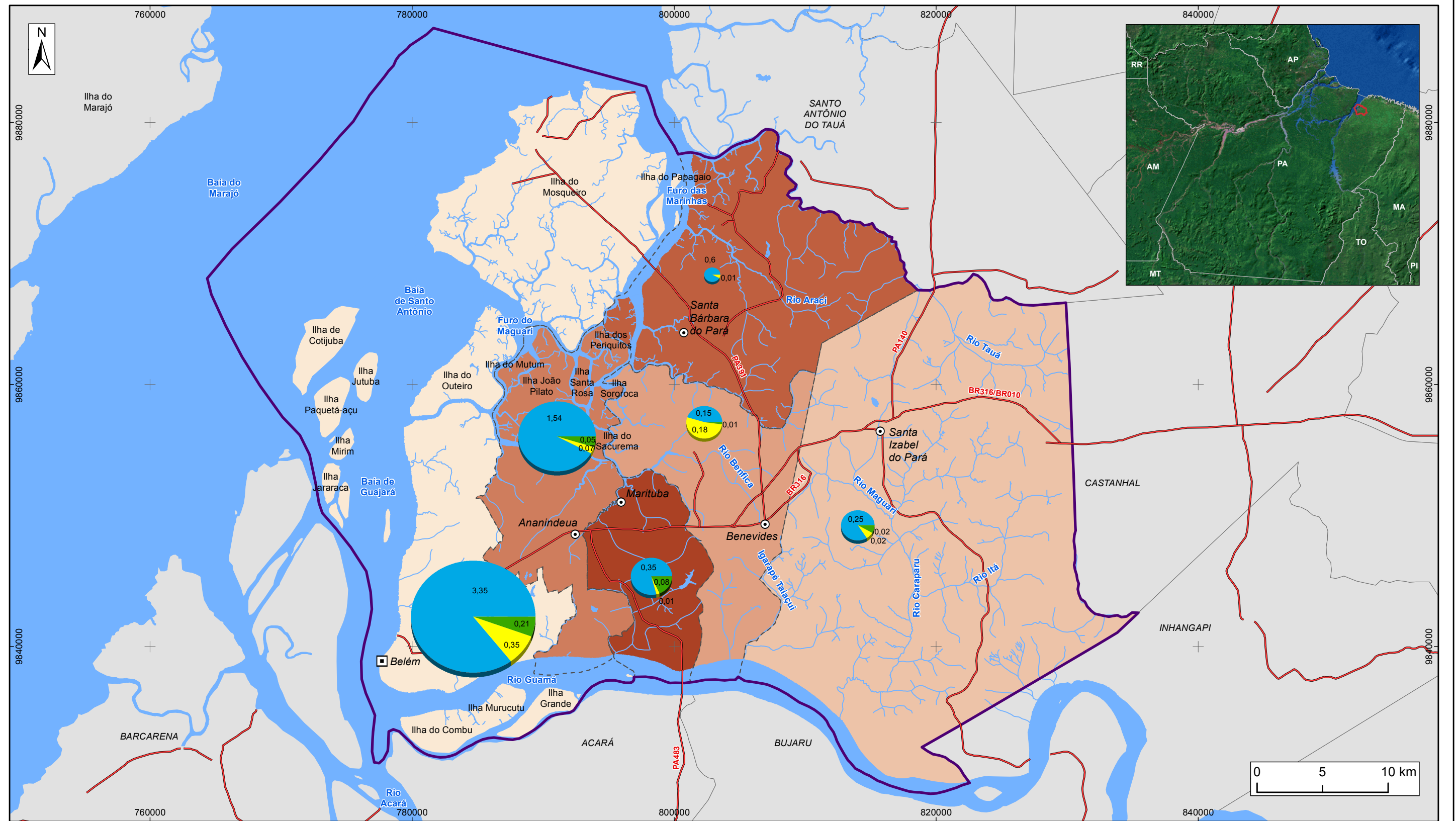


Figura 21 – Grau de dependência dos setores usuários em relação às águas subterrâneas na região de Belém

Em relação às indústrias, a partir do cadastro de outorgas da SEMAS/PA, infere-se que nos municípios de Ananindeua, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará as indústrias são 100% dependentes das águas subterrâneas. Em Belém, apenas uma indústria com outorga vigente capta água em manancial superficial.

Em relação aos demais usuários de água, de acordo com o cadastro de outorgas da SEMAS/PA, observa-se que a dependência em relação às águas subterrâneas é grande nos municípios de Ananindeua, Belém e Marituba. A água subterrânea nesses municípios é usada principalmente para construção civil e em empresa e/ou comércio (supermercados/ varejistas ou atacadistas). Nos demais municípios a água superficial tende a suprir a maior parte da demanda dos demais usuários de água.

A Figura 22 mostra a distribuição das demandas totais e de águas subterrâneas por município da área estudada, e a relação entre elas.



LEGENDA

- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ Capital Estadual ⊙ Sede Municipal — Rodovia ~ Hidrografia ☪ Massa d'água ⊕ Área de Estudo - - - Limite municipal | <p>Demanda subterrânea (m³/s)</p> <p>0,48</p> <p>Abastecimento humano</p> <p>Indústria</p> <p>Outros usos</p> | <p>Relação entre a demanda subterrânea e a demanda total</p> <ul style="list-style-type: none"> 0,60 0,78 0,83 0,84 0,98 1,00 |
|--|--|--|

Figura 22 – Demandas totais, demandas subterrâneas e relação entre demanda subterrânea na região de Belém



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Demandas: indústria e outros usos: calculado a partir de outorgas SEMAS/PS; abastecimento: população atendida: ATLAS/ANA, não atendida: calculada a partir da aplicação de valor per capita

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_22_Demandas_Outorgadas_A3
Escala:	1:290.000

9.2 ATIVIDADES RELATIVAS AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O adensamento populacional nos centros urbanos propicia a geração concentrada de efluentes domésticos e industriais. O manejo e o modelo de disposição desses efluentes exercem forte influência na qualidade das águas subterrâneas. O processo de degradação natural dos esgotos provoca a geração de nitrato que, pelas características de persistência e mobilidade e o contínuo processo de infiltração representa atualmente um potencial contaminante das águas subterrâneas dos centros urbanos, como é o caso dos municípios da região de Belém.

Os indicadores de cobertura dos serviços de esgoto dos municípios da região de Belém foram retirados do Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2017) e são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Indicadores de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário

Município	Índice de coleta de esgoto (%)	Índice de tratamento do esgoto coletado (%)	Índice de tratamento com solução individual (%)	Índice sem coleta e sem tratamento (%)
Ananindeua	11,3%	0,0%	44,0%	44,7%
Belém	20,5%	10,7%	31,1%	48,5%
Benevides	2,2%	0,0%	15,2%	82,7%
Marituba	4,4%	0,0%	14,5%	81,1%
Santa Bárbara do Pará	2,8%	0,0%	6,9%	90,2%
Santa Izabel do Pará	1,3%	0,0%	10,2%	88,6%

Fonte: Atlas Esgoto: Despoluição das Bacias Hidrográficas (ANA, 2017).

Observa-se que a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário na região de Belém não acompanhou a expansão do processo de urbanização. A coleta de esgoto é quase inexistente na região. Os índices de coleta dos municípios ficam todos abaixo da média nacional (55,2%) e somente Belém e Ananindeua apresentam índices superiores ao índice do Estado do Pará (5,4%). Somente Belém possui Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs e trata parte dos esgotos coletados. As ETEs de Belém são apresentadas no Quadro 10.

A ausência de coleta e tratamento de esgoto propicia alternativas de disposição dos efluentes em soluções individuais, como por exemplo, fossas e sumidouros ou outra destinação que se utilize de decantação e infiltração. Nos levantamentos de campo realizados no âmbito desse estudo foram observadas práticas de saneamento *in situ*, com esgotos sendo destinados à fossas rudimentares, rede de drenagem, valas ou lançados diretamente nos corpos hídricos superficiais ou no solo (Figura 27).

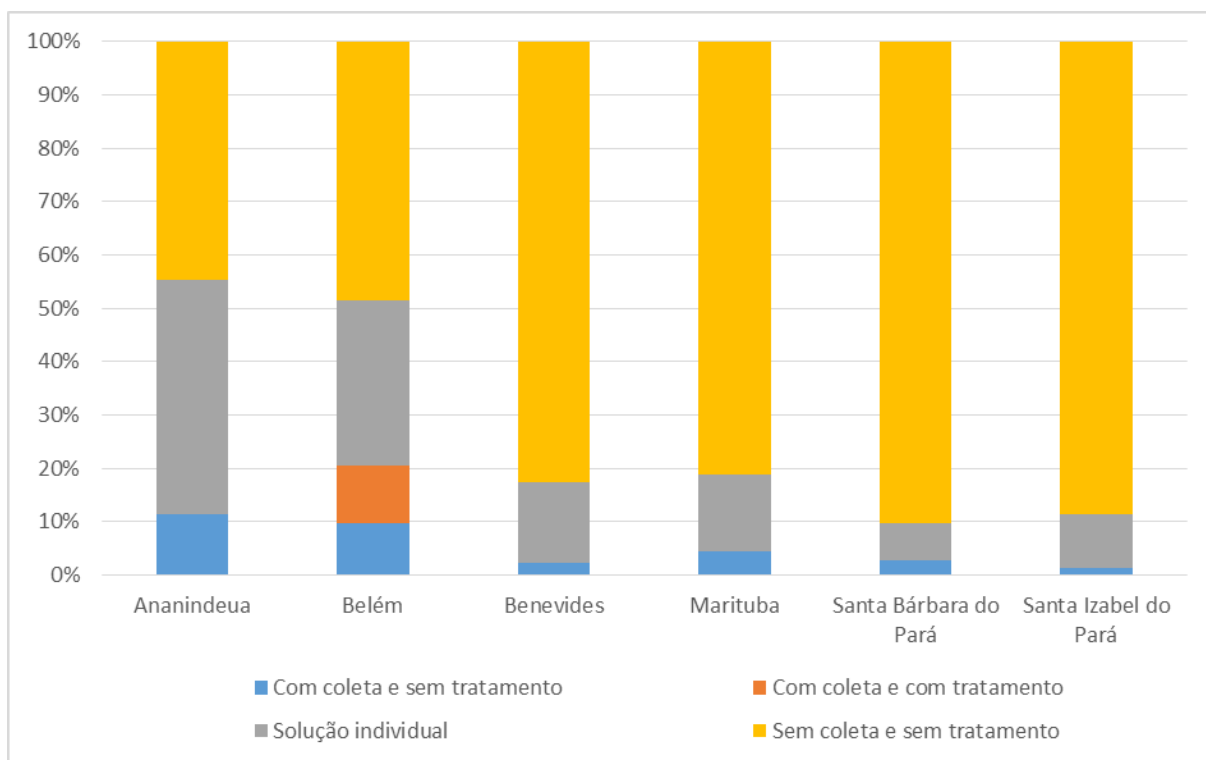


Figura 23 – Índice de coleta e tratamento de esgoto. Fonte: ANA (2017).

Quadro 10 – Informações sobre as ETEs do Município de Belém.

Município	Status	Nome	Tipo de tratamento predominante	Corpo receptor
Belém	Ativa	ETE SIDERAL	Reator UASB	Canal Massaquara
Belém	Ativa	ETE COQUEIRO	Reator UASB	Canal Ariri
Belém	Ativa	ETE BENGUI	Reator UASB	Canal Ariri
Belém	Ativa	ETE PORTO	Reator UASB compacto	Drenagem
Belém	Ativa	ETE VILA DA BARCA	Reator UASB compacto	Baía de Guajará
Belém	Ativa	ETE VIVER PRIMAVERA	Reator UASB enterrado	Rio Paracurí
Belém	Ativa	ETE UG/TN	Reator UASB compacto	Drenagem
Belém	Ativa	ETE PRATINHA I	Reator UASB compacto	Baía do Guajará
Belém	Ativa	ETE OUTEIRO	Reator UASB compacto	Igarapé Água Boa
Belém	Ativa	ETE MOSQUEIRO – VILA	Lagoa de Estabilização	Rio Murubira
Belém	Ativa	ETE UNA	Emissário Aquático/ Diluição	Baía do Guajará
Belém	Inativa	ETE MOSQUEIRO – AEROPORTO	Lagoa de Estabilização	Rio Murubira
Belém	Inativa	ETE COMUNIDADE FÉ EM DEUS	Reator UASB compacto	Drenagem
Belém	Inativa	ETE RUA DA MATA	Reator UASB + lodo ativado	Canal Água Cristal
Belém	Inativa	ETE TAVARES BASTOS	Reator UASB + físico-químico	Canal Água Cristal
Belém	Inativa	ETE JK	Reator UASB compacto	Drenagem
Belém	Inativa	ETE IPASEP	Reator UASB	Baía de Guajará

Fonte: COSANPA (2018).



Figura 24 – ETE Sideral, em Belém. Fonte: Barbosa (2006).



Figura 25 – ETE Coqueiro, em Belém. Fonte: PMB (2014).



Figura 26 – ETE Vila da Barca, em Belém. Fonte: COSANPA

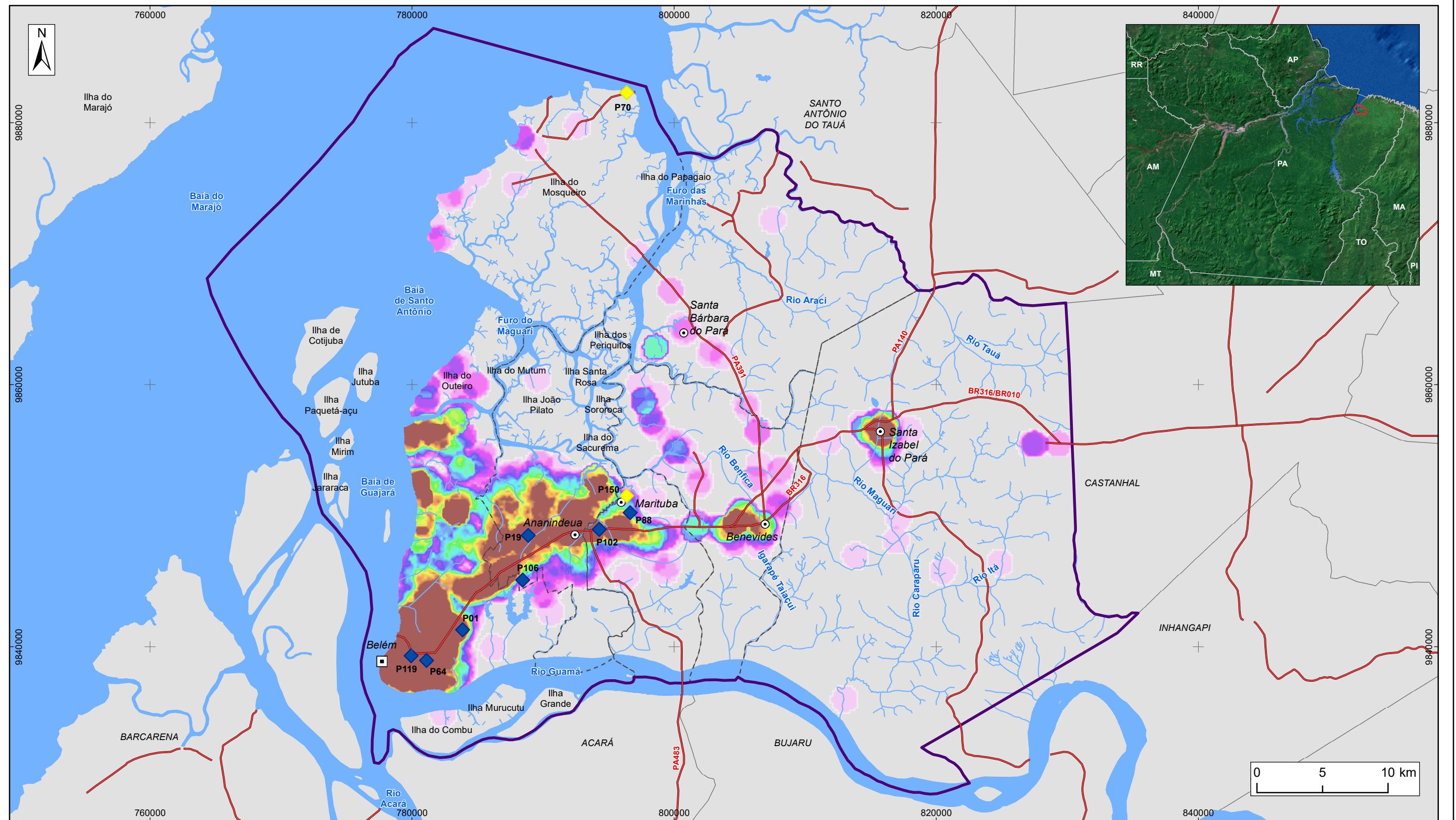


Figura 27 – Contaminação do solo e corpos hídricos devido à carência de saneamento básico na região de Belém.

Diversos estudos conduzidos na região de Belém apontam que as infiltrações dos efluentes domésticos através do sistema de saneamento *in situ* são potenciais fontes de contaminação do aquífero Barreiras (LIMA, 2000; GASPAR, 2001; ARAÚJO, 2001; CABRAL, 2004; CABRAL & LIMA, 2006). Os estudos apontam principalmente contaminação por compostos nitrogenados e cloreto (NH_4 e NO_3).

Nas campanhas de amostragem para caracterização hidrogeoquímica, realizadas neste estudo, foi possível ratificar a existência de contaminação das águas subterrâneas por nitrato em alguns pontos de coleta, com valores de nitrato acima do limite permitido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (atual Portaria de Consolidação nº 05/2017), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Além disso, foram identificados altos teores de cloreto.

A Figura 28 apresenta uma comparação entre a densidade de empreendimentos com risco potencial de contaminação e os poços onde os valores de nitrato estão acima dos limites da Portaria nº 2914/2011. Os poços mencionados estão localizados em áreas urbanas com alta concentração populacional e provável falta de rede coletora de esgoto, ou seja, esses valores de nitrato devem-se provavelmente à contaminação antrópica. O poço P150 é o único localizado em área rural, próximo à estufa para produção de hortifrúteis.



LEGENDA

- Capital Estadual
- Sede Municipal
- Poços com valor de Nitrato acima do limite da Portaria nº 2914/2011 por Aquífero**
- ◆ Pós-Barreiras
- ◆ Barreiras
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- Massa d'água
- Área de Estudo
- Limite municipal
- Densidade de empreendimentos (un/km²)**
- 45,2
- 0

Figura 28 – Localização dos poços com valores de Nitrato acima do limite da Portaria nº 2914/2011 e densidade de empreendimentos com risco potencial de contaminação



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: Adaptado de SEMAS/PA. Valores de Nitrato e densidade de empreendimentos: ANA/PROFILL

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_28_Localizacao_poços_valores_Nitrato_A3
Escala:	1:290.000

A parcela da recarga urbana proveniente dos vazamentos nas redes de esgoto e da infiltração devido à utilização de práticas de saneamento *in situ* (soluções individuais), foi estimada a partir da quantidade de esgoto gerada pela população dos municípios da região de Belém. Para isso, aplicou-se um coeficiente de retorno de 80% à água efetivamente consumida pela população e outros usuários, conforme determina a NBR 9649/1986 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário (ABNT, 1986). Para a população rural, o coeficiente de retorno utilizado foi de 50%, usual em Planos de Bacias Hidrográficas e sugerido em ONS (2005) (Figura 29).

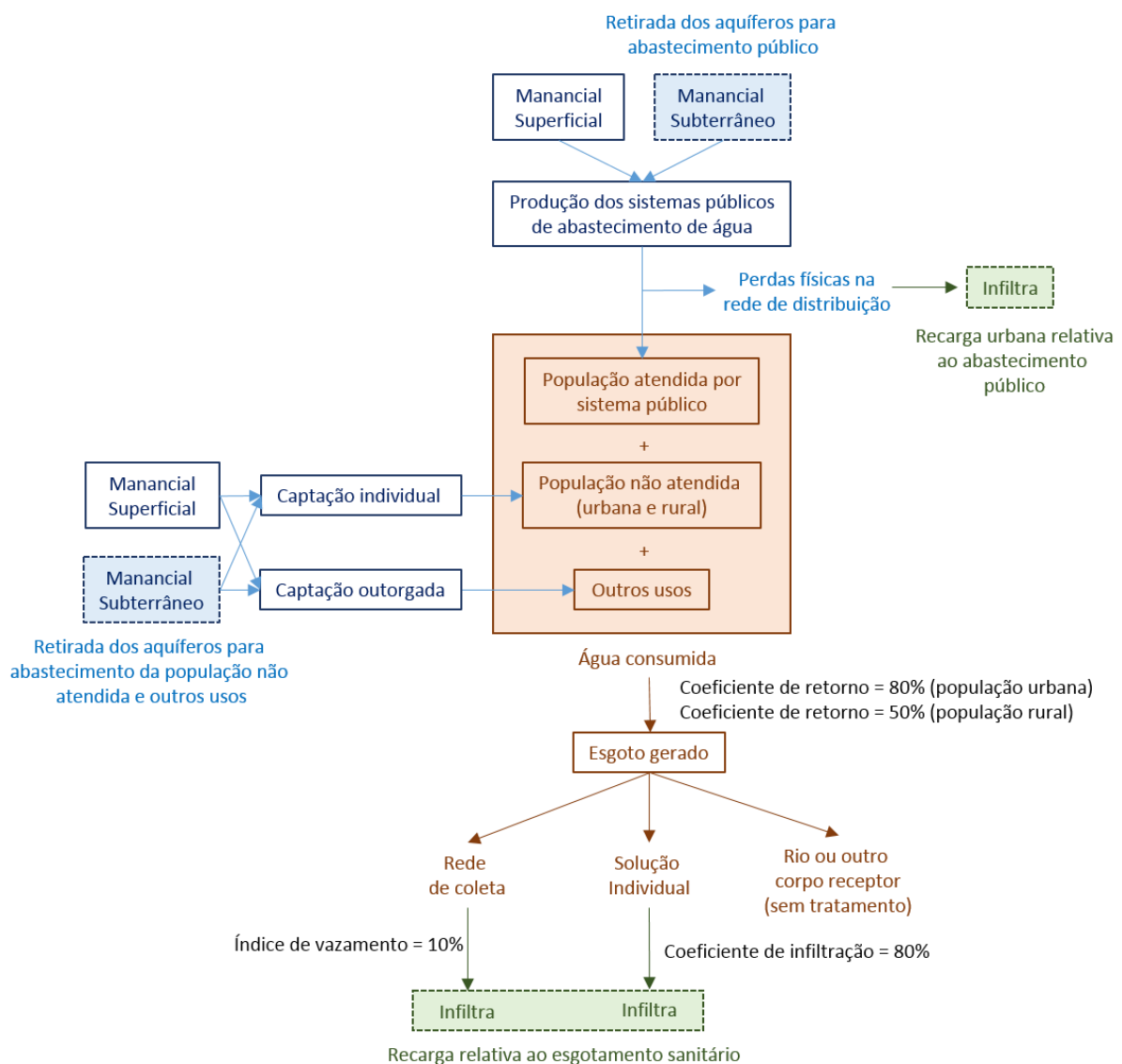


Figura 29 – Esquema metodológico utilizado para a estimativa do esgoto gerado e da recarga relativa à vazamentos na rede de coleta e infiltração através de soluções individuais.

O Quadro 11 apresenta a quantidade de esgoto gerado, coletado, tratado *in situ* (solução individual) e a parcela de esgoto que não recebe nenhum tipo de tratamento.

Quadro 11 – Produção e destinação final do esgoto doméstico de Belém e municípios adjacentes.

Município	Esgoto gerado (m ³ /s)	Esgoto coletado (m ³ /s)	Esgoto tratado em solução individual (m ³ /s)	Esgoto sem nenhum tipo de tratamento (m ³ /s)
Ananindeua	1,122	0,127	0,493	0,502
Belém	3,107	0,636	0,965	1,506
Benevides	0,153	0,003	0,023	0,127
Marituba	0,296	0,013	0,043	0,240
Santa Bárbara do Pará	0,031	0,001	0,002	0,028
Santa Izabel do Pará	0,199	0,003	0,020	0,176
Total Geral	4,909	0,782	1,547	2,580

O esgoto produzido pela indústria não foi estimado, uma vez que suas características físico-químicas são muito diferentes das do esgoto doméstico e não existem dados nos cadastros dos órgãos ambientais. Além disso, na maioria dos casos, os efluentes industriais são lançados, após tratamento, em algum corpo hídrico superficial, não retornando aos aquíferos.

O controle sobre a existência de vazamentos nas redes de coleta é pouco conhecido. As tubulações de esgotos, embora não estejam sob pressão, podem sofrer vazamentos como resultado da deterioração de juntas e ao redor de estruturas, sob ação gravitacional (MELO, 2001). Foster *et al.* (1999 *apud* MELO, 2001) estimaram uma taxa de vazamento média de 5%. No presente estudo, adotou-se um índice de vazamento médio de 10%, mesmo percentual utilizado no Estudo Hidrogeológico para a orientação e manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal (ANA, 2012).

Em relação ao volume infiltrado devido à utilização de práticas de saneamento *in situ*, admitiu-se que 80% do esgoto destinado às soluções individuais acaba infiltrando e retornando aos aquíferos, mesmo coeficiente utilizado em ANA (2012). A parte não infiltrada, correspondente a 20% do volume de esgoto que chegam às fossas, não recarrega o aquífero por diversos fatores, entre os quais: eliminação pelo tempo de residência; retenção de parte do volume total em fossas sépticas; limpeza através de caminhões a vácuo (limpa fossa); evapotranspiração; aspectos litológicos locais que impeçam a migração até o aquífero; diminuição da permeabilidade pela colmatção de fossas rudimentares, etc. (ANA, 2012).

Todo volume de água recarregado ao aquífero é importante para a manutenção dos níveis e da potencialidade. No entanto, a parcela da recarga urbana proveniente do

esgotamento sanitário é altamente indesejável para o aquífero por ser tratar de um volume de água contaminada e que representa uma forte ameaça à qualidade das águas subterrâneas nas zonas urbanas (ANA, 2012). Nesse estudo, estimou-se que o aquífero Barreiras receba uma recarga de 1,316 m³/s de esgoto proveniente, sobretudo da baixa abrangência dos sistemas de coleta e tratamento dos esgotos domésticos (Quadro 12).

Quadro 12 – Estimativa da recarga urbana relativa ao esgotamento sanitário de Belém e municípios adjacentes.

Município	Infiltração - Fossas e Sumidouros (m ³ /s)	Infiltração - Rede de Esgoto (m ³ /s)	Recarga Urbana - Esgotamento (m ³ /s)
Ananindeua	0,395	0,013	0,407
Belém	0,772	0,064	0,836
Benevides	0,019	0,000	0,019
Marituba	0,034	0,001	0,036
Santa Bárbara do Pará	0,002	0,000	0,002
Santa Izabel do Pará	0,016	0,000	0,016
Total Geral	1,238	0,078	1,316

Visando estimar ainda o potencial aporte de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo e Nitrogênio ao aquífero Barreiras na região de Belém, calculou-se a carga produzida pela população para cada um destes parâmetros. Para DBO, considerou-se uma contribuição média *per capita* característica de 54 g/hab.dia; para Fósforo, considerou-se 1 g/hab.dia; e para Nitrogênio, considerou-se 8 g/hab.dia. Esses valores são usualmente utilizados na literatura internacional e constam em Von Sperling (2005). A carga total gerada pela população foi então distribuída em carga coletada, carga tratada *in situ* e carga não tratada, aplicando-se os mesmos índices do Quadro 9.

Para a parcela de esgoto tratado *in situ* (considerou-se fossas sépticas associadas à sumidouros) associou-se uma eficiência de remoção de DBO, Fósforo e Nitrogênio de 60%, 60% e 50%, respectivamente (VON SPERLING, 2005). Os Quadro 13, Quadro 14 e Quadro 15 apresentam o aporte potencial de DBO, Fósforo e Nitrogênio ao aquífero Barreiras, respectivamente, na região de Belém.

Quadro 13 – Aporte potencial de DBO ao aquífero Barreiras em Belém e municípios adjacentes

Município	Carga gerada (kg/dia)	Carga coletada (kg/dia)	Carga tratada em solução individual (kg/dia)	Infiltração de DBO (kg/dia)
Ananindeua	27.867	3.144	12.276	5.225
Belém	78.423	16.032	24.404	11.365
Benevides	3.293	55	1.142	462
Marituba	6.904	300	1.049	450
Santa Bárbara do Pará	1.107	23	357	145
Santa Izabel do Pará	3.717	43	728	296
Total	121.311	19.596	39.957	17.942

Quadro 14 – Aporte potencial de Nitrogênio ao aquífero Barreiras em Belém e municípios adjacentes

Município	Carga gerada (kg/dia)	Carga coletada (kg/dia)	Carga tratada em solução individual (kg/dia)	Infiltração de Nitrogênio (kg/dia)
Ananindeua	4.122	466	1.819	774
Belém	11.608	2.375	3.615	1.684
Benevides	376	8	169	68
Marituba	1.015	44	155	67
Santa Bárbara do Pará	119	3	53	21
Santa Izabel do Pará	493	6	108	44
Total	17.732	2.903	5.920	2.658

Quadro 15 – Aporte potencial de Fósforo ao aquífero Barreiras em Belém e municípios adjacentes

Município	Carga gerada (kg/dia)	Carga coletada (kg/dia)	Carga tratada em solução individual (kg/dia)	Infiltração de Fósforo (kg/dia)
Ananindeua	515	58	227	119
Belém	1.451	297	452	256
Benevides	47	1	21	11
Marituba	127	6	19	10
Santa Bárbara do Pará	15	0	7	3
Santa Izabel do Pará	62	1	13	7
Total	2.217	363	740	406

9.3 ATIVIDADES RELATIVAS À DRENAGEM URBANA

O processo de urbanização produz alterações significativas no meio ambiente e nos processos hidrológicos. A supressão da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo praticamente tornam nula a infiltração nos grandes centros urbanos. Esse cenário acarreta a diminuição da recarga natural dos aquíferos e provoca aumento do escoamento superficial das águas pluviais, que chegarão em maior volume e velocidade aos corpos d'água receptores, muitas vezes ocasionando inundações, enxurradas e alagamentos.

A descarga urbana relativa à drenagem urbana, ou seja, a parcela da água da chuva que deixa de infiltrar e recarregar os aquíferos devido à impermeabilização do solo foi estimada com base nos estudos de Campana & Tucci (1994), que obtiveram curvas que relacionam a densidade demográfica de uma região com a área do solo impermeabilizada a partir de dados das cidades de Porto Alegre, São Paulo e Curitiba (Quadro 16).

Quadro 16 – Densidade habitacional e área impermeável

Densidade populacional (hab/ha)	Área impermeável (%)
25	11,3
50	23,3
75	36,0
100	50,0
120	58,7
150	64,7
200	66,7

Fonte: Campana & Tucci (1994).

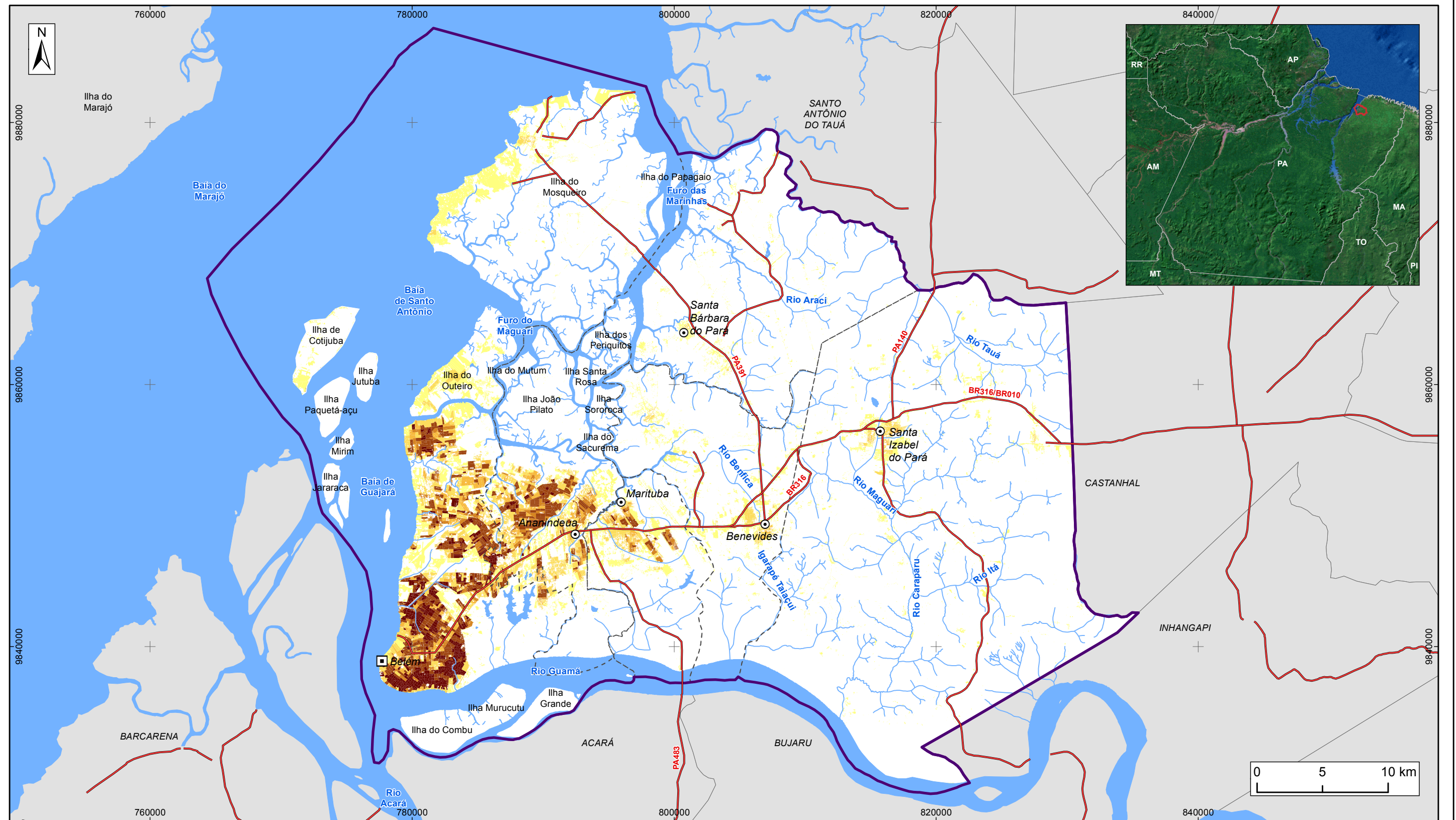
Campana & Tucci (1994) mostraram a partir de imagens de satélite, que a densidade populacional guarda uma boa correlação com a impermeabilização dos terrenos, que tende a uma saturação ao redor de 66,7% a partir de 100 habitantes/hectare, quando então a verticalização manifesta-se mais fortemente.

Cabe lembrar que o valor adotado pelo *Natural Resources Conservation Service* (EUA) para áreas residenciais com lotes menores que 500 m², típico da ocupação urbana brasileira, é de 65%, corroborando os estudo de Campana & Tucci (1994). Conforme Menezes Filho & Tucci (2012), essas relações têm sido utilizadas largamente no Brasil em Planos Diretores de Drenagem Urbana.

No presente estudo, a densidade populacional foi calculada por setor censitário (IBGE, 2010). Foram selecionados apenas os setores censitários inseridos nas áreas urbanas do mapeamento de uso e ocupação do solo, uma vez que o objetivo era abordar isoladamente as recargas sob influência da urbanização. Feito isso, calculou-se a densidade populacional de cada setor censitário e os mesmos foram reclassificados atribuindo-se os índices de permeabilidade do trabalho de Campana & Tucci (1994). A Figura 30 apresenta o resultado dessa reclassificação.

Em seguida, multiplicou-se o *raster* índice de permeabilidade dos setores censitário em área urbana pelo *raster* recarga natural dos aquíferos livres, calculado pelos métodos climatológico e de hidrologia de superfície, apresentado no Volume 2 – Tomo I.

A recarga natural média dos aquífero livres, sem considerar a impermeabilização do solo, é de 10,580 m³/s. Após a multiplicação pelos índices de permeabilidade a recarga média resultou em 10,533 m³/s, o que representa um déficit de 0,047 m³/s para as águas subterrâneas, ou seja, a impermeabilização do solo nas áreas urbanas reduz em 0,44% a infiltração de água no solo na região de Belém. A Figura 31 apresentam uma comparação das recargas, antes e após a impermeabilização do solo.



LEGENDA

- Capital Estadual **Área impermeável**
 - ⊙ Sede Municipal
 - ~ Hidrografia
 - Rodovia
 - ☪ Massa d'água
 - ⊕ Área de Estudo
 - - - Limite municipal
- | | |
|--|---------------|
| | 11,3% |
| | 11,4% - 36% |
| | 36,1% - 50% |
| | 50,1% - 58,7% |
| | 58,8% - 66,7% |
| | 66,8% - 100% |

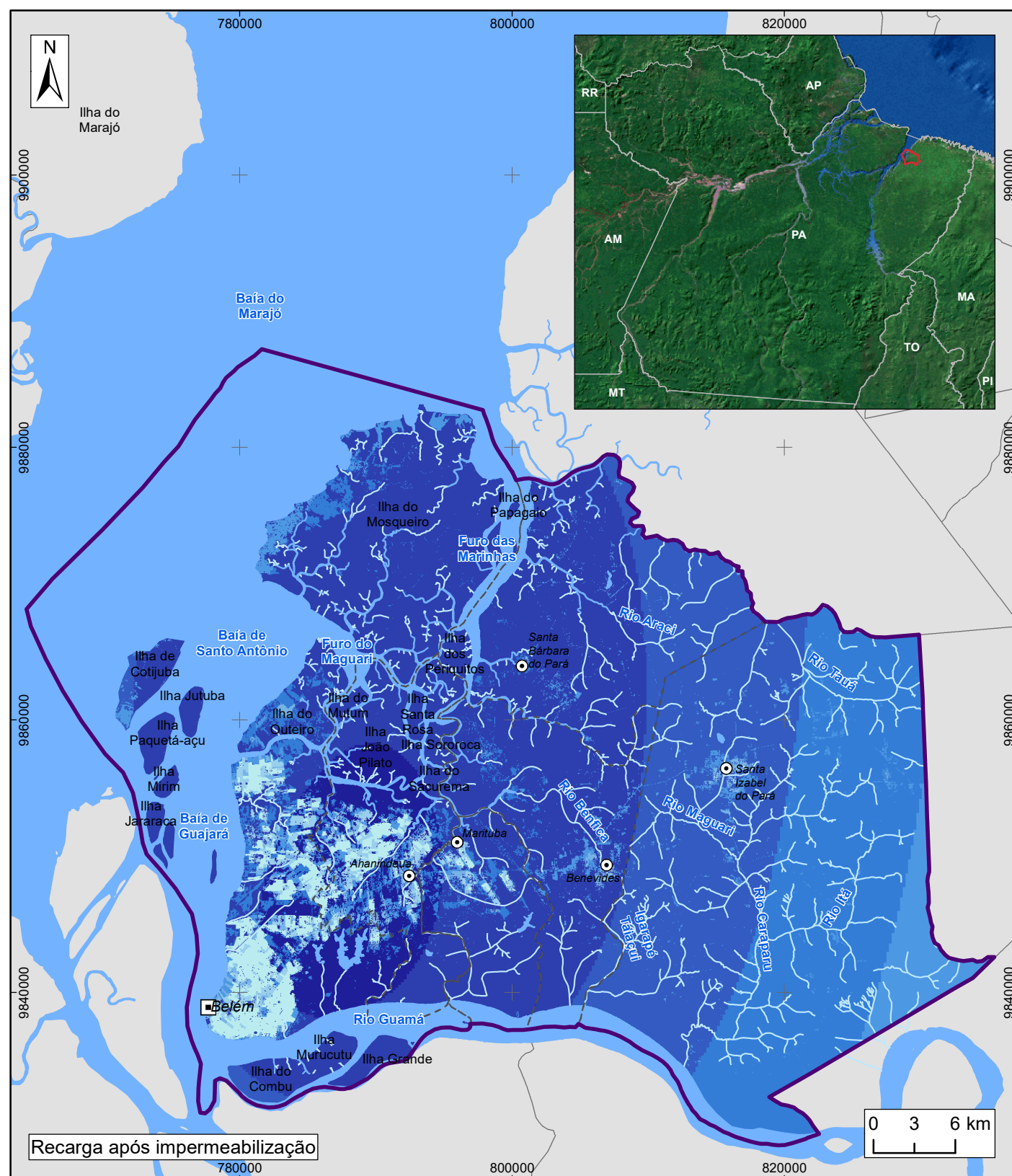
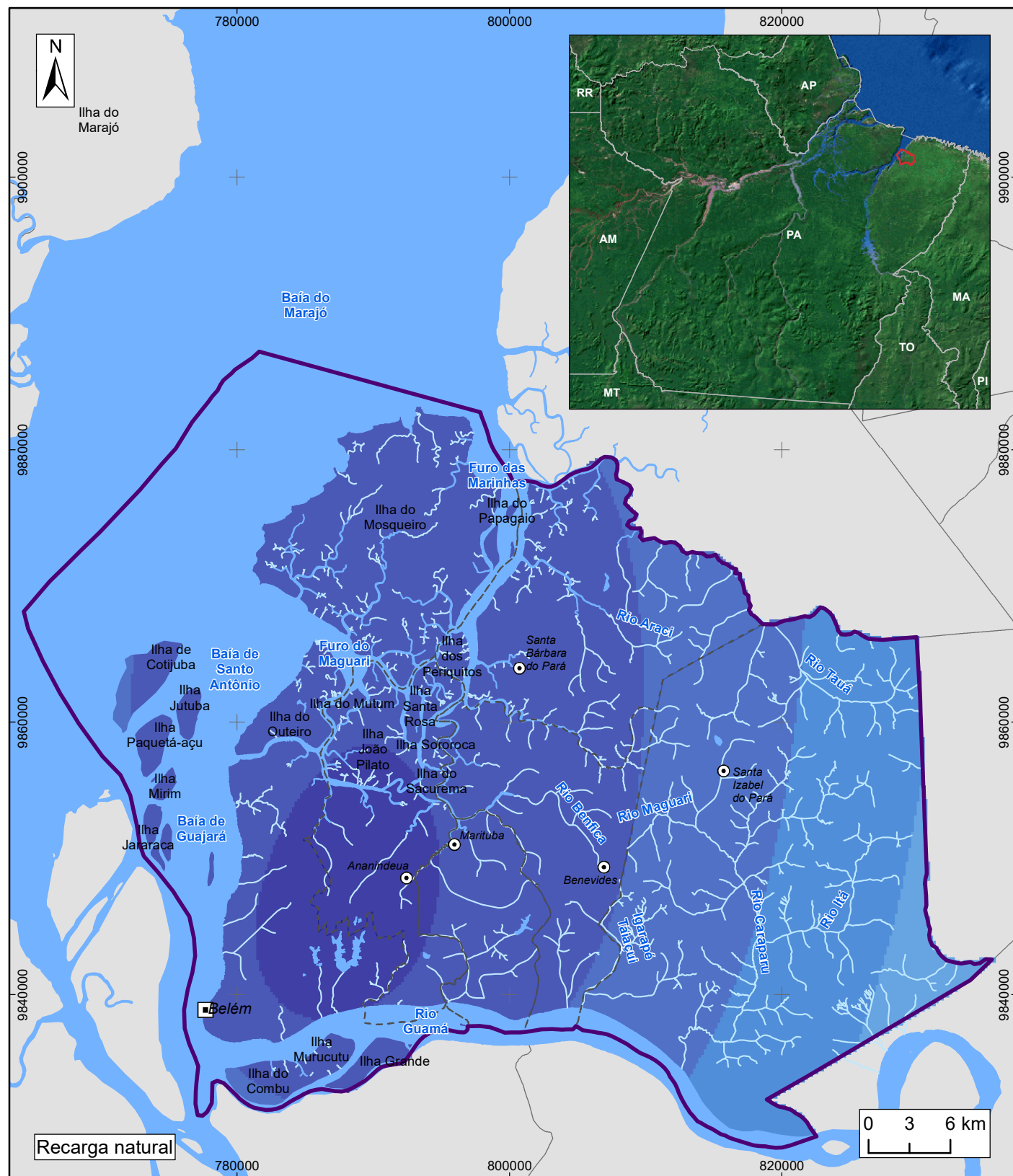
Figura 30 – Taxa de permeabilidade, por setor censitário nas áreas edificadas



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Impermeabilidade por setor censitário: Elaborado a partir de Campana e Tucci (1994), conforme densidade demográfica do Censo 2010

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_30_Taxa_permeabilidade_Sector_A3
Escala:	1:290.000



LEGENDA

	Recarga Natural (m ³ /s)	Recarga após impermeabilização (m ³ /s)
▣ Capital Estadual	2,21 - 4,5	2,21 - 4,5
⊙ Sede Municipal	4,51 - 6,5	4,51 - 6,5
~ Hidrografia	6,51 - 8,5	6,51 - 8,5
☒ Massa d'água	8,51 - 10	8,51 - 10
☒ Área de Estudo	10,1 - 10,5	10,1 - 10,5
⋯ Limite municipal	10,6 - 11	10,6 - 11
	11,1 - 11,5	11,1 - 11,5
	11,6 - 12	11,6 - 12

Figura 31 – Distribuição da recarga na região de Belém antes e após a impermeabilização do solo



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA

Fonte: Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA. Recarga: ANA/Profill

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_31_Recarga_antes_apos_impermeabilizacao_A3
Escala:	1:400.000

9.4 RECARGA URBANA E SEUS IMPACTOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os estudos pormenorizados apresentados anteriormente, permitiram estimar os volumes explotados dos aquíferos nas áreas urbanas e os volumes de contribuição de cada componente da recarga urbana e avaliar os possíveis impactos dessa recarga no aquífero Barreiras.

Nos municípios da região de Belém, os índices de perdas físicas nas redes de distribuição de água, que representam o percentual da água disponibilizada para uso que não chega aos consumidores em decorrência de vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema, são superiores ao índice médio do Brasil (36,7%) e ao índice médio do Estado do Pará (39,7%), com exceção de Benevides. A distribuição das perdas físicas na rede de abastecimento público dos municípios estudados é mostrada na Figura 32. As perdas totais foram estimadas em 3,022 m³/s de água. O volume de água oriundo do vazamento das redes de distribuição do sistema público de abastecimento infiltram no solo e contribuem para a recarga dos aquíferos.

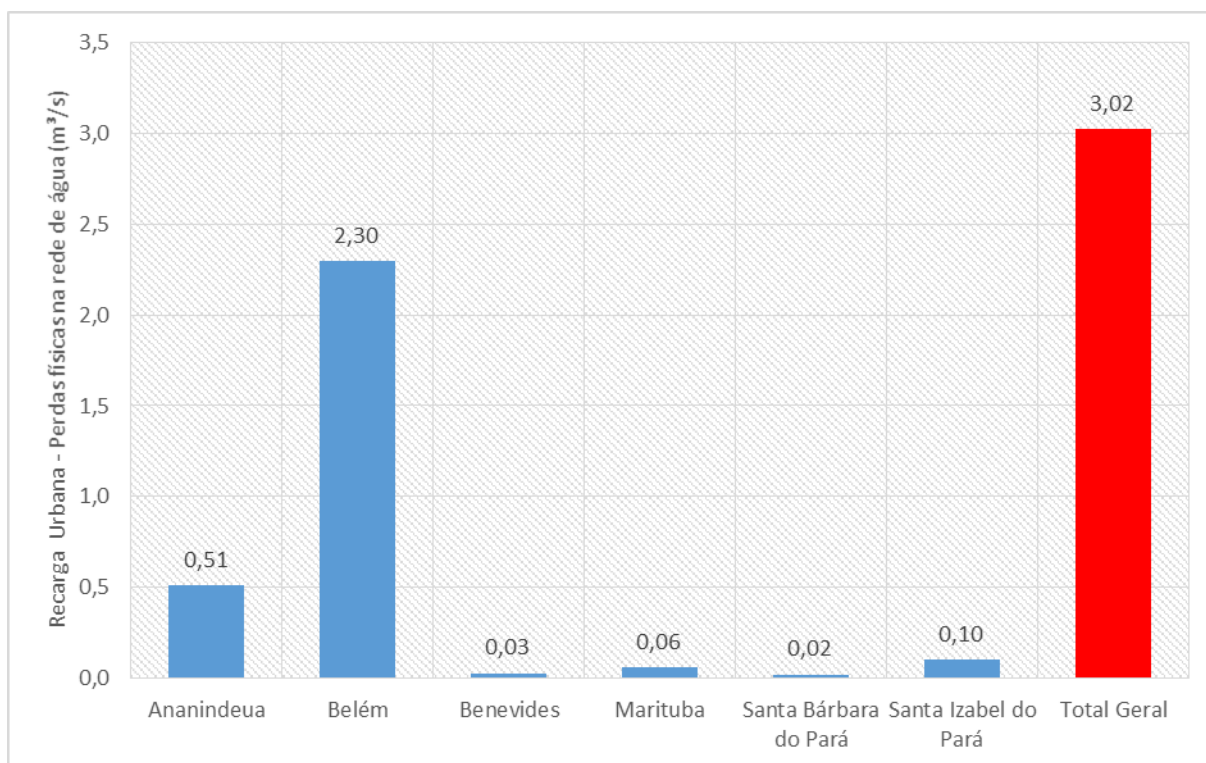


Figura 32 – Perdas físicas na rede de distribuição de água para abastecimento público

No que se refere à rede de coleta de esgoto, os índices de coleta são extremamente baixos na área estudada, muito abaixo da média nacional (55,2%). Conforme ANA (2017), o Município de Belém apresenta o maior índice de coleta (20,5%), seguido de Ananindeua (11,3%), os quais apresentam índices de coleta superiores ao índice do Estado do Pará (5,4%). Os demais municípios têm índices que variam do máximo de 4,4% (Marituba) ao mínimo de 1,3% (Santa Izabel do Pará). Além de baixos, os volumes coletados de esgoto não são tratados, com exceção do Município de Belém que trata pouco mais de 10% dos efluentes. A deficiência da coleta de esgotos propicia o uso de alternativas individuais de tratamento do esgoto *in situ*, como fossas e sumidouros, etc.

A partir dos índices de coleta e tratamento disponíveis no Atlas Esgoto (ANA, 2017), estima-se que na região de Belém, apenas 15,9% do esgoto gerado é coletado (0,782 m³/s), 52,6% dos esgotos são lançados em corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento (2,580 m³/s), enquanto 31,5% recebem tratamento por meio de solução individual (1,547 m³/s). Os efluentes industriais não foram considerados, uma vez que não existem dados nos cadastros dos órgãos ambientais.

A infiltração potencial no solo por efluentes, principalmente domésticos, originados de vazamentos na rede coletora de esgotos e de práticas de saneamento *in situ* foi estimada para a região de Belém em 1,316 m³/s, ou seja, dos 4,909 m³/s de esgoto gerado (estimado por este estudo), 26,8% infiltram no solo, contribuindo para a recarga e potencial contaminação do aquífero Barreiras.

O Município de Belém registra o maior valor de recarga potencial por esgotamento sanitário (0,836 m³/s) em razão da maior população do município, seguido do Município de Ananindeua (0,407 m³/s). Os demais municípios de área estudada somam apenas 0,073 m³/s (Figura 33).

Os impactos nos aquíferos causados por vazamentos de água tratada da rede de abastecimento pública, vazamentos da rede coletora de esgotos e despejo de efluentes *in natura* em alternativas individuais de tratamento do esgoto *in situ* são bastante distintos.

As águas superficiais são mais susceptíveis à poluição e podem apresentar qualidades físicas e bacteriológicas impróprias para o consumo humano. A poluição dos rios e represas com esgoto e rejeitos químicos nocivos também pode afetar a qualidade da água de abastecimento público, uma vez que o tratamento da água bruta pode não ser totalmente eficiente. A água que se infiltra nos aquíferos em decorrência de vazamentos na rede de

distribuição têm características hidroquímicas diferentes daquelas encontradas em condições naturais nos aquíferos. As interações dessas águas modificam o ambiente hidroquímico natural e podem provocar dissolução ou precipitação de minerais, além de carregar em sua composição compostos poluentes, vindo a alterar a qualidade da água subterrânea.

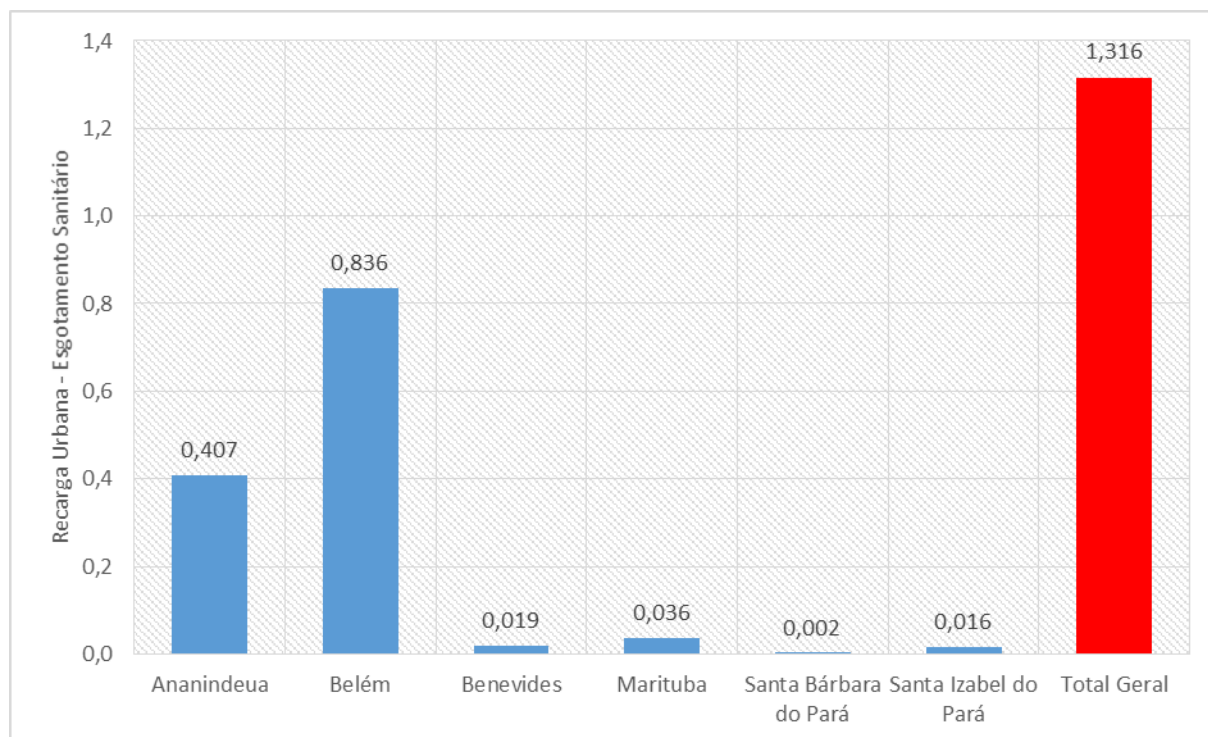


Figura 33 – Perdas na rede coletora de esgoto e infiltração em decorrência da utilização de alternativas individuais de tratamento do esgoto *in situ*.

Segundo Vinhal-Freitas *et al.* (2010), a maior ou menor disponibilidade dos metais é determinada pelos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos como teor e tipo de argila, capacidade de troca catiônica, teor de matéria orgânica, pH, entre outros. Esses atributos influenciam as reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução que, em conjunto, governam as formas de ocorrência dos elementos no solo. Se a capacidade adsorptiva do solo for ultrapassada, o elemento ficará potencialmente disponível para ser lixiviado para o aquífero.

Além disso, tanto a água superficial como a subterrânea são submetidas a tratamentos físicos, químicos ou uma combinação destes, com vistas ao atendimento do padrão de potabilidade exigido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. O tratamento para eliminar bactérias e outros microorganismos que podem estar presentes na água requer a adição de cloro em concentração mínima residual de 0,2 mg/L. Dependendo da concentração de cloro e da velocidade de escoamento, redes de distribuição de água de

aço galvanizado podem sofrer corrosão e oxidação em diferentes intensidades, conforme as características químicas da água. Os efeitos indesejáveis compreendem a liberação de óxidos e hidróxidos de zinco, ferro, cádmio, chumbo e outros elementos contaminantes que podem atingir os aquíferos (TAJCHMAN, 1985).

Segundo Foster *et al.* (1998), os vazamentos da rede de distribuição de água são expressivos em termos de quantidade, mas pouco significantes no que se refere à contaminação das águas subterrâneas. Já os vazamentos da rede de esgoto ocorrem em pequena quantidade, porém, a qualidade da água que pode se infiltrar no aquífero é ruim (Quadro 17).

Quadro 17 – Recarga e poluentes associados

Fonte de Recarga	Importância	Qualidade	Poluentes indicadores
Vazamentos da rede de distribuição de água	Grande	Boa	Nenhum indicador óbvio
Irrigação de jardins	Moderada a Grande	Geralmente boa	Nenhum indicador óbvio
Fossas	Grande	Ruim	N, B, Cl, CF
Vazamentos da rede de esgoto	Menor	Ruim	N, B, Cl, CF, SO ₄ , produtos químicos industriais
Bacias de drenagem de água superficial	Menor a maior	Boa a ruim	N, Cl, CF, HC, C, produtos químicos industriais
Infiltração proveniente de canais e rios	Menor a maior	Moderada a ruim	N, B, Cl, SO ₄ , CF, C, produtos químicos industriais

B: Boro; CF: Coliformes Fecais; Cl: Cloreto e geralmente salinidade; C: Carbono; HC: Hidrocarbonetos; N: Compostos Nitrogenados; SO₄: Sulfato

Fonte: Foster *et al.* (1998).

As redes de esgotamento geralmente conduzem dois grupos principais de efluentes: os sanitários e os industriais.

Os esgotos sanitários compreendem os despejos domésticos e são constituídos por matérias orgânicas e inorgânicas nas formas dissolvida, coloidal e suspensão. Os componentes orgânicos são constituídos por proteínas, carboidratos, gorduras, ureia e surfactantes, enquanto os inorgânicos são constituídos por substâncias minerais dissolvidas e areia (PAGANINI, 1997). Microorganismos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos estão presentes, sendo que os primeiros são predominantes e responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

Foster & Hirata (1993) ressaltam que o principal contaminante da água subterrânea na zona urbana é proveniente do saneamento sem rede de coleta de esgoto, como fossas e sumidouros. Segundo os autores, boro, cloretos, hidrocarbonetos, compostos nitrogenados e sulfatos são os principais contaminantes provenientes do efluente sanitário (Quadro 17).

Os esgotos industriais possuem características químicas, físicas e biológicas próprias, variáveis em função do tipo de indústria, período de operação, matéria-prima utilizada, reutilização da água, etc. Destacam-se entre os principais contaminantes industriais os corantes (sólidos dissolvidos), tintas, óleos e graxas, ceras, ácidos graxos (geralmente insolúveis em água), detergentes (utilizados na lavagem de peças), ácidos usados nas indústrias de galvanoplastia, entre outros.

A caracterização do efluente industrial é de difícil consecução pela complexidade de processos e de elementos contaminantes envolvidos na produção. Normalmente, esses efluentes são lançados em um corpo hídrico superficial ou reutilizados após algum tipo de tratamento. A inexistência de um cadastro público não permitiu uma análise dos volumes de efluentes industriais gerados e descartados para o solo.

Não se pode desprezar, na qualidade da água da recarga urbana, as águas de precipitações atmosféricas que atingem regiões antropizadas e infiltram nos aquíferos rasos. Essas águas podem carrear poluentes industriais dispersos no ar e lavar superfícies contaminadas por diferentes componentes orgânicos e metais, como por exemplo, aterros sanitários, lixões, valas de lixo doméstico e lixo acumulado nas ruas, postos de combustível, cemitérios, etc. Ainda que a maior parte dessa água residual urbana seja descarregada para as drenagens, uma parcela pode se infiltrar e alcançar os aquíferos. Estudos geofísicos e hidroquímicos constataram contaminação de águas subterrâneas rasas em cemitérios de Belém (BRAZ *et al.*, 2000; NASCIMENTO, 2009).

A despeito da ação atenuadora na retenção de elementos contaminantes que se infiltram no solo carregados pela água, a recarga derivada dos esgotos sanitários e industriais é potencialmente prejudicial à qualidade natural da água subterrânea. Do ponto de vista prático, a percolação de águas residuais deve ser vista como um processo de contaminação do aquífero em desenvolvimento.

10 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM CENÁRIO TENDENCIAL

Visando avaliar o impacto da urbanização nas águas subterrâneas nos horizontes de curto (2022), médio (2027) e longo prazo (2037), foi elaborado um cenário tendencial de crescimento econômico e populacional; e otimista relacionado aos serviços de saneamento básico. A população e o PIB Industrial foram projetados para cada horizonte temporal e a demanda hídrica para abastecimento humano, indústria e outros usuários seguiu a mesma proporção de crescimento dessas variáveis. Para cada horizonte temporal, foram incorporadas melhorias aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Em relação ao abastecimento de água, considerou-se que, até 2037, 94% da população seja atendida com rede pública de abastecimento e que as perdas na rede de distribuição de água sejam reduzidas e alcancem índices em torno de 33%, metas do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab).

Em relação ao esgotamento sanitário, considerou-se que, até 2037, a coleta e o tratamento de esgoto alcancem 87% da população, meta do Plansab; e que a população que hoje se utiliza de solução individual para tratamento de esgoto *in situ*, seja incorporada gradativamente aos novos sistemas de coleta.

O Quadro 18 apresenta a população total dos municípios da região de Belém observada nos Censos de 1991, 2000 e 2010 e a população estimada pelo IBGE para 2017. A população foi então projetada para os horizontes de curto, médio e longo prazo, estimada utilizando-se a última taxa geométrica de crescimento observada entre 2010 e 2017, apresentada no Quadro 19.

Quadro 18 – Evolução e projeção da população total, por município.

População Total (hab)							
Ano	Ananindeua	Belém	Benevides	Marituba	Santa Bárbara do Pará	Santa Izabel do Pará	Total
Valores Observados							
1991	244.442	1.084.996	18.867	44.492	8.509	33.329	1.434.635
2000	393.569	1.280.614	35.546	74.429	11.378	43.227	1.838.763
2010	471.980	1.393.399	51.651	108.246	17.141	59.466	2.101.883
Projeção - Método Geométrico							
2017	516.057	1.452.275	60.990	127.858	20.492	68.836	2.246.508
2022	550.039	1.495.846	68.678	144.007	23.280	76.420	2.358.270
2027	586.259	1.540.725	77.334	162.195	26.446	84.839	2.477.798
2037	666.010	1.634.562	98.059	205.753	34.131	104.563	2.743.078

Fonte: IBGE (1991, 2000 e 2010).

Quadro 19 – Taxas geométricas de crescimento da população total, por município.

Município	Taxa Geométrica (% a.a)			
	1991	2000	2010	2017
Ananindeua	-	5,43%	1,83%	1,28%
Belém	-	1,86%	0,85%	0,59%
Benevides	-	7,29%	3,81%	2,40%
Marituba	-	5,88%	3,82%	2,41%
Santa Bárbara do Pará	-	3,28%	4,18%	2,58%
Santa Izabel do Pará	-	2,93%	3,24%	2,11%

A projeção das demandas do setor industrial e de outros usuários foi avaliada em função da tendência de crescimento dos Valores Agregados Brutos (VAB) da indústria entre 2002 e 2015. Os valores foram obtidos no site do IBGE para cada município da região de Belém. A evolução e a projeção do VAB Industrial são apresentadas no Quadro 20.

Quadro 20 – Evolução e projeção do VAB Industrial, por município.

VAB Indústria (R\$ 1.000)							
Ano	Ananindeua	Belém	Benevides	Marituba	Santa Bárbara do Pará	Santa Izabel do Pará	Total
Valores Observados							
2002	268.828	1.395.195	20.546	98.912	8.520	33.352	1.825.353
2003	257.945	1.786.434	19.460	87.119	6.741	31.560	2.189.259
2004	391.075	2.142.930	27.070	137.923	12.891	48.405	2.760.294
2005	435.549	1.981.197	53.512	128.736	16.241	37.164	2.652.399
2006	518.470	2.120.689	131.622	133.998	26.092	31.010	2.961.881
2007	533.565	2.014.746	200.145	140.232	30.776	35.946	2.955.409
2008	553.094	2.316.006	219.720	137.634	28.058	38.726	3.293.238
2009	507.714	2.256.453	183.217	115.915	16.752	43.092	3.123.142
2010	670.904	2.691.089	231.197	144.135	16.022	60.091	3.813.438
2011	834.337	3.407.447	260.503	130.383	21.227	73.991	4.727.888
2012	1.046.100	4.792.097	286.299	118.029	26.099	11.792	6.280.416
2013	845.420	3.990.043	334.996	143.032	23.633	58.831	5.395.954
2014	1.027.552	4.319.939	361.626	185.750	31.938	69.283	5.996.089
2015	1.130.121	4.370.083	388.270	167.637	30.003	78.856	6.164.971
Projeção Tendencial							
2017	1.203.711	4.905.627	448.025	168.094	32.040	69.006	6.826.503
2022	1.533.066	6.128.107	597.980	189.204	39.095	82.351	8.569.803
2027	1.862.421	7.350.587	747.935	210.314	46.150	95.696	10.313.103
2037	2.521.131	9.795.547	1.047.845	252.534	60.260	122.386	13.799.703

A Figura 34 apresenta a tendência de crescimento do VAB Industrial de cada município, assim como a projeção, a partir da tendência observada.



Figura 34 – Evolução e Projeção do VAB Industrial, por município.

10.1 AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

10.1.1 Abastecimento Humano

A seguir, são apresentadas as premissas adotadas para o abastecimento humano em cada horizonte temporal.

Curto prazo (2022):

- Reduzir a 50% os habitantes sem acesso a abastecimento público.
- Não haverá investimento em redução de perdas na rede de água.
- População incremental será 100% atendida com abastecimento público.

Médio prazo (2027):

- Reduzir a 16% os habitantes sem acesso a abastecimento público.
- Reduzir as perdas de água a no máximo 41%.
- População incremental será 100% atendida com abastecimento público.

Longo prazo (2037):

- Reduzir a 6% os habitantes sem acesso a abastecimento público.
- Reduzir as perdas de água a no máximo 33%.
- População incremental será 100% atendida com abastecimento público.

Nos municípios cujos índices de cobertura e de perdas estão dentro das premissas pré-estabelecidas, manteve-se o índice do cenário atual. É o caso, por exemplo do Município de Belém, cujo índice de cobertura atual é de 90,1% (acima da meta estabelecida); e o Município de Benevides, cujo índice de perdas atual é de 30,2% (acima da meta estabelecida). Os índices de cobertura e de perdas, para cada horizonte temporal, podem ser visualizados no Quadro 21 e no Quadro 22, respectivamente.

Quadro 21 – Índices de cobertura com abastecimento público de água adotados em cada horizonte temporal.

Município	Índice de Cobertura (%)			
	2015	2022	2027	2037
Ananindeua	33,3	50,0	84,0	94,0
Belém	90,1	90,1	90,1	94,0
Benevides	47,7	50,0	84,0	94,0
Marituba	22,2	50,0	84,0	94,0
Santa Bárbara do Pará	60,1	60,1	84,0	94,0
Santa Izabel do Pará	62,1	62,1	84,0	94,0

Quadro 22 – Índices de perdas na rede de distribuição de água adotados em cada horizonte temporal.

Município	Índice de Perdas (%)			
	2015	2022	2027	2037
Ananindeua	48,9	48,9	41,0	33,0
Belém	40,8	40,8	35,0	33,0
Benevides	30,2	30,2	30,2	30,2
Marituba	48,7	48,7	41,0	33,0
Santa Bárbara do Pará	43,8	43,8	41,0	33,0
Santa Izabel do Pará	50,5	50,5	41,0	33,0

A partir da projeção da população e das premissas apontadas no Quadro 21, estimou-se a população atendida por sistema público de abastecimento (Quadro 23 e Figura 35) e a população não atendida (Quadro 24 e Figura 36) em cada horizonte temporal.

Quadro 23 – Projeção da população atendida por sistema público de abastecimento, por município.

Município	População atendida (hab)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	171.847	292.011	503.690	635.047
Belém	1.308.500	1.352.071	1.396.950	1.547.426
Benevides	29.097	38.183	67.576	94.400
Marituba	28.384	80.078	141.738	198.082
Santa Bárbara do Pará	12.309	15.097	23.167	32.901
Santa Izabel do Pará	42.727	50.311	73.825	100.433
Total	1.592.864	1.827.751	2.206.946	2.608.289

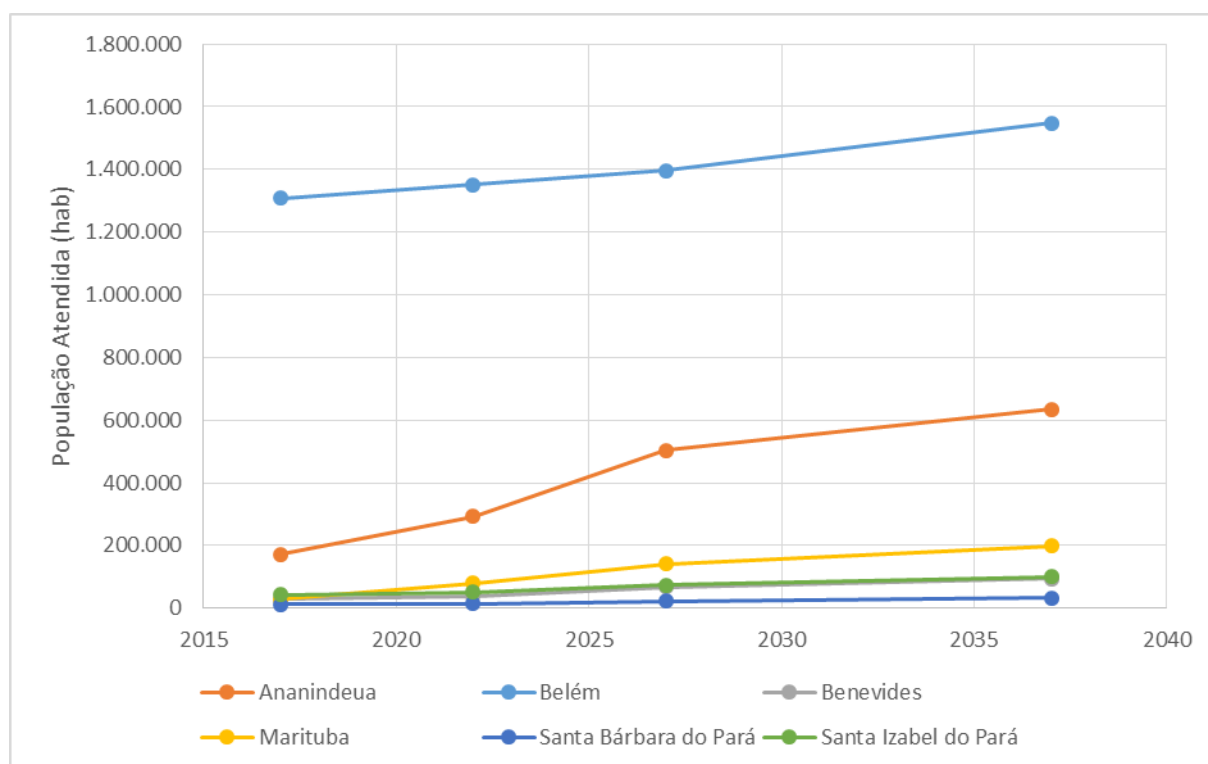


Figura 35 – Projeção da população atendida por sistema público de abastecimento, por município.

Quadro 24 – Projeção da população não atendida por sistema público de abastecimento, por município

Município	População não atendida (hab)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	344.210	258.028	82.569	30.963
Belém	143.775	143.775	143.775	87.136
Benevides	31.893	30.495	9.758	3.659
Marituba	99.474	63.929	20.457	7.671
Santa Bárbara do Pará	8.183	8.183	3.279	1.230
Santa Izabel do Pará	26.109	26.109	11.014	4.130
Total	653.644	530.519	270.852	134.789

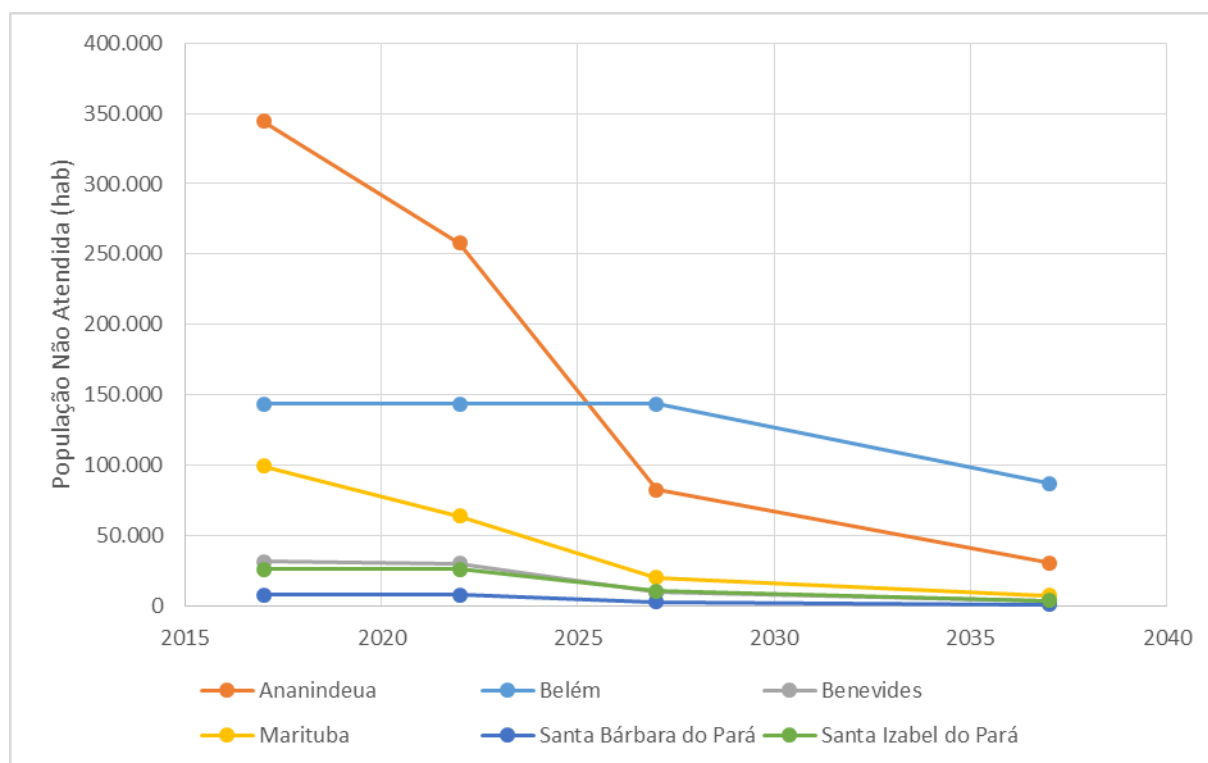


Figura 36 – Projeção da população não atendida por sistema público de abastecimento, por município

Para a estimativa da quantidade de água a ser produzida pelos sistemas públicos de abastecimento, multiplicou-se o consumo médio *per capita* de cada município pela população atendida em cada horizonte temporal, considerando-se a quantidade de água perdida na rede de distribuição. Para Ananindeua, Belém e Marituba foi utilizado o consumo médio *per capita* informado pela COSANPA (2018) (Quadro 1). Para os demais municípios, utilizou-se um consumo médio *per capita* de 200 L/hab.dia. O Quadro 25 e a Figura 37 apresentam a quantidade de água a ser produzida para abastecimento da população atendida por sistema público.

Quadro 25 – Projeção da quantidade de água a ser produzida pelos sistemas públicos de abastecimento

Município	Produção – Abastecimento Público (m³/s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	1,05	1,79	2,67	2,96
Belém	5,63	5,82	5,82	5,82
Benevides	0,10	0,13	0,22	0,31
Marituba	0,12	0,34	0,53	0,65
Santa Bárbara do Pará	0,05	0,06	0,09	0,11
Santa Izabel do Pará	0,20	0,24	0,29	0,35
Total	7,15	8,37	9,62	10,20

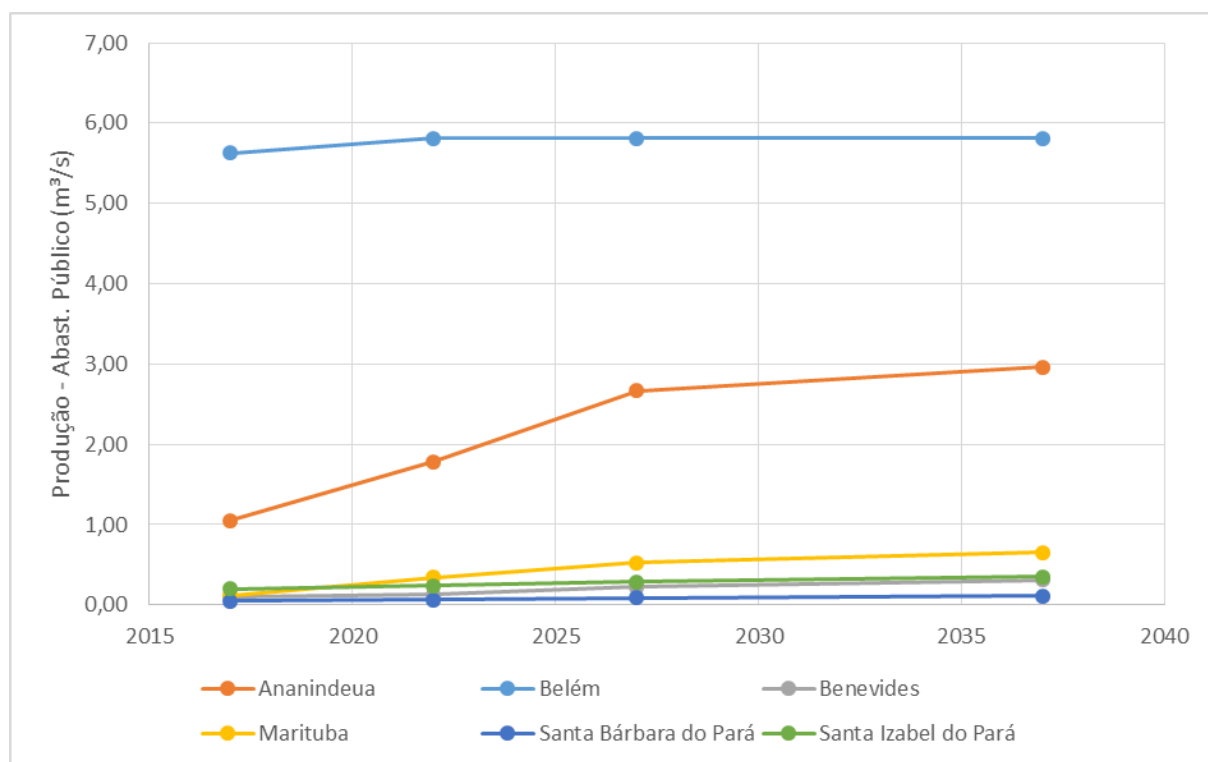


Figura 37 – Projeção da quantidade de água a ser produzida pelos sistemas públicos de abastecimento

O Quadro 26 e a Figura 38 apresentam a projeção das perdas na rede pública de água, considerando as premissas estabelecidas no Quadro 22.

Quadro 26 – Projeção das perdas nos sistemas público de abastecimento

Município	Perdas – Abastecimento Público (m ³ /s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,51	0,87	1,09	0,98
Belém	2,30	2,37	2,04	1,92
Benevides	0,03	0,04	0,07	0,09
Marituba	0,06	0,17	0,22	0,21
Santa Bárbara do Pará	0,02	0,03	0,04	0,04
Santa Izabel do Pará	0,10	0,12	0,12	0,11
Total	3,02	3,60	3,57	3,36

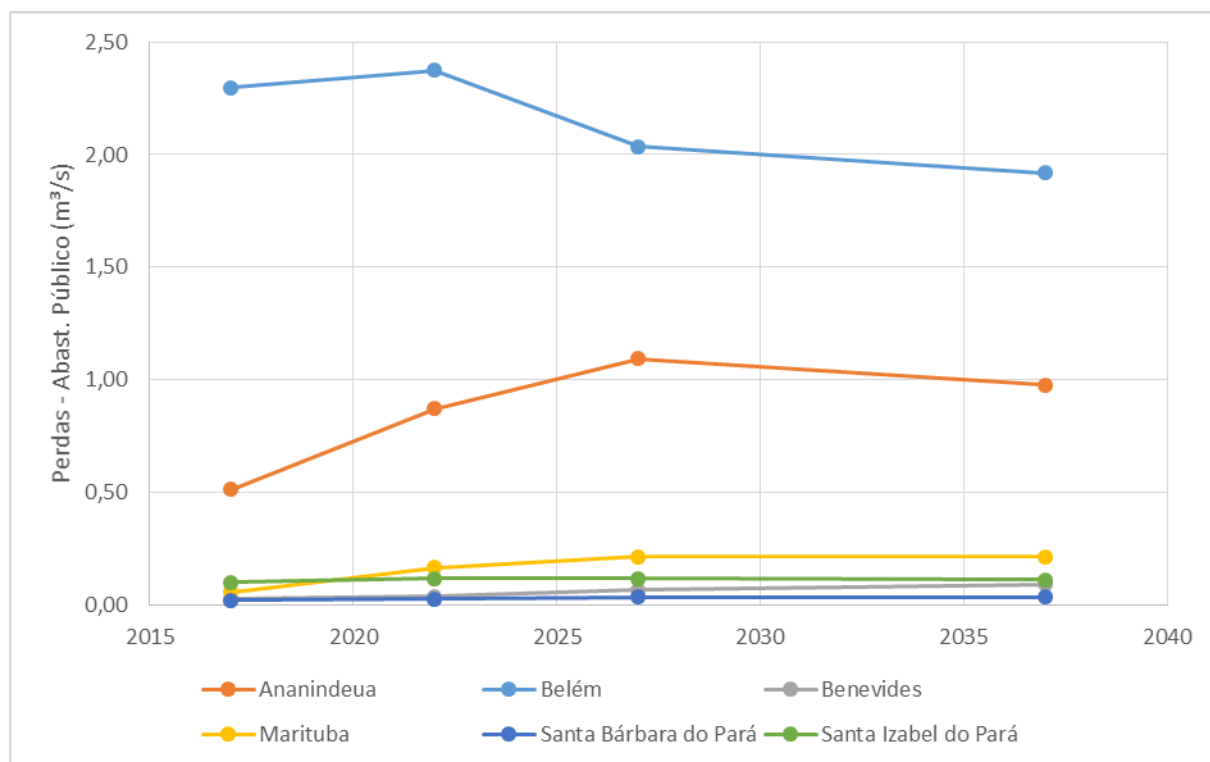


Figura 38 – Projeção das perdas nos sistemas público de abastecimento

Ao observar a Figura 37 e a Figura 38, percebe-se que o Município de Belém não precisaria mais aumentar a produção de água, caso investisse no controle das perdas físicas (eficiência dos sistemas) a partir de 2022. A vazão que deixaria de ser perdida, seria suficiente para suprir a demanda de 94% da população do município até 2037.

O maior crescimento na produção de água é verificado em Ananindeua (Figura 37) pelo fato do índice de atendimento atual ser muito baixo (33,3%). Com o aumento da cobertura de atendimento da população, seria necessário um investimento significativo na produção de água e na rede de distribuição. Esse aumento na rede de distribuição seria acompanhado por um crescimento das perdas (Figura 38), pois mais água estaria sendo distribuída e, conseqüentemente, mais água estaria sendo perdida. Marituba também apresenta atualmente um índice de cobertura baixo (22,2%), mas como o município é menos

populoso, a expansão necessária de produção de água é menos significativa. Além de um aumento na produção, também se nota um incremento nas perdas na rede de distribuição de água desse município, uma vez que mais água estaria sendo distribuída.

Para a estimativa da demanda de água necessária para abastecimento do restante da população que não recebe água da rede pública, considerou-se um consumo médio *per capita* de 200 L/hab.dia para a população residente em área urbana e 100 L/hab.dia para a população residente em área rural. O Quadro 27 e a Figura 39 apresentam a projeção da demanda para a população não atendida por sistema público de abastecimento.

Quadro 27 – Projeção da demanda hídrica para a população não atendida por sistema público.

Município	Demanda total – População não atendida (m³/s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,796	0,597	0,191	0,072
Belém	0,331	0,331	0,331	0,201
Benevides	0,058	0,055	0,018	0,007
Marituba	0,229	0,147	0,047	0,018
Santa Bárbara do Pará	0,012	0,012	0,005	0,002
Santa Izabel do Pará	0,052	0,052	0,022	0,008
Total	1,478	1,195	0,614	0,307

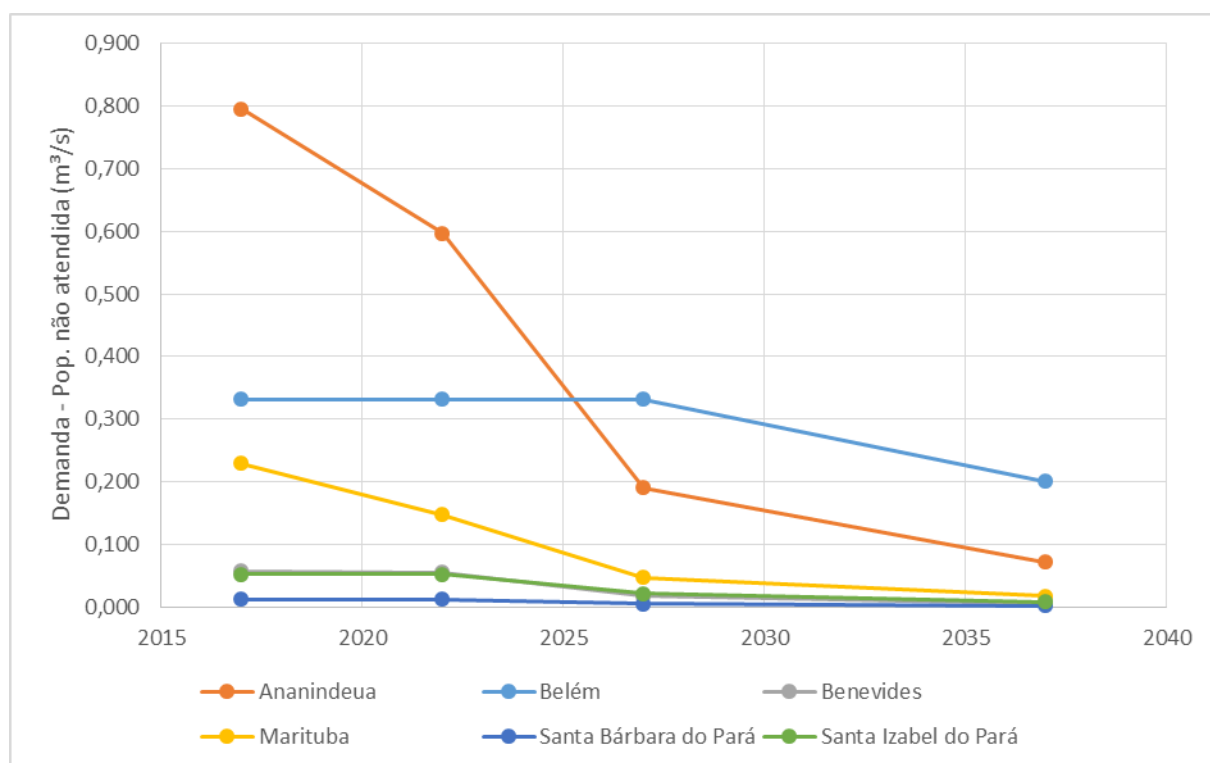


Figura 39 – Projeção da demanda hídrica para a população não atendida por sistema público.

Percebe-se, portanto, uma redução da população que se abastece com fontes alternativas, uma vez que a demanda dessa população, com o passar do tempo, passa a ser incorporada pelos sistemas públicos de abastecimento.

A participação dos mananciais subterrâneos na produção de água para abastecimento público (Quadro 28 e Figura 40) foi estimada considerando-se a manutenção da proporção entre as captações superficiais e subterrâneas verificada atualmente, uma vez que não há como prever uma tendência de crescimento de determinado tipo de captação. Para Belém, contudo, devido ao potencial instalado e, atualmente, subutilizado do Complexo Bolonha, considerou-se que haveria um investimento na revitalização e modernização desse Sistema, assim como a ampliação do sistema de adução. Como a água desse Sistema é inteiramente proveniente de mananciais superficiais, haveria um crescimento maior da participação dos mananciais superficiais nesse município e uma manutenção da participação das águas subterrâneas aos níveis atuais.

Quadro 28 – Projeção da participação de mananciais subterrâneos na produção de água para abastecimento público.

Município	Demanda subterrânea – Abastecimento Público (m ³ /s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,75	1,28	1,91	2,12
Belém	3,03	3,03	3,03	3,03
Benevides	0,10	0,13	0,22	0,31
Marituba	0,12	0,34	0,53	0,65
Santa Bárbara do Pará	0,05	0,06	0,09	0,11
Santa Izabel do Pará	0,20	0,24	0,29	0,35
Total	4,25	5,07	6,07	6,57

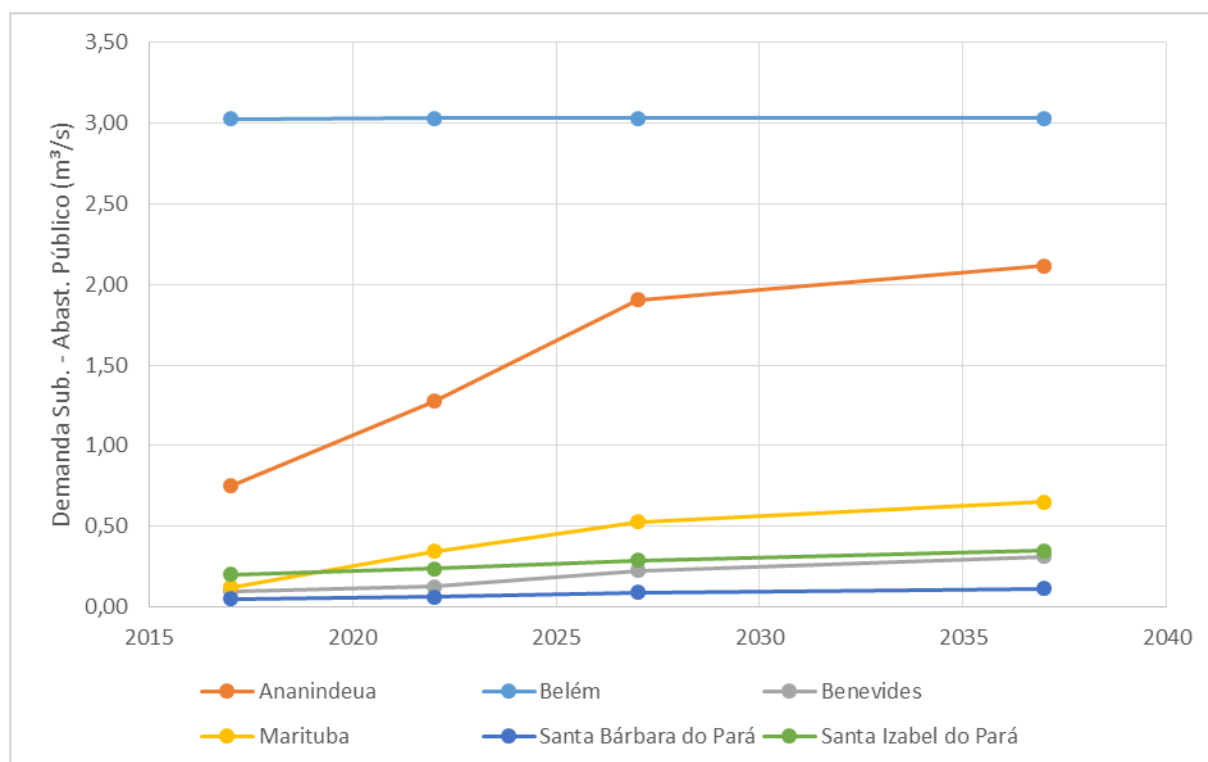


Figura 40 – Projeção da participação de mananciais subterrâneos na produção de água para abastecimento público.

A projeção da demanda por água subterrânea da população não atendida por sistema público é apresentada no Quadro 29 e Figura 41.

Quadro 29 – Projeção da demanda hídrica subterrânea para a população total não atendida por sistema público de abastecimento.

Município	Demanda subterrânea – População não atendida (m³/s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,789	0,591	0,189	0,071
Belém	0,324	0,324	0,324	0,196
Benevides	0,056	0,054	0,017	0,006
Marituba	0,228	0,147	0,047	0,018
Santa Bárbara do Pará	0,011	0,011	0,005	0,002
Santa Izabel do Pará	0,049	0,049	0,021	0,008
Total	1,458	1,177	0,603	0,301

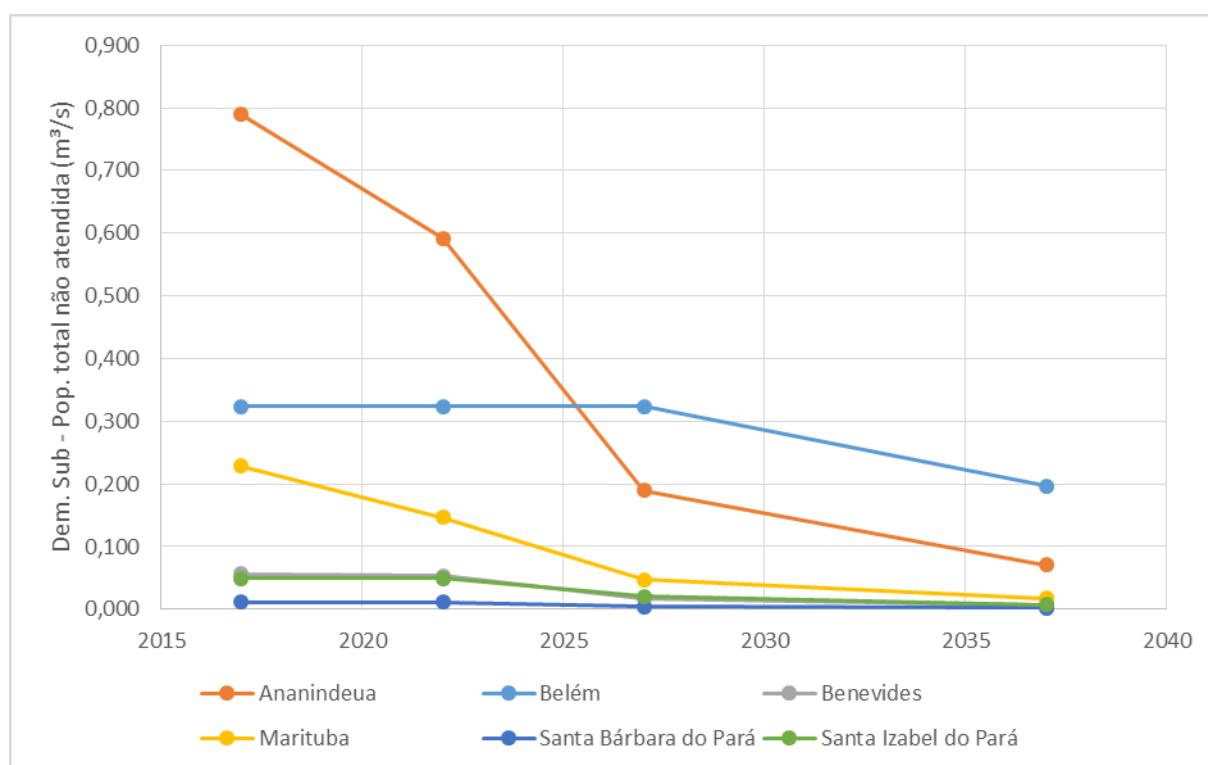


Figura 41 – Projeção da demanda hídrica subterrânea para a população não atendida por sistema público de abastecimento.

10.1.2 Indústria e Outros Usuários

As demandas da indústria e de outros usuários, estimadas a partir do Cadastro de Outorgas da SEMAS/PA para o cenário atual, foram projetadas para os horizontes de curto, médio e longo prazos, aplicando-se a mesma proporção de crescimento do VAB Industrial em relação ao cenário atual.

O Quadro 30 e a Figura 42 apresentam a projeção da demanda hídrica da indústria e o Quadro 31 e a Figura 43 apresentam a projeção da demanda hídrica de outros usuários.

Quadro 30 – Projeção da demanda hídrica da indústria.

Demanda – Indústria (m³/s)				
Município	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,05	0,06	0,07	0,10
Belém	0,35	0,44	0,53	0,70
Benevides	0,18	0,24	0,30	0,41
Marituba	0,01	0,01	0,01	0,02
Santa Bárbara do Pará	0,01	0,01	0,01	0,01
Santa Izabel do Pará	0,02	0,03	0,03	0,04
Total	0,61	0,78	0,95	1,28

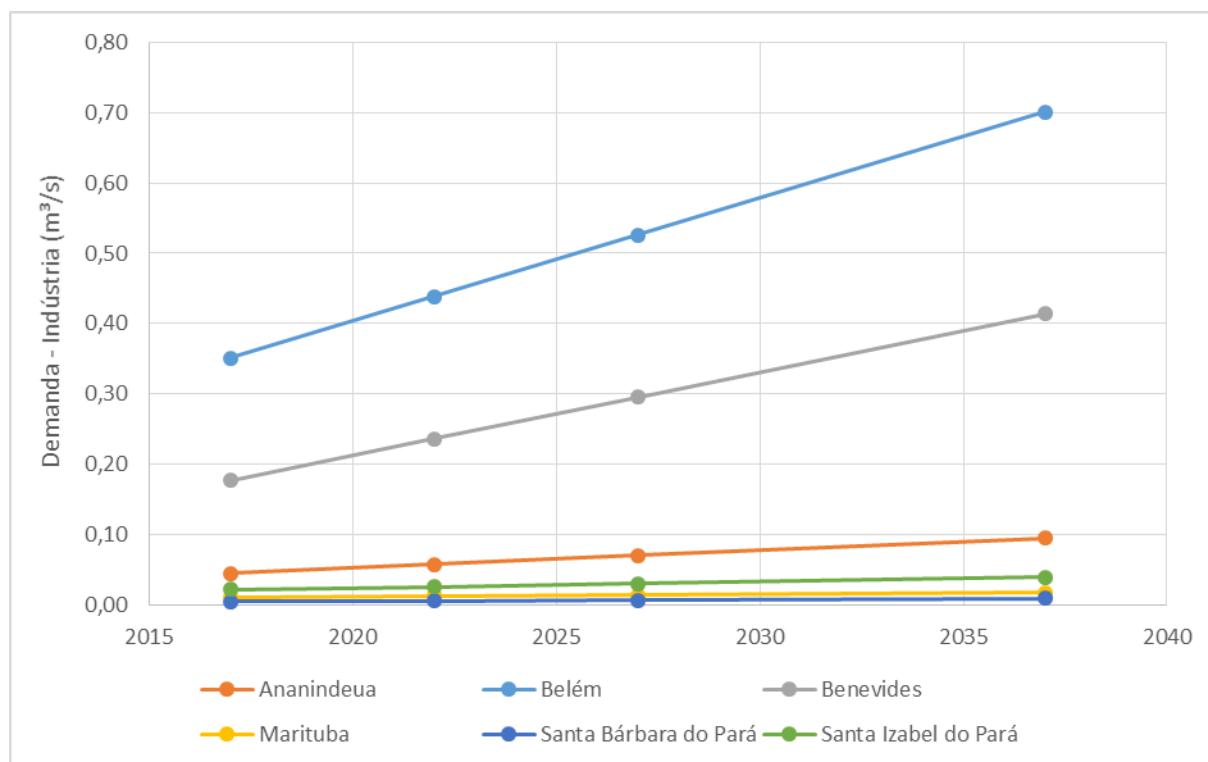


Figura 42 – Projeção da demanda hídrica da indústria.

Quadro 31 – Projeção da demanda hídrica de outros usuários.

Demanda – Outros Usuários (m³/s)				
Município	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,07	0,09	0,11	0,15
Belém	0,22	0,28	0,33	0,44
Benevides	0,07	0,10	0,12	0,17
Marituba	0,08	0,09	0,10	0,12
Santa Bárbara do Pará	0,00	0,00	0,00	0,00
Santa Izabel do Pará	0,10	0,12	0,14	0,18
Total	0,54	0,67	0,80	1,06

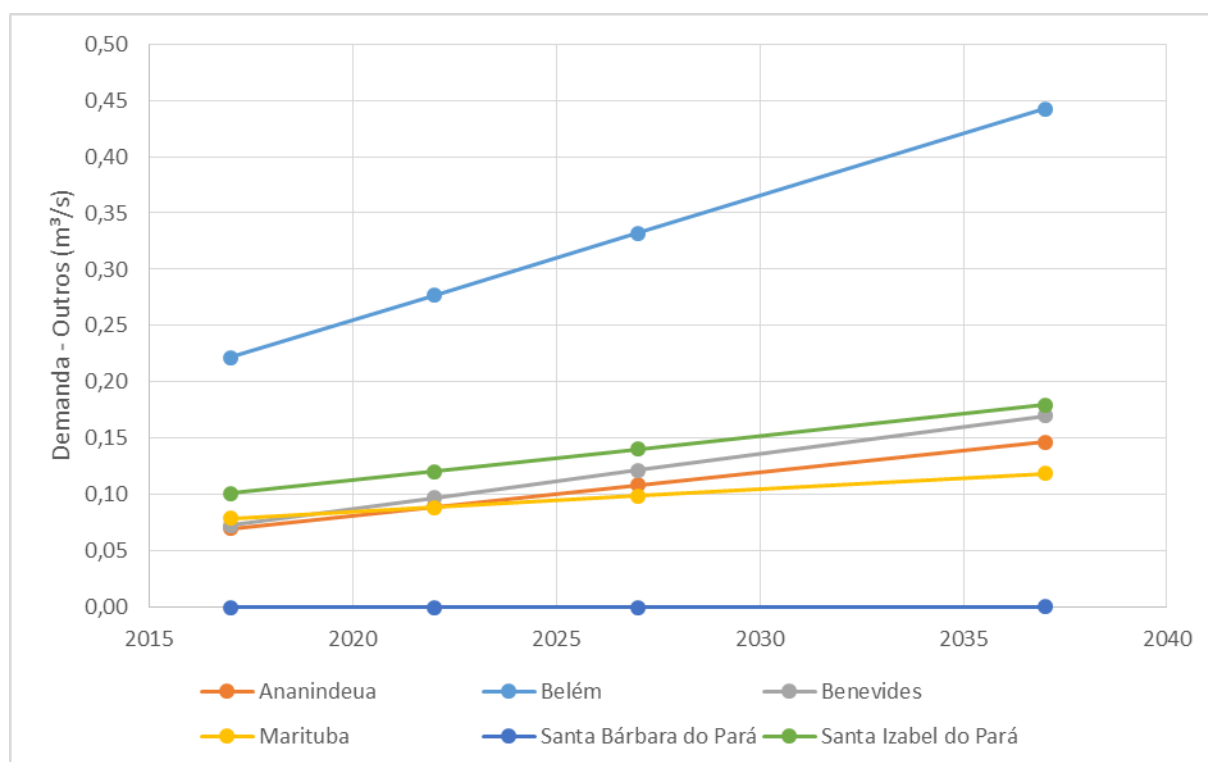


Figura 43 – Projeção da demanda hídrica de outros usuários.

Considerou-se que a proporção entre as captações superficiais e subterrâneas devem seguir a mesma proporção verificada atualmente. Assim, a demanda por água subterrânea da indústria e dos demais usuários é apresentada no Quadro 32 e no Quadro 33, respectivamente. A evolução da demanda nos horizontes de planejamento pode ser observada na Figura 44 e na Figura 45 para o setor industrial e demais usuários, respectivamente.

Quadro 32 – Projeção da demanda hídrica subterrânea da indústria.

Demanda Subterrânea - Indústria (m³/s)				
Município	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,05	0,06	0,07	0,10
Belém	0,34	0,43	0,52	0,69
Benevides	0,18	0,24	0,30	0,41
Marituba	0,01	0,01	0,01	0,02
Santa Bárbara do Pará	0,01	0,01	0,01	0,01
Santa Izabel do Pará	0,02	0,03	0,03	0,04
Total	0,61	0,77	0,94	1,27

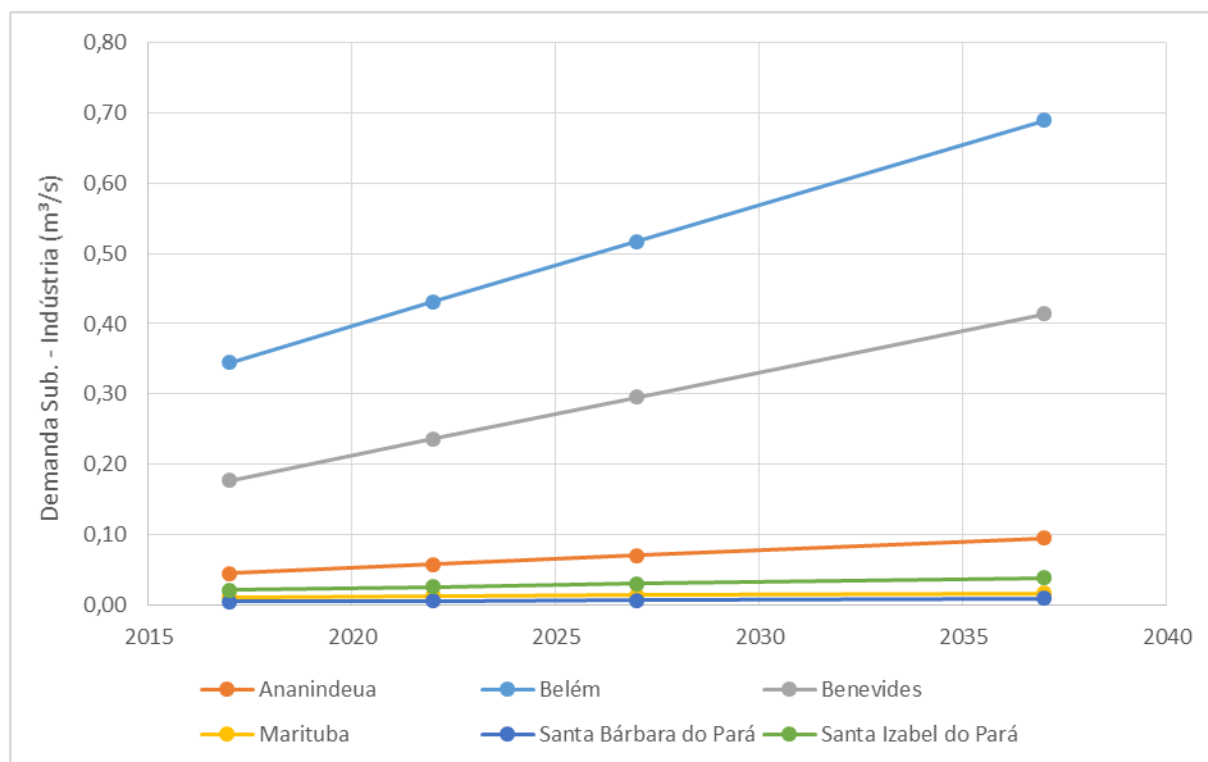


Figura 44 – Projeção da demanda hídrica subterrânea da indústria.

Quadro 33 – Projeção da demanda hídrica subterrânea de outros usuários

Demanda Subterrânea – Outros Usuários (m³/s)				
Município	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,07	0,09	0,11	0,15
Belém	0,21	0,27	0,32	0,43
Benevides	0,01	0,01	0,01	0,01
Marituba	0,08	0,09	0,10	0,12
Santa Bárbara do Pará	0,00	0,00	0,00	0,00
Santa Izabel do Pará	0,02	0,03	0,03	0,04
Total	0,39	0,48	0,57	0,75

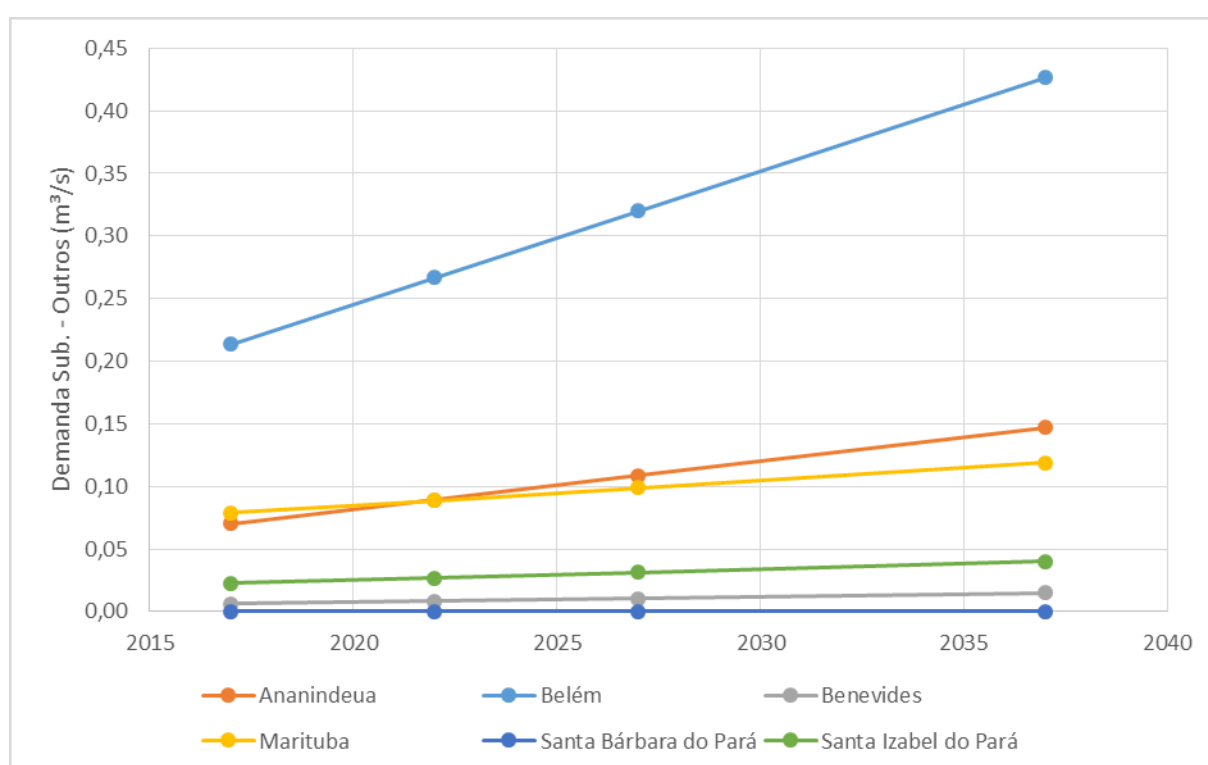


Figura 45 – Projeção da demanda hídrica subterrânea de outros usuários.

10.1 ATIVIDADES RELATIVAS AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A projeção do esgoto gerado nos horizontes de planejamento de curto (2022), médio (2027) e longo prazo (2037) foi estimada aplicando-se um coeficiente de retorno de 80% à água efetivamente consumida pela população urbana e demais usuários, somado de 50% da água consumida pela população rural. Além disso, para cada cenário temporal foram incorporadas possíveis melhorias nos serviços de esgotamento sanitário, como aumento da cobertura de coleta e tratamento e redução das práticas de saneamento *in situ*. As melhorias foram definidas seguindo, principalmente, as metas definidas pelo Plansab. O índice de

coleta, para cada horizonte temporal, pode ser visualizado no Quadro 34. O tratamento deve acompanhar a coleta.

Quadro 34 – Índices de coleta de esgoto adotados em cada horizonte temporal.

Município	Índice de coleta (%)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	11,3%	52,0%	63,0%	87,0%
Belém	20,5%	52,0%	63,0%	87,0%
Benevides	2,2%	52,0%	63,0%	87,0%
Marituba	4,4%	52,0%	63,0%	87,0%
Santa Bárbara do Pará	2,8%	52,0%	63,0%	87,0%
Santa Izabel do Pará	1,3%	52,0%	63,0%	87,0%

O Quadro 35 apresenta o índice de utilização de práticas de saneamento *in situ*. Considerou-se que à medida que a população vai sendo atendida com rede de coleta, a utilização de soluções individuais diminui.

Quadro 35 – Índices de utilização de práticas de saneamento *in situ* adotados em cada horizonte temporal.

Município	Solução Individual (%)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	44,0%	15,0%	10,0%	8,0%
Belém	31,1%	15,0%	10,0%	8,0%
Benevides	15,2%	15,0%	10,0%	8,0%
Marituba	14,5%	15,0%	10,0%	8,0%
Santa Bárbara do Pará	6,9%	15,0%	10,0%	8,0%
Santa Izabel do Pará	10,2%	15,0%	10,0%	8,0%

Por fim, o Quadro 36 apresenta a evolução da população sem acesso à rede de coleta ou qualquer tipo de tratamento do esgoto. Novamente, considerou-se que à medida que a população vai sendo atendida com rede de coleta, o índice diminui.

Quadro 36 – Índice da população sem qualquer tipo de solução para o esgoto adotados em cada horizonte temporal.

Município	Sem coleta e sem tratamento (%)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	44,7%	33,0%	27,0%	5,0%
Belém	48,5%	33,0%	27,0%	5,0%
Benevides	82,7%	33,0%	27,0%	5,0%
Marituba	81,1%	33,0%	27,0%	5,0%
Santa Bárbara do Pará	90,2%	33,0%	27,0%	5,0%
Santa Izabel do Pará	88,6%	33,0%	27,0%	5,0%

Com base nessas premissas, foi estimada a vazão de esgoto que infiltra através das soluções individuais e a vazão que infiltra devido às perdas na rede de esgoto. Para as perdas na rede de esgoto adotou-se um índice de vazamento médio de 10%, mesmo percentual utilizado no cenário atual. Além disso, considerou-se que 80% do esgoto tratado em soluções individuais acabam infiltrando e retornando aos aquíferos. O Quadro 37 e a Figura 46 apresentam a projeção do esgoto gerado em cada horizonte temporal.

Quadro 37 – Projeção do esgoto gerado

Município	Esgoto gerado (m³/s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	1,122	1,279	1,499	1,762
Belém	3,107	3,240	3,554	3,632
Benevides	0,153	0,188	0,235	0,316
Marituba	0,296	0,330	0,366	0,458
Santa Bárbara do Pará	0,031	0,036	0,046	0,062
Santa Izabel do Pará	0,199	0,229	0,265	0,336
Total	4,909	5,301	5,966	6,565

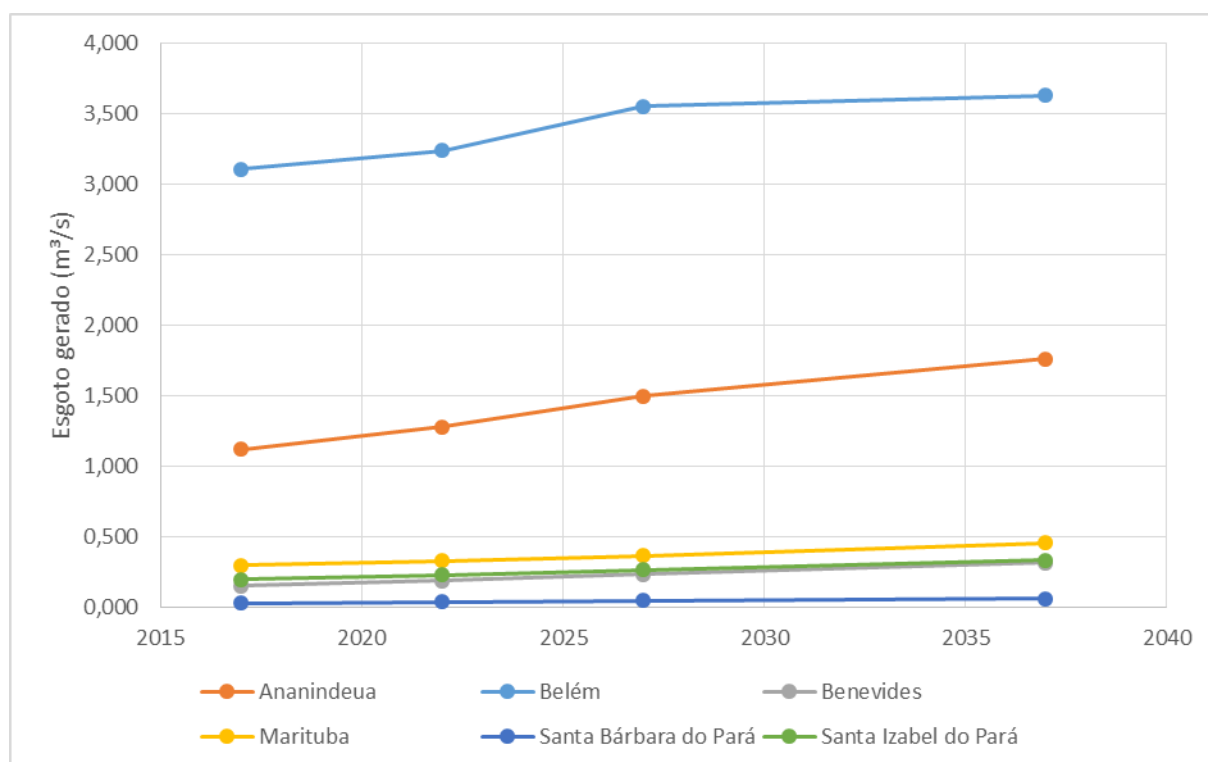


Figura 46 – Projeção do esgoto gerado

O Quadro 38 e o Quadro 39 apresentam a projeção do esgoto infiltrado devido às perdas na rede de esgoto e devido à utilização de soluções individuais, respectivamente.

O Quadro 40 apresenta a projeção da infiltração total relativa ao esgotamento sanitário. A mesma informação pode ser visualizada nas Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

Quadro 38 – Projeção da infiltração através das soluções individuais.

Município	Infiltração – Solução Individual (m³/s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,395	0,153	0,120	0,113
Belém	0,772	0,389	0,284	0,232
Benevides	0,019	0,023	0,019	0,020
Marituba	0,034	0,040	0,029	0,029
Santa Bárbara do Pará	0,002	0,004	0,004	0,004
Santa Izabel do Pará	0,016	0,027	0,021	0,021
Total	1,238	0,636	0,477	0,420

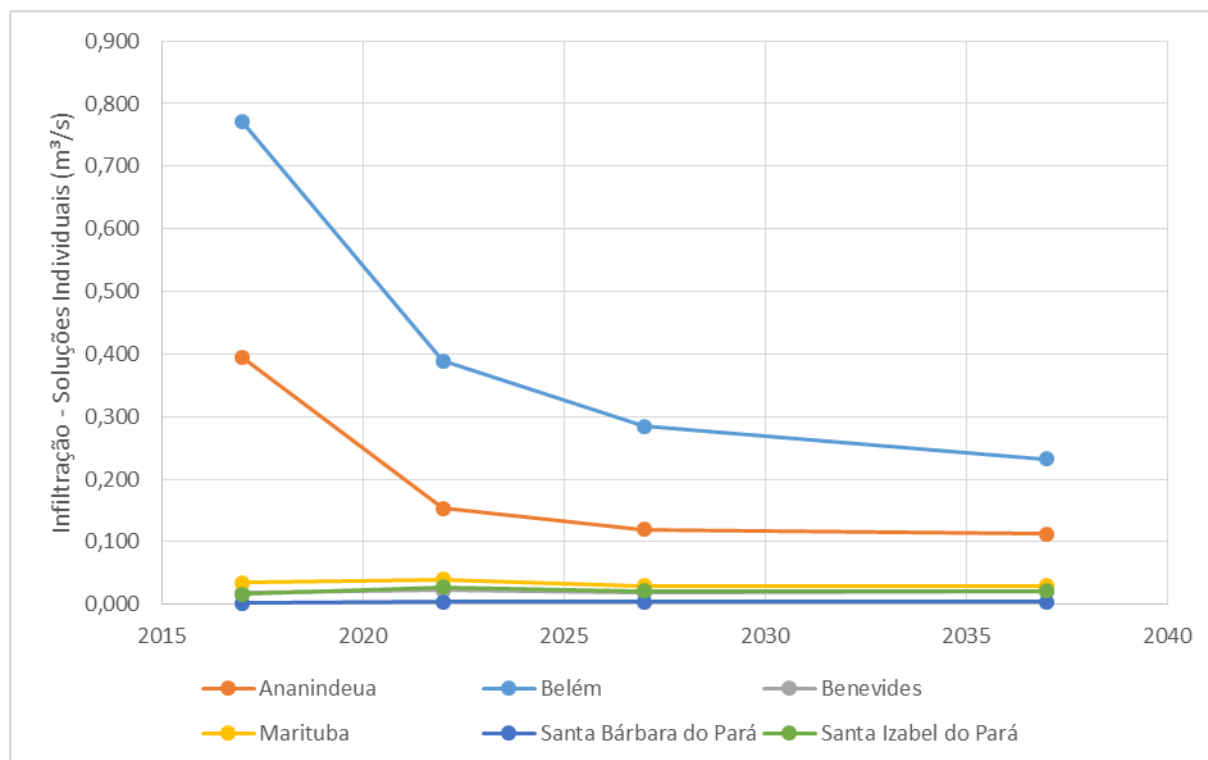


Figura 47 – Projeção da infiltração através das fossas e sumidouros.

Quadro 39 – Projeção da infiltração devido às perdas na rede de esgoto.

Município	Infiltração – Rede de Esgoto (m³/s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,013	0,066	0,094	0,153
Belém	0,064	0,130	0,224	0,316
Benevides	0,000	0,010	0,015	0,027
Marituba	0,001	0,017	0,023	0,040
Santa Bárbara do Pará	0,000	0,002	0,003	0,005
Santa Izabel do Pará	0,000	0,012	0,017	0,029
Total	0,078	0,237	0,376	0,571

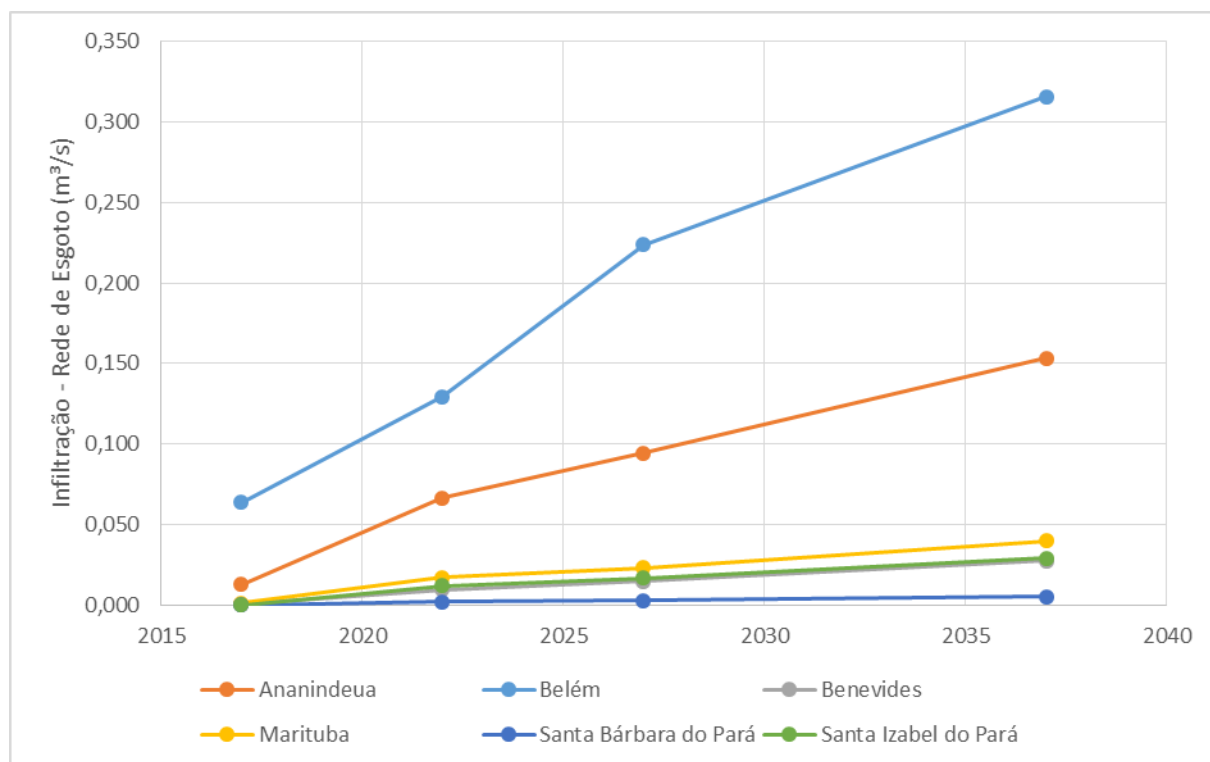


Figura 48 – Projeção da infiltração devido às perdas na rede de esgoto.

Quadro 40 – Projeção da recarga relativa ao esgotamento sanitário.

Município	Infiltração Total – Esgotamento Sanitário (m ³ /s)			
	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	0,407	0,220	0,214	0,266
Belém	0,836	0,557	0,508	0,548
Benevides	0,019	0,032	0,034	0,048
Marituba	0,036	0,057	0,052	0,069
Santa Bárbara do Pará	0,002	0,006	0,007	0,009
Santa Izabel do Pará	0,016	0,039	0,038	0,051
Total	1,316	0,912	0,853	0,991

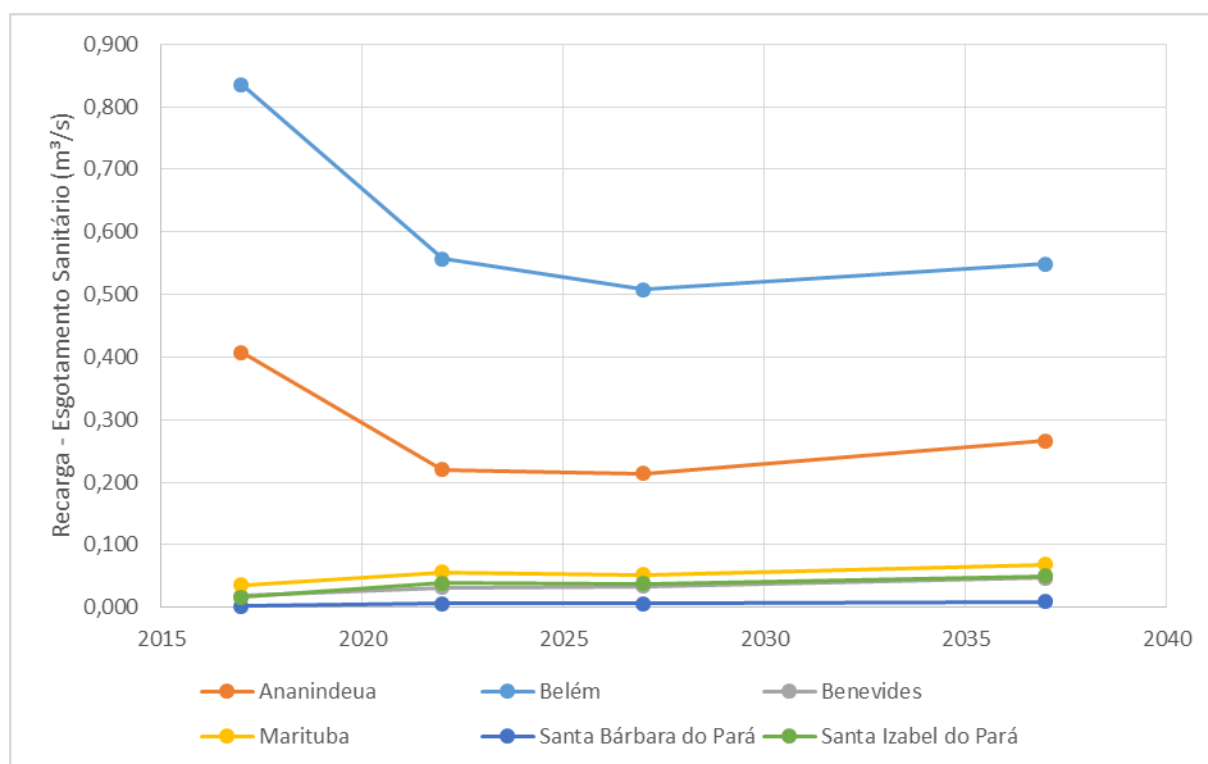


Figura 49 – Projeção da recarga relativa ao esgotamento sanitário.

Percebe-se, portanto, que a recarga relativa ao esgotamento sanitário, tende a diminuir com o passar do tempo, quando consideradas as premissas adotadas. A redução ocorre, principalmente, devido à redução das práticas de saneamento *in situ* (soluções individuais). No entanto, à medida que forem sendo implantadas as redes de coleta de esgoto, a infiltração tende a aumentar novamente, devido aos vazamentos que ocorrem na rede. Contudo, essa infiltração é muito menor frente àquela verificada com a utilização de soluções individuais.

11 BALANÇO HIDROGEOLÓGICO

O balanço hidrogeológico descreve a quantidade de água que entra e que é drenada do aquífero e as variações no armazenamento ao longo do tempo. As variações no armazenamento são positivas quando o influxo excede a descarga; e negativas quando ocorre o contrário. Essas variações podem ser observadas nas flutuações dos níveis de água dos aquíferos, em poços de monitoramento.

A equação do balanço de massa que descreve o balanço hidrogeológico é dada pela expressão:

$$\Delta S = R - D \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: ΔS = variação no armazenamento; R= recarga; e D= descarga.

Em condições naturais, as entradas de água no aquífero são decorrentes, principalmente, das precipitações atmosféricas e, secundariamente, dos fluxos descendentes, ascendentes e longitudinais, provenientes de unidades hidrogeológicas situadas, respectivamente, acima, abaixo e lateralmente ao aquífero. Obviamente, os influxos de água estão condicionados à natureza dos aquíferos, assim, aquíferos livres recebem águas diretamente das chuvas e, eventualmente, de aquíferos sotopostos. Por outro lado, aquíferos confinados podem receber água dos fluxos descendentes e ascendentes através de aquíferos confinantes, ou diretamente de precipitações nas áreas de afloramento.

As saídas naturais de água dos aquíferos são devidas à evaporação próxima à superfície dos terrenos, no caso de níveis potenciométricos rasos, e às descargas que ocorrem nos corpos hídricos superficiais, referidas como escoamento de base.

Em condições naturais, num sistema aquífero em equilíbrio (Figura 50), admite-se que as variações no armazenamento decorrentes de flutuações climáticas de longo prazo se anulem, de modo que a recarga se iguale à descarga:

$$\Delta S = R - D = 0 \quad (\text{Equação 2})$$

À medida em que as águas subterrâneas passam a ser exploradas por meio de poços, principalmente em áreas urbanizadas ou agrícolas irrigadas, dá-se início ao estágio de desenvolvimento do sistema aquífero (Figura 50). No primeiro estágio, denominado de desenvolvimento equilibrado, a extração de água subterrânea para suprimento das atividades antrópicas induz a um reequilíbrio do sistema aquífero frente às novas condições, as quais

são compensadas por incremento na recarga natural ou recarga induzida, e diminuição da descarga natural. A equação do balanço hidrogeológico toma, então, a seguinte forma:

$$\Delta S = (R + R') - (D' + Bp) = 0 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde R'= recarga induzida; D'= descarga diminuída; Bp= bombeamento.

No estágio seguinte, denominado desenvolvimento desequilibrado (Figura 50), o incremento das explorações supera a recarga do sistema. Nessa condição, o sistema não consegue mais se reajustar e o desequilíbrio provoca um progressivo esvaziamento do armazenamento do aquífero, de modo que:

$$\Delta S = (R + R') - (D' + Bp) < 0 \quad (\text{Equação 4})$$

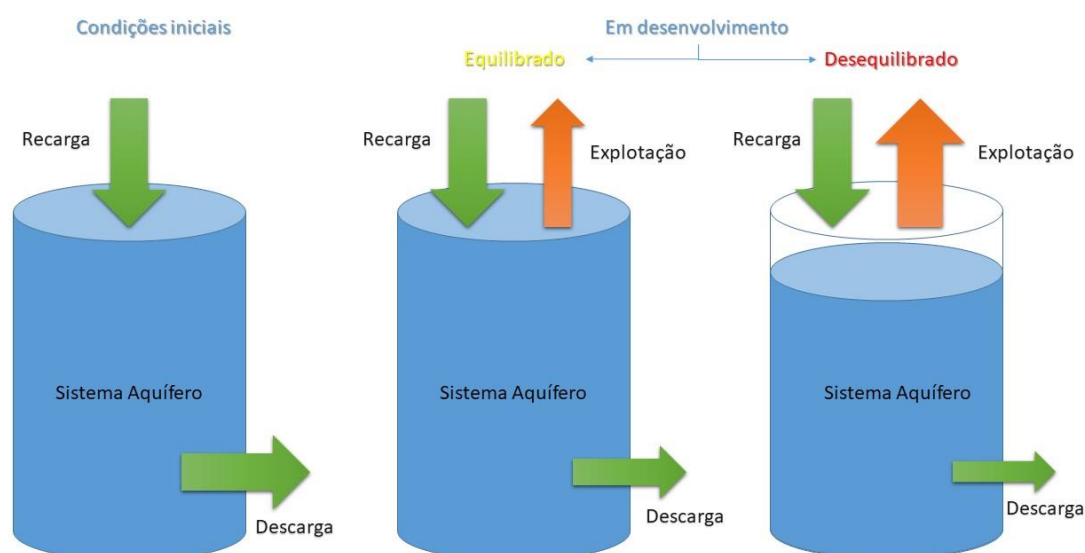


Figura 50 – Modelo esquemático das condições de equilíbrio do balanço hidrogeológico de um sistema aquífero. Condições iniciais de equilíbrio, passando a condições de desenvolvimento equilibrado a desequilibrado.

As condições de desenvolvimento desequilibrado podem causar a depleção do aquífero em longo prazo, não sendo, portanto, as condições desejáveis em termos de sustentabilidade.

Para a região de Belém, pode-se admitir que os reservatórios subterrâneos se encontrem, atualmente, no estágio de desenvolvimento equilibrado, uma vez que não existem estudos que tenham registrado diminuição da carga hidráulica dos aquíferos e o total anual das precipitações tem-se mantido bastante elevado ao longo dos anos.

Os balanços hidrogeológicos são mais consistentes quando realizados no âmbito da bacia hidrográfica e considerando a extensão total dos aquíferos. A dificuldade de obtenção de dados reais de recarga, em campo, exige a aplicação de métodos indiretos, como o hidrológico, para determinação de vazões mínimas que correspondem, aproximadamente, à recarga de sistemas em condições naturais ou equilibradas. As vazões mínimas são descritas em termos de vazão por área (L/s/km²) e referidas como contribuição unitária, e assim utilizadas nas estimativas de recarga dos aquíferos e da sustentabilidade dos sistemas.

Como a recarga é baseada na contribuição unitária, deduz-se que quanto maior a área do aquífero, maior a recarga; e assim, aquíferos tratados na totalidade de sua área ou abrangendo grandes extensões, proporcionam balanços hidrogeológicos mais consistentes. Por sua vez, o balanço hidrogeológico realizado em áreas reduzidas (locais) e com elevada extração de águas subterrâneas pode fornecer um resultado deturpado que, sem dúvida, não representa a realidade.

Para uma análise regionalizada da região de Belém, a equação simplificada do balanço hidrogeológico pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta S = (R + R_r + R_e + R_i) - (D + B_p + B_o + B_i + D_u) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: ΔS = variação no armazenamento do aquífero; R = recarga natural média plurianual; R_r = recarga devido às perdas na rede de distribuição; R_e = recarga devido a perdas na rede de esgoto e infiltração através de soluções de saneamento *in situ*; R_i = recarga induzida por lagos, rios e fluxo lateral; D = descarga natural média plurianual – equivalente ao escoamento de base; B_p = água retirada do aquífero por bombeamento de poços, de cacimbas e nascentes para abastecimento humano; B_o = água retirada do aquífero por bombeamento por usuários não industriais; B_i = água retirada do aquífero por bombeamento por usuários industriais; D_u = escoamento superficial devido à impermeabilização do solo.

Os valores das variáveis da Equação 5 foram obtidos do seguinte modo:

- D : Descarga média plurianual igual a 10,580 m³/s. Calculada nesse estudo com base nos dados hidrológicos contidos no Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia – PERH-TA (ANA, 2009).
- B_p : Vazão retirada do aquífero por bombeamento de poços públicos, de cacimbas e nascentes, igual a 5,706 m³/s. Inclui as captações

subterrâneas dos sistemas públicos de abastecimento e a demanda da população não atendida por sistema público (Quadro 8).

- Bi: Vazão retirada do aquífero por bombeamento de poços de usuários industriais cadastrados no sistema de outorgas da SEMAS/PA, igual a 0,607 m³/s (Quadro 8).
- Bo: Vazão retirada do aquífero por bombeamento de poços de usuários classificados como “outros” no sistema de outorgas da SEMAS/PA, igual a 0,392 m³/s (Quadro 8).
- Rr: Recarga devido às perdas na rede pública de distribuição de água potável, igual a 3,022 m³/s. Calculada a partir dos dados de abastecimento público e índices de perdas na rede. Inclui distribuição canalizada de águas superficiais tratadas e subterrâneas para população atendida por sistema de abastecimento público (Quadro 2).
- Re: Recarga devido a perdas na rede de esgoto e infiltração de soluções de saneamento *in situ*, igual a 1,316 m³/s. Calculada a partir da parcela de esgoto perdida através de vazamentos nas redes de coleta de esgoto, acrescida do esgoto tratado em soluções individuais (Quadro 12).
- Du: Escoamento superficial devido à impermeabilização do solo em zonas urbanizadas, igual a 0,047 m³/h. Estimado a partir da recarga natural e das taxas de permeabilidade dos setores censitários das áreas urbanas (item 9.3).
- R: Recarga natural média plurianual. Admitida como igual à descarga média plurianual em condições de equilíbrio do sistema hidrogeológico, correspondente a 10,580 m³/s.
- Ri: recarga induzida. Valor estimado para satisfazer a igualdade entre descarga total e recarga total do sistema hidrogeológico.

A equação de balanço hidrogeológico do sistema aquífero em desenvolvimento equilibrado pressupõe que a variação do armazenamento seja nula e que as entradas de água sejam iguais às saídas. Em outras palavras:

$$(R + Rr + Re + Ri) = (D + Bp + Bo + Bi + Du) \quad (\text{Equação 6})$$

Dentre as variáveis utilizadas na composição do balanço hidrogeológico dos aquíferos da região de Belém e municípios adjacentes, somente a recarga induzida (R_i) não foi estimada diretamente em razão da carência de dados e/ou de estudos específicos. Assim, o valor da recarga induzida corresponde à diferença entre os parâmetros componentes da equação descrita abaixo:

$$R_i = (R + R_r + R_e) - (D + B_p + B_o + B_i + D_u) \quad (\text{Equação 7})$$

Substituindo-se os valores estimados das variáveis na Equação 7, a recarga induzida é estimada em 2,414 m³/s. O resumo do balanço hidrogeológico é então mostrado no Quadro 41.

Quadro 41 – Resumo do balanço hidrogeológico.

Balanço Hidrogeológico - 2017					
Recarga			Descarga		
Discriminação	Símbolo	(m ³ /s)	Discriminação	Símbolo	(m ³ /s)
Recarga natural média plurianual	R	10,580	Descarga natural média plurianual	D	10,580
Perdas na rede de distribuição	R _r	3,022	Bombeamento abastecimento	B _p	5,706
Perdas na rede de esgoto + infiltração das soluções de saneamento in situ	R _e	1,316	Bombeamento outros	B _o	0,392
			Bombeamento indústria	B _i	0,607
Recarga induzida (lagos, rios e fluxo lateral)	R _i	2,414	Impermeabilização do solo	D _u	0,047
Total		17,332	Total		17,332
$\Delta S = (R + R_r + R_e + R_i) - (D + B_p + B_i + B_o + D_u) = 0$					

A descarga natural do sistema em desenvolvimento equilibrado, mensurada nos estudos hidrológicos, representa o fluxo que sai do aquífero nas condições atuais, já descontadas as vazões retiradas por bombeamento. Para a manutenção do equilíbrio do sistema, a recarga natural deve incorporar a soma das vazões da descarga natural e da retirada por bombeamento. Desse modo, é fácil deduzir que a recarga natural deve ser maior do que a descarga natural. Todavia, os valores de recarga não são determinados diretamente a partir dos estudos hidrológicos e, normalmente, são admitidos como iguais aos valores de descarga, o que não corresponde à realidade.

Os resultados dos balanços hidrogeológicos locais realizados para avaliação da sustentabilidade do sistema nos municípios abrangidos pelo projeto, em horizontes de curto (5 anos), médio (10 anos) e longo prazos (20 anos), devem ser analisados com cautela, uma vez que as estimativas das vazões de recarga são baseadas na contribuição unitária do escoamento de base e nas dimensões das áreas municipais; deduz-se, portanto, que municípios com áreas menores terão recargas também menores.

Nesses balanços não foram consideradas as perdas devidas à impermeabilização do solo, por falta de informações. Para simplificação, nos balanços locais considerou-se a vazão de contribuição unitária de 5,59 L/s/km², igual à vazão de descarga natural do aquífero, para definição da recarga (constante ao longo do horizonte avaliado). Os dados foram extraídos dos levantamentos e projeções de consumo de água subterrânea para abastecimento público, industrial e outros, e a recarga por perdas físicas nas redes de água e esgoto, conforme detalhado no capítulo 10. Os resultados estão apresentados no Quadro 42 e resumidos na Figura 51.

A análise dos resultados dos balanços hidrogeológicos locais indica a evolução temporal no consumo de água subterrânea ao longo dos horizontes avaliados, em todos os municípios da área estudada. Com exceção dos municípios de Ananindeua e Marituba que apresentaram balanço negativo, ou seja, extração de água subterrânea maior do que a recarga, os demais apresentaram balanço positivo. Ressalta-se que os balanços negativos refletem as áreas relativamente menores desses municípios que, por sua vez, afetam diretamente o cálculo da recarga.

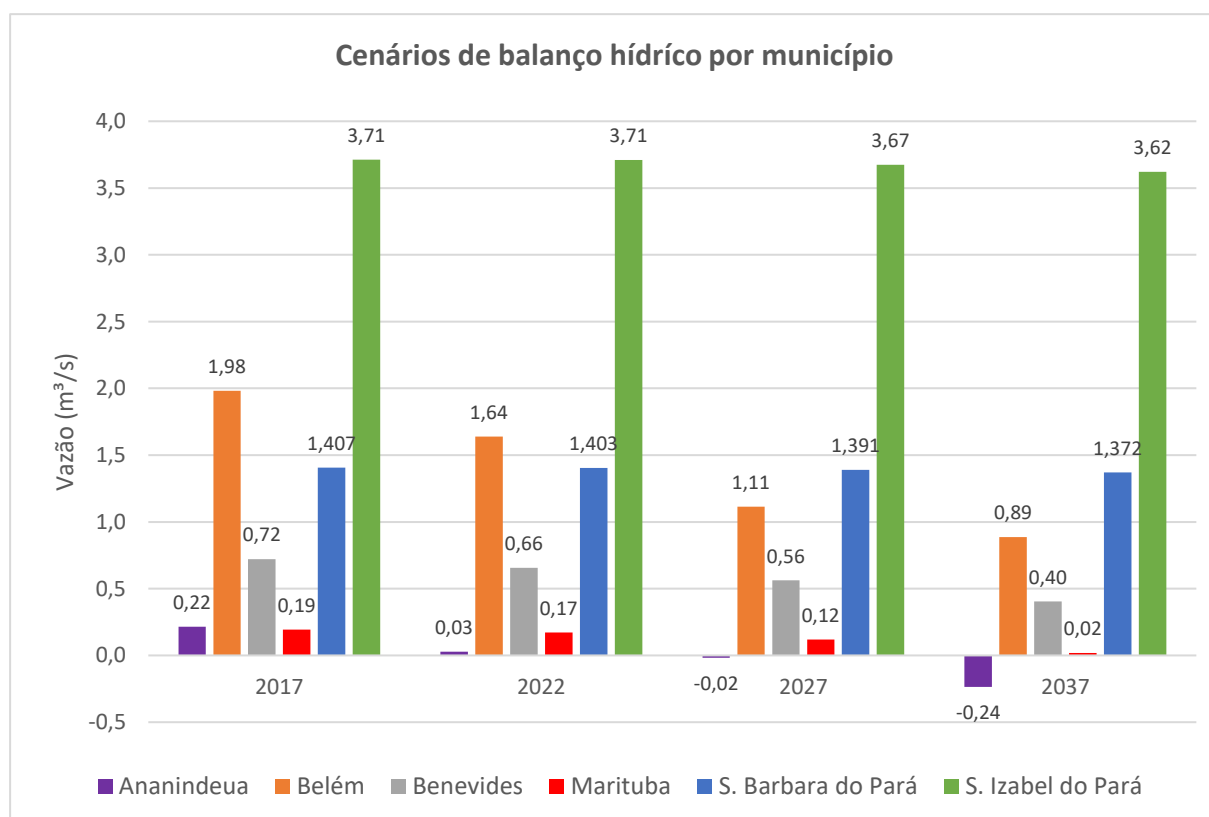


Figura 51 – Cenários de balanços hidrogeológicos dos municípios da região de Belém.

Quadro 42 - Balanços hidrogeológicos dos municípios da região de Belém. Valores destacados em vermelho (negativos) indicam extração de água subterrânea maior do que a recarga.

Município	Área (km ²)	Parâmetros avaliados	Vazão	2017	2022	2027	2037
Ananindeua	169,57	R	m ³ /s	0,950	0,950	0,950	0,950
		Rr	m ³ /s	0,514	0,873	1,094	0,977
		Re	m ³ /s	0,407	0,220	0,214	0,266
		Bp	m ³ /s	1,540	1,867	2,096	2,187
		Bo	m ³ /s	0,070	0,089	0,109	0,147
		Bi	m ³ /s	0,046	0,058	0,071	0,096
		Balanço	m ³ /s	0,215	0,028	-0,017	-0,237
Belém	493,56	R	m ³ /s	2,760	2,760	2,760	2,760
		Rr	m ³ /s	2,296	2,373	2,035	1,919
		Re	m ³ /s	0,836	0,557	0,508	0,548
		Bp	m ³ /s	3,352	3,354	3,354	3,226
		Bo	m ³ /s	0,213	0,267	0,320	0,426
		Bi	m ³ /s	0,345	0,431	0,517	0,689
		Balanço	m ³ /s	1,982	1,639	1,113	0,886
Benevides	179,94	R	m ³ /s	1,010	1,010	1,010	1,010
		Rr	m ³ /s	0,029	0,038	0,068	0,095
		Re	m ³ /s	0,019	0,032	0,034	0,048
		Bp	m ³ /s	0,153	0,181	0,241	0,320
		Bo	m ³ /s	0,006	0,008	0,011	0,015
		Bi	m ³ /s	0,177	0,236	0,296	0,414
		Balanço	m ³ /s	0,722	0,655	0,564	0,404
Marituba	96,04	R	m ³ /s	0,540	0,540	0,540	0,540
		Rr	m ³ /s	0,059	0,167	0,217	0,215
		Re	m ³ /s	0,036	0,057	0,052	0,069
		Bp	m ³ /s	0,350	0,490	0,575	0,668
		Bo	m ³ /s	0,079	0,089	0,099	0,119
		Bi	m ³ /s	0,012	0,013	0,015	0,018
		Balanço	m ³ /s	0,194	0,172	0,120	0,019
Santa Bárbara do Pará	259,33	R	m ³ /s	1,450	1,450	1,450	1,450
		Rr	m ³ /s	0,022	0,027	0,037	0,038
		Re	m ³ /s	0,002	0,006	0,007	0,009
		Bp	m ³ /s	0,062	0,074	0,095	0,115
		Bo	m ³ /s	0,000	0,000	0,000	0,000
		Bi	m ³ /s	0,005	0,006	0,008	0,010
		Balanço	m ³ /s	1,407	1,403	1,391	1,372
Santa Izabel do Pará	695,00	R	m ³ /s	3,890	3,890	3,890	3,890
		Rr	m ³ /s	0,101	0,119	0,119	0,115
		Re	m ³ /s	0,016	0,039	0,038	0,051
		Bp	m ³ /s	0,249	0,285	0,310	0,355
		Bo	m ³ /s	0,023	0,027	0,031	0,040
		Bi	m ³ /s	0,022	0,027	0,031	0,040
		Balanço	m ³ /s	3,713	3,710	3,674	3,621

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, RJ. 1986.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2009. Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia. Relatório Síntese/Agência Nacional de Águas – Brasília, DF.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2010. Atlas de Abastecimento Urbano de Água. Disponível em <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>> Acesso em: novembro de 2017.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal (RMN). Relatório Final – Volume 2 – Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas. Brasília, DF. 2012.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2015. Nota Técnica nº 56/2015/SPR (Atualização da base de demandas de recursos hídricos no Brasil). Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua>>. Acesso em: novembro de 2017. Brasília, DF.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2017 Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: novembro de 2017.
- ARAÚJO, P. P. 2001. Variações sazonais dos componentes nitrogenados em aquífero livre na zona urbana de Santa Isabel do Pará. Dissertação de Mestrado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2001.
- BRAZ, V.; BECKMANN, L.; COSTA E SILVA, L. 2001. Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. 1ST Joint World on Congress, Fortaleza (CE), Brasil.
- CABRAL, N. M. T. 2004. Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal, Belém (PA). 278 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2004.
- CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. 2006. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém, Pará. In: Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 1, p. 149-166, jan-abr. 2006.
- CAMPANA, N.A; TUCCI, C.E.M. 1994. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. RBE, Caderno de Recursos Hídricos. Vol.2, n.2.

- CODEC – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO PARÁ. 2017. Disponível em: <<http://www.codec.pa.gov.br/>>. Acesso em: dezembro de 2017.
- COSANPA – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. 2018. Dados obtidos por meio do Ofício nº 10/2018/SIP-ANA. Documento no 00000.005338/2018-95.
- FOSTER, S., LAWRENCE, A., MORRIS, B. 1998. Groundwater in Urban Development - Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies. *In: World Bank Technical Paper.*
- FOSTER, S.; MORRIS, B.; LAWRENCE, A.; CHILTON, J. 1999. Groundwater impacts and issues in developing cities. In: 26 INTER ASSOC. OH HIDROLOG. CONGR. A. A. Balkema, Rotterdam.
- FOSTER, S; HIRATA, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: Um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto geológico.
- GASPAR, M. T. P. 2001. Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia Hidrográfica do Igarapé Mata Fome, Belém-Pa. 112 f. Dissertação (Mestrado) – a. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censos Demográficos 1991, 2000 e 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: novembro de 2017.
- LIMA, L. M. 2000. Estudo do comportamento subsuperficial dos compostos nitrogenados em bairros densamente povoados de Belém. Belém: Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Departamento de Geologia. 60 p.
- MELO, J.G.; QUEIROZ, M. A. 2001. The effects of urban development on the groundwater recharge and its quality in Natal, RN, Brasil. In: SEILER, K. P.; WOHNLICH, S. New Approches Characterizing Groundwater Flow. Netherland: v. 2, p. 1233 – 1236.
- MENEZES FILHO, F. C. M.; TUCCI, C. E. M. 2012. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável: Porto Alegre-RS. REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina. Vol. 9, no. 1, p. 49-55, jan./jun. 2012.
- NASCIMENTO, W.G. 2009. Investigação geofísica ambiental e forense nos cemitérios do Benguí e do Tapanã (Belém - PA). Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009. Programa de Pós-Graduação em Geofísica.
- ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2005. Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN. Relatório Final: Metodologia e Resultados Consolidados. 220 p.

PAGANINI, W.S. 1997. Disposição de esgotos no solo (Escoamento à superfície). São Paulo, Fundo Editorial da AESABESP. 232 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2014. PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém. Elaborado por: B&B ENGENHARIA LTDA e GPAC AMAZÔNIA - UFPA. Apoio: Secretaria Municipal de Saneamento – SESAN; Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém – SAAEB; Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém. Apoio Técnico Financeiro: Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA. Belém, PA.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015. Glossário de Indicadores. Disponível em <www.snis.gov.br/> Acesso em: novembro de 2017.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2011. Série Histórica 2011. Disponível em <www.snis.gov.br/> Acesso em: novembro de 2017.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2012. Série Histórica 2012. Disponível em <www.snis.gov.br/> Acesso em: novembro de 2017.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2015. Série Histórica 2015. Disponível em <www.snis.gov.br/> Acesso em: novembro de 2017.

TAJCHMAN, G. 1985. Corrosão em tubos de aço galvanizado de instalações hidráulicas domiciliares. Revista DAE. Vol. 45. n. 141.

VON SPERLING, M. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Volume 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 2005.



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Setor Policial, área 5, Quadra 3,
Blocos "B", "L", "M", "N", "O" e T.
PABX: (61) 2109-5400 | 21095252
www.ana.gov.br



Av. Iguazu, 451, 6º andar, Petrópolis.
Porto Alegre - RS. CEP: 90470-430
Fone | Fax: (51) 3211-3944
www.profill.com.br

