MODELAGEM PISF

Estruturação de projeto de concessão do serviço de adução de água bruta no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF

RELATÓRIO DE OFERTA E DEMANDA, SOCIOAMBIENTAL E ENGENHARIA

TOMO II – OFERTA E DEMANDA

ELABORADO: EMH / FYT / RAC	APROVADO: Andrei de Mesquita Almeida CAU Nº A49563-8
VERIFICADO: AMA	COORDENADOR GERAL: Marcos Oliveira Godoi CREA Nº 0605018477-SP
Nº (CLIENTE):	DATA: 27/01/2025
Nº ENGECORPS: Relatório de Oferta e Demanda	REVISÃO:

ÍNDICE

PÁG.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES ***6***

1. APRESENTAÇÃO ***8***

2. SUMÁRIO EXECUTIVO ***10***

3. OFERTA HÍDRICA LOCAL NAS BACIAS RECEPTORAS ***14***

3.1 ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS 17

3.1.1 Levantamento e Seleção dos Postos Pluviométricos *17*

3.1.2 Tratamento dos Dados Pluviométricos *18*

3.1.3 Definição do Vetor de Precipitações Mensais Incidentes Sobre a Bacia Hidráulica de Cada Reservatório de Interesse *19*

3.2 ESTUDOS EVAPORIMÉTRICOS 21

3.3 ESTUDOS FLUVIOMÉTRICOS 24

3.3.1 Levantamento e Seleção dos Dados Fluviométricos *24*

3.3.2 Tratamento dos Dados *24*

4. DEMANDAS HÍDRICAS EFETIVAS NAS BACIAS RECEPTORAS ***32***

4.1 METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DAS DEMANDAS HÍDRICAS E SUAS PROJEÇÕES 32

4.1.1 Demanda para Abastecimento Humano Urbano e Rural *33*

4.1.1.1 Projeções Populacionais 34

4.1.1.2 Cálculo do Consumo Efetivo per capita e das Perdas 39

4.1.1.3 Vazão de Retirada 42

4.1.2 Demanda para Dessedentação Animal *42*

4.1.3 Demanda para Irrigação *45*

4.1.4 Demanda Industrial *48*

4.2 RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE EVOLUÇÃO DAS DEMANDAS HÍDRICAS NAS BACIAS RECEPTORAS 56

5. DIAGNÓSTICO DO BALANÇO HÍDRICO NAS BACIAS RECEPTORAS ***59***

5.1 BACIAS E RESERVATÓRIOS MODELADOS 59

5.2 METODOLOGIA DO BALANÇO HÍDRICO 61

5.3 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO BALANÇO HÍDRICO 62

5.3.1 Vazão Afluente *62*

5.3.1.1 Oferta Hídrica Local 62

5.3.1.2 Reservatórios em Série 63

5.3.1.3 Reservatórios de Pequeno Porte 63

5.3.2 Percolação *63*

5.3.3 Precipitação e Evaporação na Superfície Líquida dos Reservatórios 64
5.3.4 Vazão Efluente 64
5.3.4.1 Demandas Associadas aos Reservatórios 64
5.3.4.2 Demandas dos Trechos de Jusante dos Reservatórios 64
5.4 Critérios para Alocação das Demandas Hídricas aos Mananciais Modelados (Reservatórios e Trechos de Jusante Perenes) 65
5.4.1 Alocação das Demandas de Abastecimento Humano Urbano 66
5.4.2 Alocação das Demandas de Abastecimento Humano Rural 70
5.4.3 Alocação das Demandas de Dessedentação Animal 73
5.4.4 Alocação das Demandas de Irrigação 76
5.4.5 Alocação das Demandas Industriais 79
5.5 Demais Critérios e Premissas Adotados para as Simulações 82
5.5.1 Perdas Físicas nos Trechos de Jusante 82
5.5.2 Prioridades de Atendimento às Demandas 83
5.6 Sistema de Suporte à Decisão Empregado 85
5.7 Traçado da Rede de Fluxo no AcquaNet 89
5.8 Simulações Realizadas, Resultados Obtidos e Discussões 91
6. PROGNÓSTICO DO BALANÇO HÍDRICO E PROJEÇÃO DAS VAZÕES BOMBEADAS NO SISTEMA PISF 100
6.1 Metodologia para Modelagem e Projeção das Vazões Bombeadas no Sistema 100
6.2 Estratégia de Modelagem 100
6.3 Dados de Entrada e Critérios de Modelagem 106
6.3.1 Situação de Atendimento Referencial do PISF 106
6.3.2 Alocação das Demandas Hídricas em função da Entrada em Operação do PISF e Infraestruturas Hídricas a ele Associadas 107
6.3.3 Modelagem das Bacias Receptoras 108
6.3.3.1 Oferta Hídrica Local (Endógena) 111
6.3.3.2 Demandas Hídricas Futuras nas Bacias Receptoras para a Situação de Atendimento Referencial do PISF 111
6.3.3.3 Prioridades de Atendimento às Demandas nas Bacias Receptoras 112
6.3.3.4 Volume Meta dos Reservatórios das Bacias Receptoras 116
6.3.3.5 Perdas por Evaporação nos Reservatórios das Bacias Receptoras 116
6.3.3.6 Perdas Físicas em Leitos Naturais 116
6.3.3.7 Construção das Redes de Fluxo das Bacias Receptoras para Modelagem da Operação Integrada com o PISF 117
6.3.4 Modelagem dos Eixos do PISF 128

6.3.4.1 Oferta Hídrica....128
6.3.4.2 Projeção de Demandas Hídricas Associadas aos Portais de Entrega do PISF....128
6.3.4.3 Regime de Bombeamento nas Estações do PISF....129
6.3.4.4 Prioridades de Atendimento às Demandas nos Portais de Entrega do PISF....130
6.3.4.5 Volumes Mínimo, Máximo e Meta nos Reservatórios do PISF....133
6.3.4.6 Perdas por Evaporação nos Reservatórios do PISF e Perdas Físicas no Sistema Construído....134
6.3.4.7 Capacidade dos Canais e das Estações de Bombeamento do PISF....137
6.3.4.8 Critério de Disponibilidade dos Conjuntos Motobomba do PISF....137
6.3.4.9 Projeção das Vazões Bombeadas pelo Sistema PISF....139
6.4 Compilação dos Dados de Entrada, Critérios e Premissas de Modelagem....139
6.5 Modelagem de Cenários de Investimentos e Operação do Sistema PISF....144
6.5.1 Premissas para Definição dos Cenários....144
6.5.2 Cenário 1: Demandas Prioritárias, Mínima Capacidade Ociosa e Mínimos Investimentos....146
6.5.3 Cenário 2: Demandas Prioritárias, Maior Capacidade Ociosa e Menores Riscos Operacionais....147
6.5.4 Cenário 3: Demandas Totais, Máxima Capacidade Instalada do Sistema de Bombeamento nos Eixos Norte e Leste....147
6.6 Projeção de Vazões Bombeadas pelo Sistema PISF nos Cenários Avaliados....148
6.6.1 Cenário 1: Demandas Prioritárias, Mínima Capacidade Ociosa e Mínimos Investimentos....148
6.6.2 Cenário 2: Demandas Prioritárias, Maior Capacidade Ociosa e Menores Riscos Operacionais....154
6.6.3 Cenário 3: Demandas Totais, Máxima Capacidade Instalada do Sistema de Bombeamento nos Eixos Norte e Leste....161
6.7 Verificação da Operação em Situação de Intercorrência no Atendimento às Demandas Prioritárias....164
6.8 Verificação da Garantia de Atendimento aos Déficits Hídricos das Demandas Prioritárias nas Bacias Receptoras Segundo Capacidade Instalada do PISF....168
6.9 Estimativas de Valores de Captação nos Cenários Avaliados e Confronto com a Vazão Firme Outorgada....174
6.9.1 Histórico da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos para o PISF....174
6.9.2 Estimativas de Valores de Captação....175
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS....182
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....187
9. ANEXOS (APRESENTADOS EM FORMATO DIGITAL)....189
9.1 Anexo 1: Demandas Hídricas Anuais Estaduais, por Município e por Uso da Água....189
9.2 Anexo 2: Demandas Hídricas Mensais Alocadas aos Mananciais Modelados nas Bacias Receptoras, na Situação de Atendimento Referencial do PISF....189

9.3 ANEXO 3: DEMANDAS HÍDRICAS ASSOCIADAS AOS PORTAIS DE ENTREGA DO PISF NA SITUAÇÃO DE ATENDIMENTO REFERENCIAL 189

9.4 ANEXO 4: VAZÕES BOMBEADAS NOS EIXOS NORTE E LESTE NOS CENÁRIOS AVALIADOS 189

9.5 ANEXO 5: VAZÕES ENTREGUES NOS PORTAIS DOS EIXOS NORTE E LESTE NOS CENÁRIOS AVALIADOS 189

9.6 ANEXO 6: ESTIMATIVAS DE VALORES DE CAPTAÇÃO 189

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

AcquaNet - Modelo integrado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos desenvolvido pelo LabSid

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CAC - Cinturão das Águas do Ceará

CCVE - Contrato de Compra e Venda de Energia

CHESF - Companhia Hidrelétrica do São Francisco

CMAP - Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas

CNAE - Classificação Nacional das Atividades Econômicas

CNARH - Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos

CNI - Confederação Nacional da Indústria

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco

CONSÓRCIO - Consórcio Engecorps/ Moysés & Pires/ Ceres

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

EB - Estação de bombeamento

EBI - Estação de bombeamento do Eixo Norte (Trecho I do PISF)

EBV - Estação de bombeamento do Eixo Leste (Trecho V do PISF)

EL - Eixo Leste do PISF

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EN - Eixo Norte do PISF

GAD - Grau de Atendimento à Demanda

Hidroweb - Base de dados hidrometeorológicos da ANA

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

LabSid - Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária

MIDR - Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional

MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibrável

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PBHSF - Plano de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

PGA - Plano de Gestão Anual do PISF

PISF - Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional

PNSH - Plano Nacional de Segurança Hídrica

POA - Plano Operativo Anual

RAIS - Relatório Anual de Informações Sociais

RMF – Região Metropolitana de Fortaleza

SEPPI - Secretaria Especial do Programa de Parcerias de Investimentos - Casa Civil

SiADH - Sistema para Análise de Dados Hidrológicos da ANA

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SPA - Secretaria de Política Agrícola

SSD - Sistema de Suporte à Decisão

TET - Termo de Especificações Técnicas

TUD - Tomada d'água de uso difuso

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UNIVALE - Associação dos produtores rurais irrigantes do Vale do Moxotó

1. APRESENTAÇÃO

Em 2023, os estudos para a modelagem da concessão do serviço de adução de água bruta no contexto do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) foram reiniciados. Para esta fase, foi contratado o consórcio composto pelas mesmas empresas que realizaram a modelagem inicial entre 2019 e 2021: Engecorps, Moysés & Pires e Ceres.

Em atendimento à diretriz do BNDES, o trabalho ora contratado considera o material elaborado no âmbito da primeira fase do Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018, *Elaboração dos estudos de modelagem do empreendimento*, priorizando-se a atualização dos estudos feitos anteriormente.

Dessa maneira, o presente "Produto 1- RELATÓRIO DE OFERTA E DEMANDA, SOCIOAMBIENTAL E ENGENHARIA" é parte integrante do contrato para *Estruturação de projeto de concessão do serviço de adução de água bruta no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF*, celebrado entre o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Consórcio Engecorps/ Moysés & Pires/ Ceres, firmado em 14 de julho de 2023.

O Produto 1- RELATÓRIO DE OFERTA E DEMANDA, SOCIOAMBIENTAL E ENGENHARIA divide-se em cinco tomos temáticos, como explicado a seguir:

- Tomo I – Licenciamento e Custos Socioambientais;
- Tomo II – Oferta e Demanda;
- Tomo III – Estado Atual do PISF;
- Tomo IV – Mudança do Clima e Riscos Associados;
- Tomo V – Investimentos, Operação e Manutenção.

Este TOMO II – OFERTA E DEMANDA apresenta:

- O diagnóstico da oferta hídrica local existente nas bacias receptoras do PISF, envolvendo estudos pluviométricos, fluviométricos e evaporimétricos;
- O cálculo das demandas hídricas efetivas para cada município localizado nos quatro estados beneficiados pelo PISF, considerando os diferentes usos da água, no ano base (2022) e projeções anuais durante o horizonte de planejamento (2060);
- O confronto entre as informações de oferta hídrica local e demandas hídricas para o ano base, ainda sem considerar o potencial aporte hídrico advindo do Sistema PISF, de modo a caracterizar o diagnóstico do balanço hídrico nos reservatórios situados nas bacias receptoras do PISF e dos déficits atuais no atendimento às suas demandas;
- Análises de cenários prognósticos de investimentos e de operação do Sistema PISF, vis-à-vis as projeções de demandas hídricas futuras nas bacias receptoras, de que resultam as projeções de vazões de retirada por portal de entrega do PISF e de vazões a serem bombeadas pelo Sistema para atendimento às bacias receptoras.

Do ponto de vista do atendimento aos itens constantes no Termo de Especificações Técnicas - TET do BNDES para o escopo do Relatório de Oferta e Demanda, Socioambiental e Engenharia, o Quadro 1.1 abaixo relaciona os temas especificados no TET com os respectivos capítulos em que se encontram atendidos no presente Tomo II.

Quadro 1.1 - Atividades dos Estudos de Oferta e Demanda

Item do TET	**Descrição da Atividade no TET**	**Item respectivo no presente Tomo II**
6.1.1	Projeções mensais de demanda por água bruta por um período de até 35 (trinta e cinco) anos, para cada um dos Estados, segmentadas por eixo, portal de entrega, tipo de uso e outras segmentações que venham a se revelar relevantes para o desenvolvimento do estudo.	Capítulo 4
6.1.1	Avaliação da disponibilidade de água bruta e eventuais fatores restritivos de oferta.	Capítulo 2
6.1.1.1	Avaliação de diferentes cenários, refletindo premissas para a evolução socioeconômica, demográfica, de padrões climáticos, dentre outras	Capítulo 6 Item 6.5
6.1.1.2	Consideração das variáveis que impactem, direta ou indiretamente, a projeção de demanda e oferta	Capítulos 2 e 4
6.1.3.b	Avaliação das intervenções que podem vir a ser implementadas para que se aprimore ou amplie a capacidade de adução de água bruta do PISF	Capítulo 6 Item 6.3.1
6.1.3.c	Avaliação sobre perdas físicas de água	Capítulo 6 Itens 6.3.3.5, 6.3.3.6 e 6.3.4.6
6.1.6.f	Elaboração de um modelo operacional referencial para o Projeto, com definição de diretrizes técnicas de aspectos operacionais e indicação dos parâmetros operacionais, de forma a possibilitar a seleção do Modelo de Negócios a ser adotado	Capítulo 6 Item 6.5
6.1.6.i	Simulação de cenários de investimentos e custos operacionais para o Projeto, inclusive os ainda não implantados, possibilitando a alteração dos valores para diversos níveis de atendimento de cobertura do serviço de adução de água bruta	Capítulo 6 Item 6.5

2. SUMÁRIO EXECUTIVO

Este Tomo II – Oferta e Demanda apresenta a avaliação da oferta hídrica local e das demandas hídricas efetivas nas bacias receptoras do PISF; a avaliação do balanço hídrico de diagnóstico nas bacias receptoras, caracterizando o déficit hídrico a ser potencialmente suprido pelo Sistema PISF; a simulação da operação integrada da rede de reservatórios das bacias receptoras, incorporando a oferta do PISF; as estimativas de vazões demandadas pelas bacias receptoras nos portais de entrega do PISF, das vazões a serem captadas pelos Eixos Norte e Leste e das vazões a serem aduzidas nas estações de bombeamento do Sistema, mensalmente, ao longo do horizonte de planejamento.

A oferta hídrica local nas bacias receptoras foi caracterizada nos estudos intitulados *Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação* (ANA, 2017), contemplando 138 reservatórios localizados nas bacias receptoras do PISF. Tais estudos mostraram que as vazões afluentes a esses reservatórios têm probabilidade de serem igualadas ou excedidas em apenas 20% do tempo para as bacias receptoras do Eixo Norte e em apenas 24% do tempo para as bacias receptoras do Eixo Leste, caracterizando uma disponibilidade hídrica endógena muito restrita.

Paralelamente, as demandas hídricas nas bacias receptoras foram projetadas ao longo do horizonte de planejamento (2026-2060) para os usos de abastecimento humano (urbano e rural), dessedentação animal, agricultura irrigada e indústria da transformação, utilizando-se metodologias consagradas e adotadas nas referências oficiais de planejamento do setor, a saber: Atlas Águas (ANA, 2021), Atlas Irrigação (2021) e Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019 com atualização dos dados em 2022). Todas as publicações de referência consideram evolução tendencial das variáveis projetadas e o conceito de demandas hídricas efetivas, ou seja, demandas já existentes ou projetadas nos cenários de usos da água, portanto sem considerar o potencial de indução de novas demandas (especialmente irrigação) a partir do incremento da oferta hídrica proporcionado pelo PISF.

O balanço hídrico realizado na etapa de diagnóstico teve como objetivo avaliar as condições de atendimento às demandas hídricas futuras considerando apenas a oferta hídrica local das bacias receptoras, ou seja, sem nenhum aporte externo adicional proporcionado pelo PISF, e sem alteração na infraestrutura já existente de distribuição dessa oferta local aos centros de consumo. Os resultados dessas avaliações permitem constatar a ocorrência de déficits no atendimento às demandas ao longo de todo o histórico de afluência natural, desde a cena atual (2022) até o horizonte de final de plano (2026), condição que caracteriza o PISF como uma relevante obra de segurança hídrica para o semiárido brasileiro.

A partir dessa avaliação, realizou-se então a modelagem da operação integrada do Sistema PISF e suas bacias receptoras, de modo a permitir o cálculo das vazões a serem bombeadas pelo PISF visando ao atendimento dos déficits associados aos sistemas hídricos que poderão ser beneficiados com a entrada em operação dos eixos de adução Norte e Leste e demais infraestruturas a eles associadas. A metodologia adotada baseou-se no confronto entre a oferta hídrica endógena das bacias receptoras adicionada à oferta garantida pelo Sistema PISF e as demandas estimadas para cada uso da água ao longo do horizonte de planejamento na situação de atendimento estabelecida para o Sistema, caracterizando o balanço hídrico futuro das bacias receptoras integrado à operação dos eixos de adução do PISF.

Como pressuposto básico, admitiu-se que os Estados receptores encomendarão, nos portais de entrega do PISF, os volumes de água necessários para suprimento dos déficits hídricos médios associados às demandas das bacias receptoras, devidamente acrescidos das perdas ao longo do sistema natural por onde escoam as

águas do PISF bacia adentro. Como área passível de ser atendida pelo Sistema, consideram-se as infraestruturas de adução existentes e aquelas habilitadas pelo Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019b atualizado em MIDR/IICA, 2023) que se encontram em estágio de obras, além dos ramais do PISF e infraestruturas associadas, seja em estágio de obras, projeto ou estudo.

Foram analisados diferentes cenários de investimentos e de operação do Sistema PISF, fruto da modelagem de diferentes critérios plausíveis associados às condições de operação das infraestruturas hídricas que compõem o Sistema, em termos de capacidades e regimes de operação das estações de bombeamento, e de demandas aos portais de entrega advindas de diferentes condições de atendimento ofertado pelo PISF às bacias receptoras.

As condições operativas do Sistema avaliadas nesses cenários basearam-se na premissa de atendimento, sempre que possível, da sazonalização mensal das demandas nos portais do PISF conforme as proporções estabelecidas no Plano de Gestão Anual (PGA) do PISF de 2023, sob a premissa operacional de promover maior entrega de água nos períodos de menores perdas naturais nas bacias receptoras. Nos casos em que o Sistema PISF não mostrou capacidade de atender a essa sazonalização, verificou-se o efeito do aproveitamento da capacidade ociosa das bombas em meses de menor volume de bombeamento nas proporções PGA (flexibilização operativa mensal), postergando investimento em ampliação de capacidade, porém sob risco de limitar de forma significativa a capacidade de entrega regular do PISF, exigindo entregas significativamente maiores fora do período hidrológico ideal. Adicionalmente, admitiu-se bombeamento nas 24 horas diárias em todos os dias da semana (flexibilização operativa horária), a critério do futuro concessionário, como forma de maior aproveitamento da capacidade instalada nas estações de bombeamento, desde que mantidas as paradas obrigatórias para manutenção.

Os cenários foram concebidos de modo a explorar a gama de situações que possam alterar, especialmente, os custos de implantação e operação associados à ampliação da capacidade instalada de ambos os Eixos, resultando nas seguintes configurações:

- **Cenário 1:** considera o atendimento às demandas prioritárias nas bacias receptoras. Como capacidade instalada do Sistema PISF, prevê a operação do Eixo Norte com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (25% da capacidade) até 2026 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) a partir de 2027; e a operação do Eixo Leste com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) até o final do horizonte de planejamento.

  No Eixo Leste, a operação segundo premissas do Cenário 1 exige flexibilização mensal dos volumes entregues em todo o horizonte de planejamento, não atendendo às proporções pactuadas entre estados e União no PGA, e flexibilização horária a partir de 2050. Ademais, não há redundância em todo o período analisado, configurando-se em um risco operacional previsto na operação do Eixo Leste com 2 conjuntos motobomba até o final do horizonte de planejamento.

  No Eixo Norte, a operação segundo premissas do Cenário 1 ocorreria sem necessidade de flexibilização mensal ou horária, atendendo às proporções mensais do PGA em todo o horizonte.

- **Cenário 1':** concebido com o objetivo de se avaliar o efeito da antecipação da flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste para desde o início do horizonte de estudo (2026), mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 1.

  Observam-se maiores folgas operativas quando comparadas às resultantes do Cenário 1, com diminuição

do fator de utilização das bombas e aumento nos limites de tempo para paradas não programadas em todas as estações de bombeamento do Eixo Leste, proporcionado por esta flexibilização já em 2026. No entanto, as regras operacionais adotadas ainda exigem flexibilização mensal dos volumes entregues em todo o horizonte de planejamento, não atendendo às proporções pactuadas entre Estados e União no PGA. Permanece também no Eixo Leste o risco operacional por falta de redundância em todo o período do ano.

- **Cenário 2:** diferencia-se do Cenário 1 por considerar, para o Eixo Leste, operação com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) até 2029 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (100% da capacidade) a partir de 2030.

  Com os critérios estabelecidos para o Cenários 2, e após a ampliação a ocorrer em 2030, verifica-se que o Eixo Leste passaria a operar atendendo às proporções mensais do PGA e com capacidade ociosa acima de 50%, configurando redundância operacional, com mitigação dos riscos de funcionamento do Sistema. No Eixo Norte, após a ampliação a ocorrer em 2027, os conjuntos motobomba adicionais configuram-se praticamente como reserva em 80% do tempo, permitindo assim maior flexibilidade para atendimento excepcional de demanda em anos secos em ambos os eixos.

  Em comparação ao Cenário 1, em que pese o custo de investimento adicional, o custo operacional com energia elétrica não deverá se alterar significativamente, uma vez que os volumes totais anuais entregues nos portais são mantidos em ambos os eixos.

- **Cenário 2':** concebido com o objetivo de se avaliar o efeito da expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 do Eixo Leste para 100% da capacidade, permanecendo as EBV-1 a EBV-4 com 50% de capacidade em todo o horizonte de planejamento, e mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 2.

  Observa-se melhor aproveitamento da capacidade já instalada no Eixo Leste, com possibilidade de bombeamento dos mesmos volumes mensais e anuais para atendimento às demandas nos portais quando comparado ao Cenário 2, portanto sem alteração no custo operacional com energia elétrica.

- **Cenário 2'':** concebido a partir do Cenário 2', com o objetivo de se avaliar o efeito da flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste desde o início do horizonte de estudo (2026), mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 2'.

  Observa-se que, com a ampliação das EBV-5 e EBV-6 do Eixo Leste para 04 bombas, prevista nos Cenários 2' e 2'' para ocorrer em 2030, tal flexibilização não se faz necessária, podendo ser seguido o regime de bombeamento PGA até o final do horizonte de estudo, mesmo sem a flexibilização horária.

- **Cenário 3:** considera atendimento às demandas totais nas bacias receptoras. Como capacidade instalada do Sistema PISF, prevê a operação do Eixo Norte com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (25% da capacidade) até 2026, sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) a partir de 2027 e, finalmente, ampliação para 08 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (100% da capacidade) a partir de 2030. Para o Eixo Leste, prevê operação com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) até 2029 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (100% da capacidade) a partir de 2030.

  Verifica-se que, para atendimento às demandas totais, o Eixo Norte necessitaria operar em sua capacidade máxima, com 08 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (condição

admitida a partir de 2030). Até 2029, com o Eixo Norte operando com 02 ou 04 conjuntos motobomba, evidencia-se falha no atendimento a todas as bacias receptoras decorrente de limitação de capacidade instalada das estações de bombeamento. Da mesma forma, o Eixo Leste necessitaria operar em sua capacidade máxima, com 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (condição admitida a partir de 2030), para atendimento às demandas totais.

Sob o ponto de vista da operação do PISF, atualmente o atendimento às demandas das bacias receptoras está condicionado pela outorga de direito de uso de recursos hídricos concedida ao Ministério da Integração (atual Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional - MIDR) pela Agência Nacional de Águas - ANA (atual Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), mediante Resolução nº 411/2005, que estabelece a restrição de 26,4 m³/s de vazão firme[1] disponível para bombeamento, nos dois eixos, a qualquer tempo.

Adicionalmente, novas condições foram recentemente solicitadas pelo MIDR à ANA no pedido de revisão da outorga, relativas à outorga preventiva adicional no valor de 5,365 m³/s (equivalente ao adicional necessário para se atingir a demanda hídrica estimada para os usos prioritários em 2045).

Considerando os resultados da modelagem realizada, observa-se que a restrição da outorga em escala anual (vazão firme atualmente outorgada, de 26,4 m³/s, acrescida da outorga preventiva adicional de 5,365 m³/s solicitada pelo MIDR) é obedecida em todos os cenários que consideram o atendimento apenas às demandas prioritárias das bacias receptoras. Em contrapartida, para o cenário que considera também o atendimento às demandas não-prioritárias das bacias receptoras, a vazão firme da outorga, acrescida da outorga preventiva adicional solicitada pelo MIDR, é superada pelas vazões captadas médias anuais já a partir de 2027 (ano em que é prevista a ampliação do Eixo Norte para 50% da capacidade instalada), indicando necessidade de revisão da outorga caso se considerassem as premissas de atendimento desse cenário na operação do PISF.

[1] Valor médio anual, conforme Ofício nº 1737/2017/SRE-ANA.

3. OFERTA HÍDRICA LOCAL NAS BACIAS RECEPTORAS

O levantamento da oferta hídrica local disponível nas bacias receptoras do PISF foi realizado no âmbito do estudo intitulado "Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação" (ANA, 2017b) e contemplou estudos pluviométricos, evaporimétricos e fluviométricos, realizados mediante a adoção dos procedimentos metodológicos resumidamente descritos nos subitens seguintes.

O referido estudo avaliou a disponibilidade hídrica em um conjunto de 204 reservatórios pré-selecionados pela ANA, situados em sete estados do semiárido brasileiro, dos quais 138 reservatórios estão localizados nas bacias receptoras do PISF, nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. São elas: bacias dos rios Apodi, Jaguaribe, Piranhas-Açu e Brígida (receptoras do Eixo Norte), e bacias dos rios Paraíba, Ipojuca, Moxotó e Pajeú (receptoras do Eixo Leste). Esses reservatórios são apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Reservatórios localizados nas bacias receptoras do PISF e avaliados nos estudos de oferta hídrica local (ANA, 2017b)

Eixo	Bacia Receptora	Código do Espelho d´Água (1)	Reservatório	UF	Volume Mínimo (hm³)	Volume Máximo (hm³)
Eixo Leste	Paraíba	1150	Camalaú	PB	0,2	46,4
		1153	Poções	PB	0,6	29,9
		21661	Acauã	PB	2,0	253,0
		1158	Cordeiro	PB	1,5	70,0
		978	Epitácio Pessoa	PB	34,2	411,7
		994	José Rodrigues	PB	0,7	22,3
		1314	Mucutú	PB	0,7	25,4
		1143	Santo Antônio	PB	0,4	24,4
		1258	Serra Branca II	PB	0,9	14,0
		1027	Soledade	PB	3,5	27,1
		1236	Sumé	PB	0,2	44,9
		1281	Taperoá II (Manoel Marcionilo)	PB	0,0	15,1
	Ipojuca	1078	Belo Jardim (Ipojuca ou Pedro Moura Júnior)	PE	1,5	29,2
		1076	Engenheiro Severino Guerra (Bitury)	PE	0,1	15,0
		1072	Pão de Açúcar	PE	2,7	35,0
	Moxotó	1148	Custódia (Marrecos)	PE	0,9	21,6
		1134	Eng. Francisco Saboia (Poço da Cruz)	PE	75,6	504,0
	Pajeú	1175	Barra do Juá	PE	0,7	71,5
		1185	Brotas	PE	0,4	19,6
		1183	Cachoeira II	PE	0,0	21,0
		1180	Jazigo	PE	1,0	15,5
		1173	Rosário	PE	1,6	35,0
		1178	Serrinha II	PE	3,5	311,1

Eixo	Bacia Receptora	Código do Espelho d´Água (1)	Reservatório	UF	Volume Mínimo (hm³)	Volume Máximo (hm³)
Eixo Norte	Apodi	2067	Apanha Peixe	RN	1,8	10,0
		2201	Arapuá	RN	0,1	4,3
		2220	Bonito II	RN	1,2	10,9
		1702	Marcelino Vieira	RN	1,1	11,2
		1768	Pau dos Ferros	RN	1,1	54,8
		1850	Riacho da Cruz II	RN	0,6	9,6
		2047	Santa Cruz do Apodi	RN	15,9	599,7
		1836	Santo Antônio das Caraúbas	RN	0,8	8,5
		2046	Umari	RN	13,6	292,8
		1825	Brejo	RN	0,3	6,5
		1796	Lucrécia	RN	1,6	24,8
		1798	Rodeador	RN	1,2	21,4
		1817	Tourão	RN	0,4	8,0
	Jaguaribe	2495	Banabuiú	CE	0,2	1.601,0
		2945	Cedro	CE	0,5	122,0
		2712	Cipoada	CE	4,5	86,1
		2483	Fogareiro	CE	1,9	118,8
		3157	Monsenhor Tabosa	CE	1,8	12,1
		2435	Patu	CE	3,4	71,8
		2720	Pedras Brancas	CE	0,8	434,1
		2779	Pirabibu	CE	9,4	74,0
		2587	Poço do Barro	CE	1,4	52,0
		2470	Quixeramobim	CE	0,0	7,9
		2415	São José II	CE	0,3	28,9
		2422	Serafim Dias	CE	0,9	40,9
		2440	Trapiá II	CE	1,5	18,2
		23123	Umari	CE	2,6	35,0
		2475	Vieirão	CE	0,0	20,7
		1982	Arneiroz II	CE	0,1	187,7
		1964	Benguê	CE	1,3	19,6
		2496	Canafístula	CE	1,2	13,1
		2089	Canoas	CE	0,0	69,3
		2648	Castanhão	CE	57,5	6.700,0
		2508	Ema	CE	0,5	10,4
		1944	Favelas	CE	1,9	30,1
		2414	Jenipapeiro	CE	0,6	14,6
		2274	Joaquim Távora	CE	2,0	26,8
		23127	Mamoeiro	CE	2,5	20,5
		1962	Muquém	CE	5,1	47,6
		2226	Orós	CE	16,9	1.940,0
		1871	Poço da Pedra	CE	1,2	52,0
		23124	Riacho da Serra	CE	0,1	23,5
		2737	Riacho do Sangue	CE	3,1	58,4
		1978	Rivaldo de Carvalho	CE	0,0	20,1
		2868	Santo Antônio de Russas	CE	3,1	24,0
		2410	Tigre	CE	0,0	3,5
		2302	Trici	CE	1,4	16,5

Eixo	Bacia Receptora	Código do Espelho d´Água (1)	Reservatório	UF	Volume Mínimo (hm³)	Volume Máximo (hm³)
Eixo Norte	Jaguaribe	1976	Trussu	CE	1,3	301,0
		2299	Várzea do Boi	CE	5,6	51,9
		2100	Atalho (ver Nota 3)	CE	79,6	107,57
		2117	Cachoeira	CE	0,3	34,3
		23122	Jenipapeiro II	CE	2,1	41,4
		2206	Lima Campos	CE	0,9	66,4
		2115	Manoel Balbino	CE	0,1	37,2
		2092	Olho D'Água	CE	2,4	21,0
		2111	Prazeres	CE	2,3	32,5
		2103	Quixabinha	CE	0,7	31,8
		2084	Thomás Osterne	CE	0,6	28,8
		2146	Ubaldinho	CE	6,0	31,8
	Piranhas-Açu	1427	Boqueirão de Angicos	RN	1,0	16,0
		1308	Capoeira	PB	1,4	53,5
		1315	Farinha	PB	0,3	25,7
		1316	Jatobá I	PB	0,9	17,5
		1611	Beldroega	RN	0,7	8,1
		1422	Mendubim	RN	4,3	76,3
		1418	Pataxó	RN	0,8	15,0
		2128	Lagoa do Arroz	PB	2,6	80,2
		2139	Pilões	PB	1,9	13,0
		1192	Bruscas	PB	0,0	38,2
		1208	Cachoeira dos Alves	PB	0,0	10,6
		1215	Cachoeira dos Cegos	PB	0,0	69,0
		1184	Catolé I	PB	0,0	10,5
		2102	Condado	PB	0,3	35,0
		1218	Coremas	PB	37,2	591,6
		1202	Jenipapeiro (Buiu)	PB	0,6	70,8
		23038	Mãe D'água	PB	7,4	568,0
		1193	Piranhas	PB	0,4	25,7
		1188	Poço Redondo	PB	0,1	8,9
		1204	Queimadas	PB	0,1	15,6
		1191	Saco	PB	0,3	97,5
		2099	Santa Inês	PB	0,9	26,1
		2101	Serra Vermelha I	PB	0,0	11,8
		1189	Timbaúba	PB	0,3	15,4
		1734	Baião	PB	0,0	39,2
		2106	Bartolomeu I	PB	0,0	17,6
		23125	Bom Jesus	PB	0,0	2,0
		1663	Carneiro	PB	0,4	31,3
		1421	Eng. Armando Ribeiro Gonçalves	RN	272,3	2.400,0
		1223	Engenheiro Arcoverde	PB	2,0	30,6
		2116	Engenheiro Ávidos	PB	26,8	255,0
		1749	Escondido	PB	2,9	16,6
		1674	Riacho dos Cavalos	PB	0,9	17,7
		1687	Santa Rosa	PB	0,0	2,8

Eixo	Bacia Receptora	Código do Espelho d´Água (1)	Reservatório	UF	Volume Mínimo (hm³)	Volume Máximo (hm³)
Eixo Norte	Piranhas-Açu	1230	São Gonçalo I	PB	3,0	44,6
		2107	São José I	PB	0,3	3,1
		1714	Tapera	PB	0,6	26,4
		1582	Rio da Pedra	RN	2,7	13,6
		1445	Boqueirão de Parelhas (Ministro João Alves)	RN	0,9	84,8
		1446	Caldeirão de Parelhas	RN	0,6	9,3
		1478	Carnaúba	RN	1,4	25,7
		1534	Cruzeta	RN	1,2	23,5
		1553	Dourado	RN	0,8	10,3
		1515	Itans	RN	4,8	81,8
		1531	Marechal Dutra	RN	1,7	44,4
		1509	Passagem das Traíras	RN	0,9	49,7
		1481	Sabugi	RN	0,7	65,3
		1345	São Mamede	PB	1,8	15,8
		1502	Várzea Grande	PB	0,0	21,5
		1465	Zangarelhas	RN	1,0	7,9
	Brígida	1894	Algodões	PE	0,0	58,5
		1936	Chapéu	PE	0,0	188,0
		1893	Eng. Camacho (Tamboril II)	PE	2,1	27,7
		1887	Entremontes	PE	12,9	339,3
		1902	Lagoa do Barro	PE	0,0	13,2
		1898	Lopes II	PE	0,7	23,9

Notas:

(1) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.

(2) Estão identificados em hachura mais escura os reservatórios receptores do PISF, isto é, aqueles que podem receber a água aduzida pelo Projeto, seja por aporte direto dos portais de entrega do PISF ou por transferência de reservatório receptor a montante.

(3) O reservatório Atalho foi incorporado ao Eixo Norte do PISF. Foram adotados, neste reservatório, os volumes característicos estabelecidos em MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL/ CONCREMAT ENGENHARIA/ ARCADIS LOGOS (2016).

Convém destacar que a oferta hídrica apresentada neste Capítulo considera a disponibilidade hídrica local das bacias receptoras, a partir do aproveitamento dos recursos hídricos produzidos na própria bacia, antes de qualquer alteração com a introdução das contribuições do PISF.

3.1 ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

3.1.1 LEVANTAMENTO E SELEÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Segundo a metodologia descrita no estudo "Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação" (ANA, 2017b), os dados pluviométricos utilizados foram obtidos do Hidroweb[2], da ANA, e totalizaram 2.357.539 registros com valores diários de precipitação de um total de 5.381 postos

[2] Segundo o sítio eletrônico do próprio portal, o HidroWeb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.

pluviométricos, localizados em três Regiões Hidrográficas: Atlântico, Trecho Norte/Nordeste; Rio São Francisco e Atlântico, Trecho Leste.

Para a seleção dos postos pluviométricos utilizados nos estudos, foram adotados os seguintes parâmetros de escolha:

- Estações com início de operação anterior a 1960;
- Estações com pelo menos 10 anos de dados disponíveis; e
- Análise visual das descontinuidades (falhas) presentes nas séries que foram habilitadas de acordo com os dois critérios acima e eventual exclusão das séries que apresentaram ocorrência de mais de 2 anos de lacunas contínuas.

Esse processo resultou na seleção de 2.140 postos pluviométricos distribuídos na região do semiárido e entorno.

3.1.2 TRATAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados dos postos pluviométricos selecionados foram tratados da seguinte forma:

- Análise de consistência, para preenchimento de falhas e extensão das séries pluviométricas, realizada pelo método do Vetor Regional[3], complementado por abordagens em nível anual, mensal e diário. Para as três Regiões Hidrográficas, o período de ajuste do Vetor Regional se inseriu entre os anos de 1913 e 2013, variando seu início de bacia para bacia hidrográfica;
- Análise de estacionariedade, realizada por três procedimentos para a investigação da estacionariedade das séries temporais de precipitação em nível anual: análise de tendência linear nas séries plotadas ao longo do tempo; Teste t Student; e Teste Wilcoxon[4]. Nos dois últimos casos, a hipótese nula foi testada e a aceitação da hipótese nula implicou a rejeição da hipótese alternativa;
- Preenchimento de falhas e extensão das séries pluviométricas, realizada com emprego de análise fatorial por componentes principais;
- Definição de regiões de pluviometria homogêneas, pelo método conhecido como Inverso do Quadrado da Distância, que, devido ao uso do expoente 2, fornece uma estimativa dos valores baseando-se nos pesos ponderados aos postos mais próximos; ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado estiver o posto, maior será o peso associado a este e, consequentemente, maior será sua influência na estimativa;
- Definição das séries de precipitação média sobre as bacias hidrográficas controladas pelos reservatórios de interesse, realizada com base no Método da Malha[4]. Os coeficientes de ponderação (coeficientes de Thiessen) calculados para cada reservatório e cada ano foram aplicados às

[3] Método recomendado pela ANA para análise de consistência e preenchimento de séries temporais de precipitação. Maiores detalhes podem ser consultados na publicação: Orientações para consistência de dados pluviométricos / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH, 2012.

[4] Maiores detalhes podem ser consultados na publicação: Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação/ Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

correspondentes séries pluviométricas consistidas para a obtenção de cada uma das séries médias de chuva diária sobre as áreas não controladas.

3.1.3 Definição do Vetor de Precipitações Mensais Incidentes Sobre a Bacia Hidráulica de Cada Reservatório de Interesse

Os vetores de precipitação média sobre o lago dos reservatórios são considerados para fins de balanço hídrico, tendo como espaço de cômputo a área do espelho de água em cada intervalo temporal considerado.

Os postos pluviométricos dos quais se aduziram as médias mensais foram aqueles que atenderam a duas condições, a saber:

- Extensão da série de dados disponíveis: foram descartados os postos com menos de 30 anos de dados, conferindo assim a necessária significância estatística na escolha dos postos;
- Proximidade do lago e representatividade: para cada reservatório, foi adotado o vetor de chuvas médias do posto mais próximo ao centroide do espelho d'água, verificando-se, na escolha, a inexistência de efeitos locais (relevo, ocorrência de serras, depressões topográficas sob efeito de "sombra" pluviométrica) dotados de suficiência capaz de comprometer a representatividade em relação aos fins pretendidos.

Paralelamente, foram também gerados, para cada mês do ano, os mapas da precipitação acumulada, a partir de interpolação das informações disponíveis nas Normais de Precipitação Acumulada 1961-1990 do INMET[5]. Tais dados foram plotados em um sistema de coordenadas geográficas, e convertidos para o datum SIRGAS2000. Na sequência, foram gerados os 12 mapas mensais, ou seja, foram realizadas 12 interpolações, com emprego do Método da Mínima Curvatura[6], uma para cada mês do ano. O mapa da precipitação total anual foi então obtido através da soma destes 12 mapas gerados pela interpolação dos dados mensais.

A confecção dos mapas mensais de precipitação baseou-se na interpolação dos dados de 338 estações cadastradas no INMET, sendo que destas, 56 estações estão inseridas no semiárido nordestino. Contudo, foi utilizado o conjunto completo de dados disponíveis para todo o território nacional, buscando-se minimizar o efeito de borda típico nas interpolações[7].

Por fim, os valores mensais representativos da precipitação acumulada no local de cada reservatório foram obtidos a partir do cruzamento do centroide do espelho d'água com os respectivos mapas mensais.

A Figura 3.1 ilustra os resultados obtidos na etapa de estudos pluviométricos desenvolvidos para o semiárido brasileiro.

[5] Disponível em https://portal.inmet.gov.br/normais.

[6] Maiores detalhes podem ser consultados na publicação: Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação/ Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

[7] De acordo com Harzheim; Warnecke, 2010, *apud* Rios, 2018 (O efeito de borda na Geoestatística. Viçosa, MG, 2018), o efeito de borda em interpolações significa que a acurácia do modelo de interpolação decresce na borda da área de interesse devido ao fato de os pontos amostrais nesse local não estarem rodeados de outros pontos amostrais na vizinhança. Isso ocorre porque a estimativa de um ponto não amostrado depende dos valores dos pontos amostrais, principalmente daqueles que estão mais próximos.

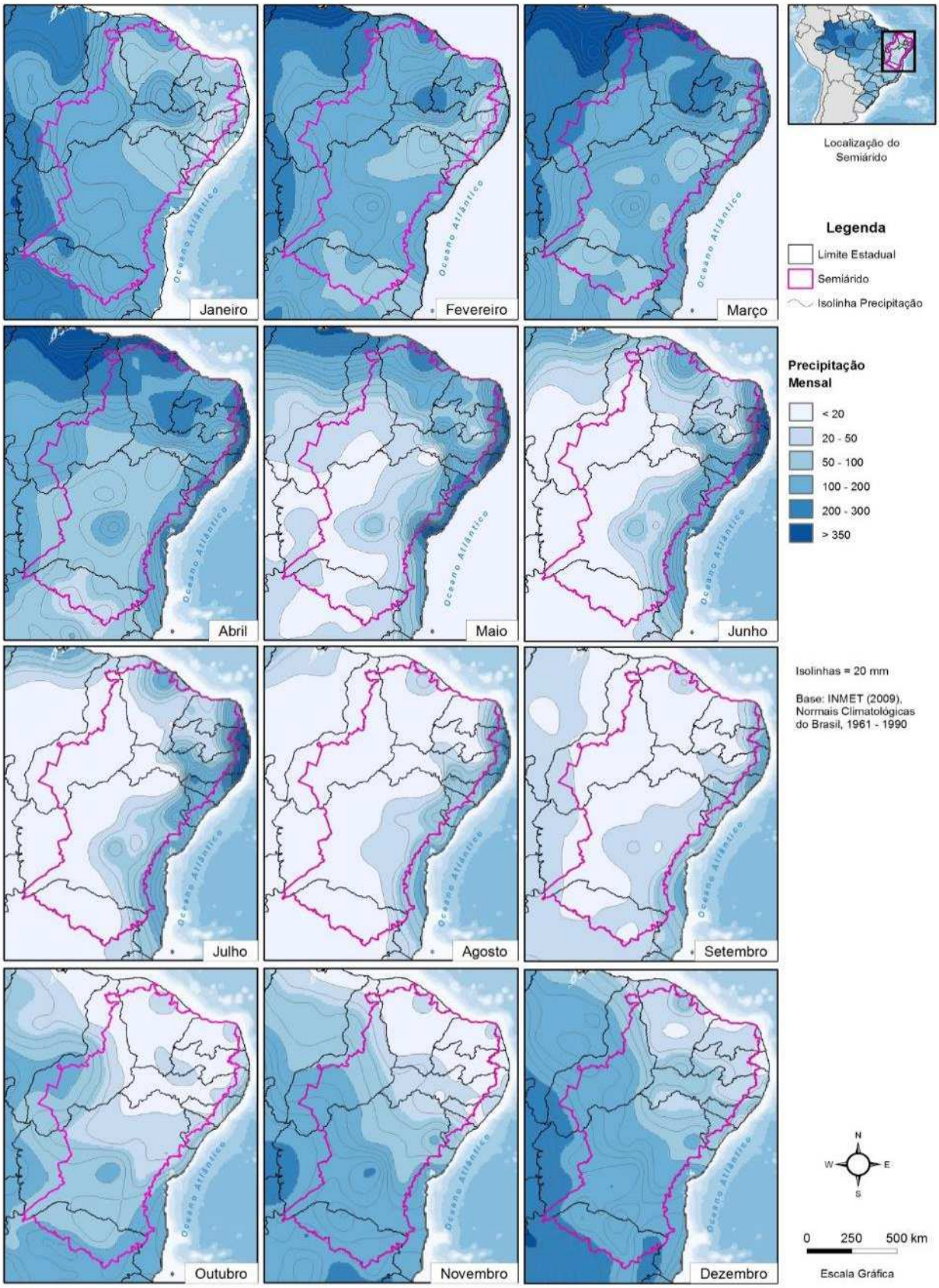


Figura 3.1 – Precipitação Total Mensal na Área do Semiárido Brasileiro. Fonte: ANA (2017b)

3.2 ESTUDOS EVAPORIMÉTRICOS

A correta compreensão da espacialidade dos elementos do clima é crucial em diversos contextos, entre eles o entendimento dos sistemas hidrológicos que permeiam estudos de balanço hídrico, objeto do presente Tomo II.

Na elaboração de um estudo climatológico, ao delimitar uma área a partir de uma série temporal de dados, ou mesmo a partir da consolidação dos dados anuais, é preciso ter em mente o caráter de uma característica preponderante dessas bases: são informações pontuais que se referem a um fenômeno com abrangência contínua.

De fato, boa parte dos dados disponíveis para o estudo do clima é oriundo de estações meteorológicas que, embora tenham a localização espacial conhecida, são distribuídas de maneira esparsa e irregular no território, de tal forma que, para obter uma análise integrada, é necessário recorrer a técnicas de interpolação espacial destes dados.

Em termos gerais, interpolação é um procedimento matemático que possibilita estimar o valor de um ponto situado entre um conjunto de pontos cujo valor é conhecido. O raciocínio que permite a utilização da interpolação nas análises espaciais é de que, em geral, valores de um determinado atributo cujos pontos estejam próximos são mais parecidos entre si que os valores observados entre pontos distantes, raciocínio este que é amplamente conhecido como a primeira lei de Tobler (Miller, 2004).

Entre os atuais softwares disponíveis de geoprocessamento, existe uma gama de algoritmos que podem ser utilizados com esta finalidade, cada qual com qualidades e limitações, de tal forma que sempre devem ser escolhidos com observância ao critério acima referido.

Três interpoladores são frequentemente utilizados no tratamento de dados climatológicos: o Inverso do Quadrado da Distância, a Krigagem e a Mínima Curvatura. A descrição sucinta dos cálculos efetuados por estes métodos, bem como uma comparação entre eles, pode ser encontrada em Carvalho e Assad (2005). Neste estudo, os autores concluem por uma maior qualidade dos dados finais quando calculados com o método da Krigagem e com o da Mínima Curvatura.

A principal vantagem do interpolador Mínima Curvatura é que os valores da superfície são estimados a partir de uma amostra relativamente pequena, situação normalmente encontrada nas séries históricas dos dados climatológicos. Além disso, mantém os contornos fiéis aos dados originais. Por essa razão, o método da Mínima Curvatura foi escolhido no presente trabalho para a elaboração dos mapas mensais e anuais de evaporação a partir dos dados das Normais Climatológicas do INMET.

Para os estudos evaporimétricos, foram utilizados os dados das Normais Climatológicas de Evaporação Total do INMET disponíveis para o período 1961-1990 na região do semiárido e entorno.

Para cada mês do ano, foram gerados os mapas da evaporação total mensal, a partir de interpolação das informações disponíveis do INMET. Os dados das Normais de Evaporação foram plotados em um sistema de coordenadas geográficas, e convertidos para o datum SIRGAS2000. Na sequência, foram gerados os 12 mapas mensais, ou seja, foram realizadas 12 interpolações, uma para cada mês do ano. O mapa da evaporação total anual foi então obtido através da soma destes 12 rasters gerados pela interpolação dos dados mensais.

A confecção dos mapas mensais de evaporação baseou-se na interpolação dos dados de 327 estações cadastradas no INMET, sendo que destas, 64 estações estão inseridas no semiárido nordestino. Apesar de a área de inserção dos reservatórios de interesse ser limitada pelo polígono do semiárido, foi utilizado o conjunto completo de dados disponíveis para todo o território nacional, tal como realizado nos estudos pluviométricos, minimizando-se com isso o efeito de borda típico nas interpolações.

Por fim, os valores mensais representativos da evaporação no local de cada reservatório foram obtidos a partir do cruzamento do centroide do espelho d'água com os respectivos mapas mensais.

A Figura 3.2 ilustra os resultados obtidos na etapa de estudos evaporimétricos desenvolvidos para o semiárido brasileiro.

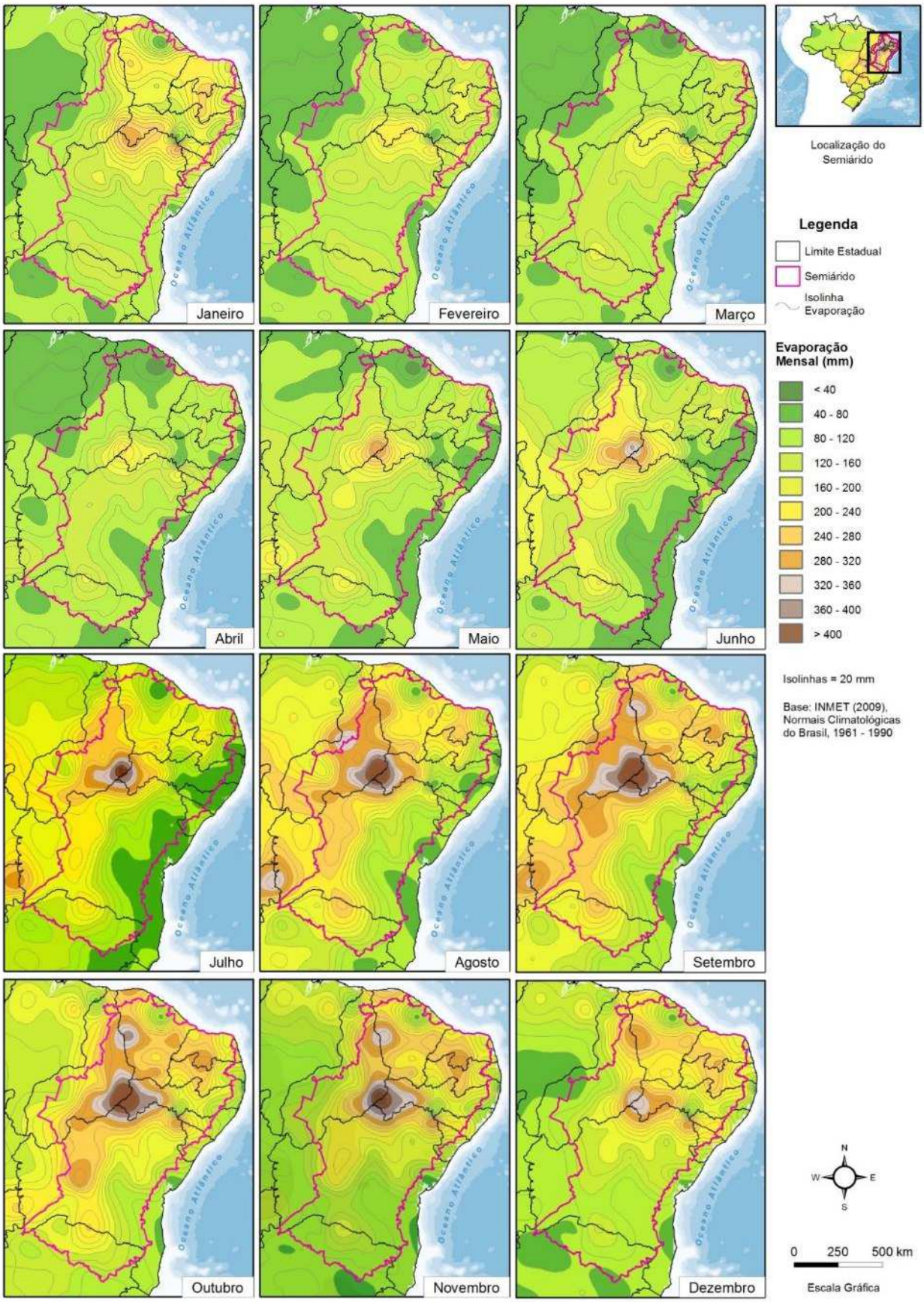


Figura 3.2 - Evaporação Total Mensal na Área do Semiárido Brasileiro. Fonte: ANA (2017b)

3.3 ESTUDOS FLUVIOMÉTRICOS

3.3.1 LEVANTAMENTO E SELEÇÃO DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS

A rede de monitoramento fluviométrico inicialmente considerada para os estudos foi a totalidade das estações encontradas no acervo Hidroweb[8], da ANA, correspondente às três Regiões Hidrográficas em que estão localizados os reservatórios de interesse, no semiárido nordestino, e totalizaram 607.088 registros com valores diários de vazão de um total de 1.202 estações fluviométricas.

Para seleção dos postos fluviométricos utilizados nos estudos, foram adotados os seguintes parâmetros de escolha, tal como detalhado em ANA (2017):

- Estações com início de operação anterior a 1990;
- Estações com pelo menos 4 anos de dados disponíveis;
- Análise visual das descontinuidades (falhas) presentes nas séries que foram habilitadas de acordo com os dois critérios acima e eventual exclusão das séries que apresentaram mais de 2 anos de lacunas contínuas.

Esse processo resultou na seleção de 614 postos fluviométricos distribuídos na região do semiárido e entorno.

3.3.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados dos postos fluviométricos selecionados foram tratados da seguinte forma:

- Análise de consistência, realizada com emprego do software denominado Sistema para Análise de Dados Hidrológicos - SiADH, desenvolvido pela ANA, disponível no portal da Agência. O software possibilita a elaboração de diversos gráficos e tabelas referentes às análises de vazões e cotas, permitindo ao usuário identificar inconsistências e possíveis incoerências nos dados hidrológicos;
- Análise de estacionariedade, realizada por três procedimentos para a investigação da estacionariedade das séries temporais de vazões em nível de médias anuais: análise de tendência linear nas séries plotadas ao longo do tempo; Teste t Student; e Teste Wilcoxon. Nos dois últimos casos, a hipótese nula foi testada e a aceitação da hipótese nula implicou a rejeição da hipótese alternativa;
- Preenchimento e extensão das séries fluviométricas, realizada com base na aplicação do próprio modelo chuva x vazão e aplicação de regressão linear múltipla, em particular, quando do preenchimento de dados em nível mensal, lançando-se mão de postos adjacentes como variáveis independentes, preferencialmente aqueles localizados a montante ou a jusante da estação para a qual se deseja o preenchimento;
- Calibração e validação de modelo chuva x vazão para geração de séries fluviométricas pseudo-históricas. O modelo selecionado foi o Modelo Hidrológico Auto Calibrável (MODHAC), desenvolvido

[8] Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.

e calibrado especificamente para a região semiárida brasileira, com passo de cálculo diário e totalização mensal. Sua concepção supõe três reservatórios representando o armazenamento superficial, subsuperficial e subterrâneo (Figura 3.3). O processo de cálculo emula um balanço hídrico diário com base na precipitação, na taxa de evaporação e no inter-relacionamento entre os citados reservatórios;

- Definição das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios, a partir da aplicação do MODHAC; e

- Definição das curvas de regularização dos reservatórios (garantias de 70%, 80%, 90%, 95% e 99%), realizada mediante a resolução da equação do balanço hídrico, que contabiliza todas as afluências ou aportes aos reservatórios, bem como todas as retiradas ou eventuais vertimentos / evaporações:

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i - Ve_i - Vv_i - Q_{ab\ i} \qquad \textbf{(I)}$$

Com:

- ✧ Vr_i = volume armazenado no mês i
- ✧ Vr_{i-1} = volume armazenado no mês i-1
- ✧ Va_i = volume afluente ao reservatório no mês i
- ✧ Vp_i = volume precipitado diretamente sobre o espelho d'água no mês i
- ✧ Ve_i = volume evaporado no reservatório no mês i
- ✧ Vv_i = volume vertido no mês i
- ✧ Q_{ab_i} = volume regularizado ou retirado no mês i

No caso de simulação integrada do sistema de reservatórios, em que a topologia do sistema é considerada, os eventuais volumes vertidos por uma dada barragem geralmente constituem volumes afluentes aos reservatórios localizados a jusante. Nesse caso, a equação do balanço hídrico adquire a seguinte forma:

$$Vr_i = Vr_{i-1} + Va_i + Vp_i + Vvm_i - Ve_i - Vv_i - Q_{ab\ i} \qquad \textbf{(II)}$$

Onde:

- ✧ Vvm_i= volume vertido a montante no mês i

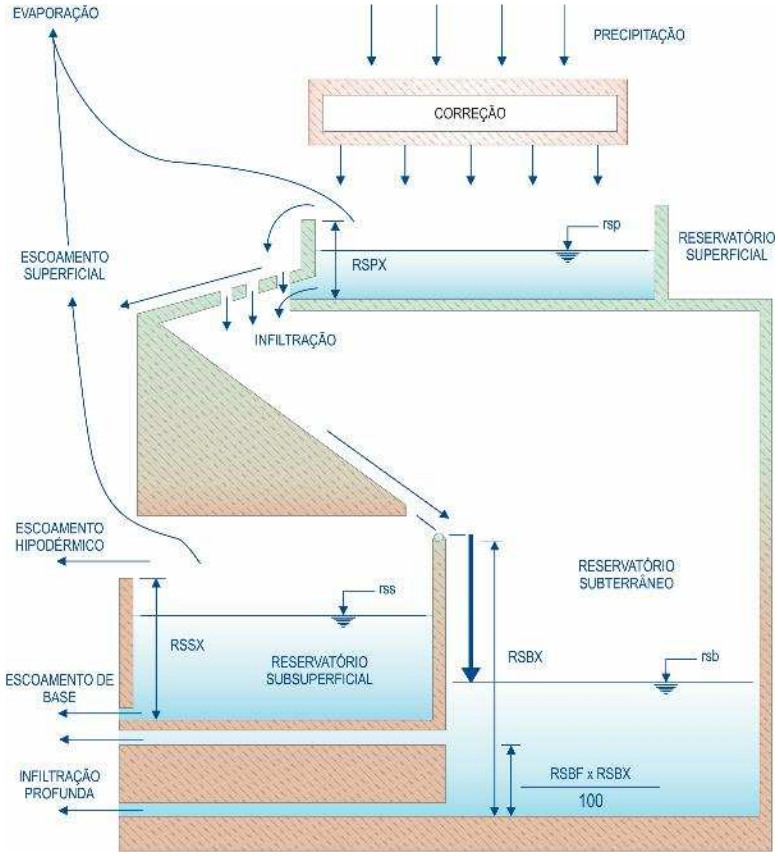


Figura 3.3 – Representação Esquemática do Modelo MODHAC. Fonte: ANA (2017b)

A Figura 3.4 e a Figura 3.5 ilustram os resultados obtidos na etapa de estudos fluviométricos desenvolvidos para o semiárido brasileiro.

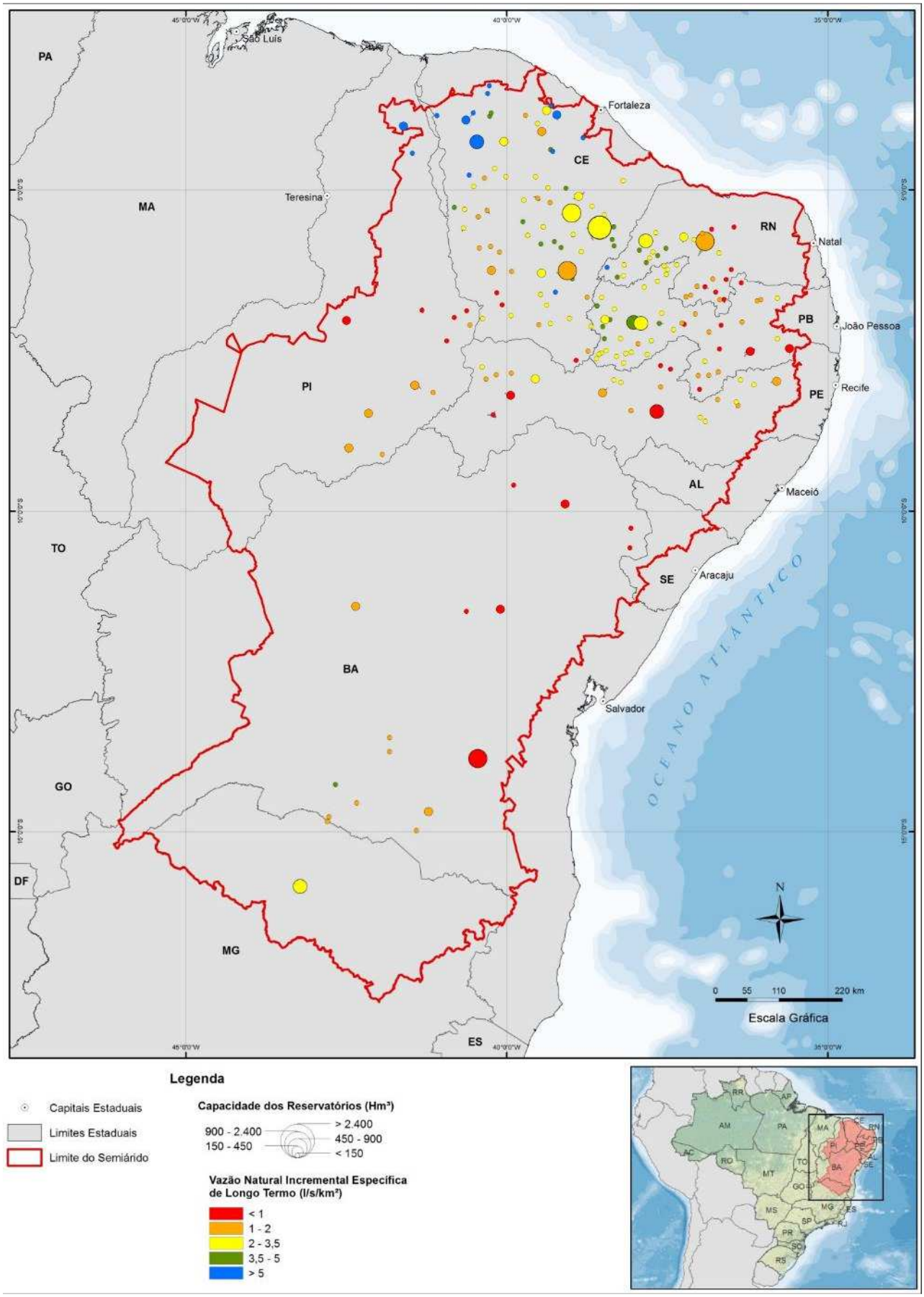


Figura 3.4 – Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Vazão Natural Incremental Específica Média de Longo Termo. Fonte: ANA (2017b)

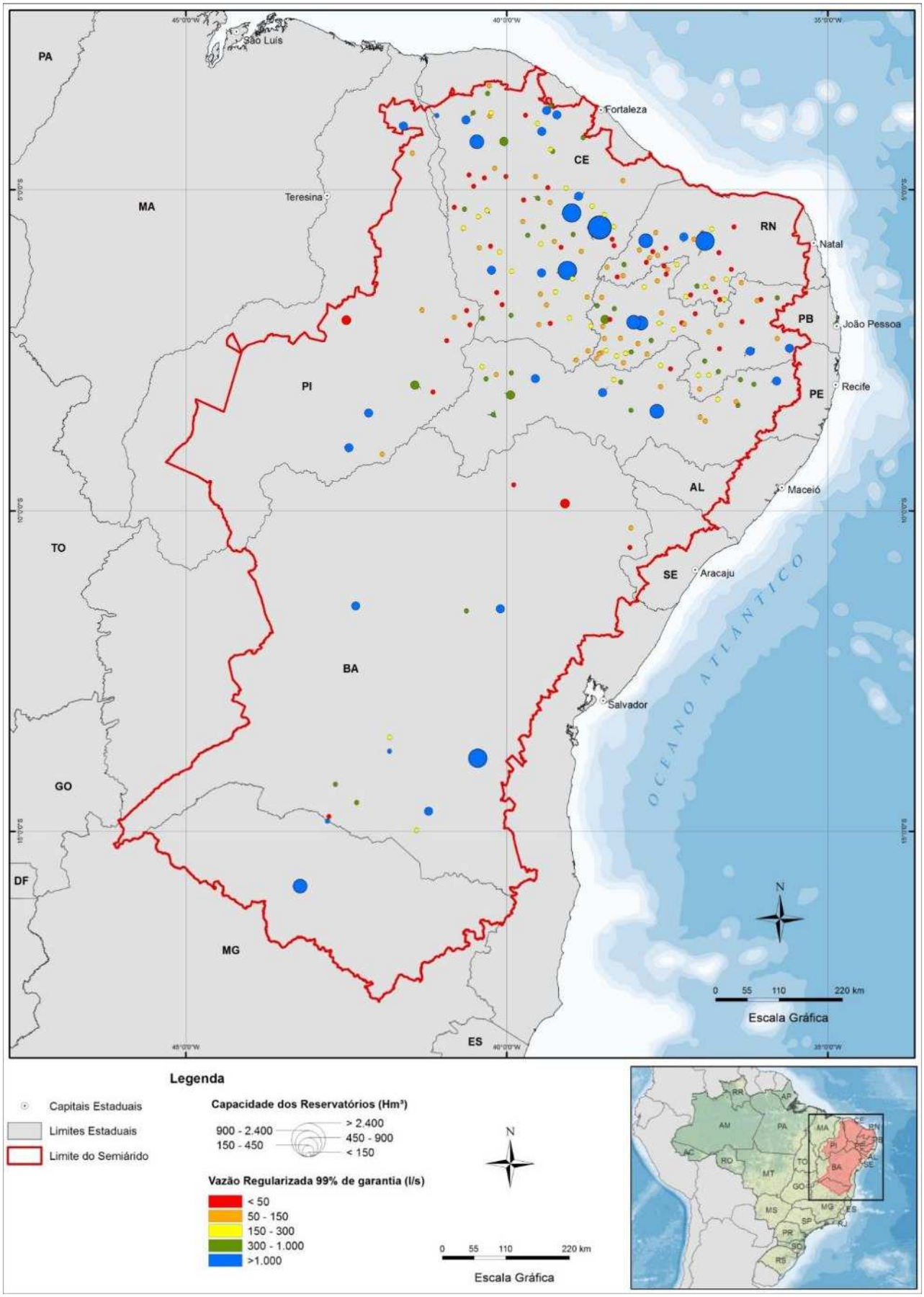


Figura 3.5 - Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Vazão Regularizada com 99% de Garantia. Fonte: ANA (2017b)

De acordo com os resultados destes estudos, o somatório das vazões naturais médias de longo termo afluentes aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Norte totaliza 247,9 m³/s (período de jan/1913 a dez/2012 - período comum de disponibilidade de dados nas bacias receptoras do Eixo Norte). Já nas bacias receptoras do Eixo Leste, esse somatório totaliza 42,5 m³/s (período de jan/1917 a dez/1990 - período comum de disponibilidade de dados nas bacias receptoras do Eixo Leste).

A Figura 3.6 e a Figura 3.7 apresentam o somatório das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias receptoras dos Eixos Norte e Leste do PISF, respectivamente.

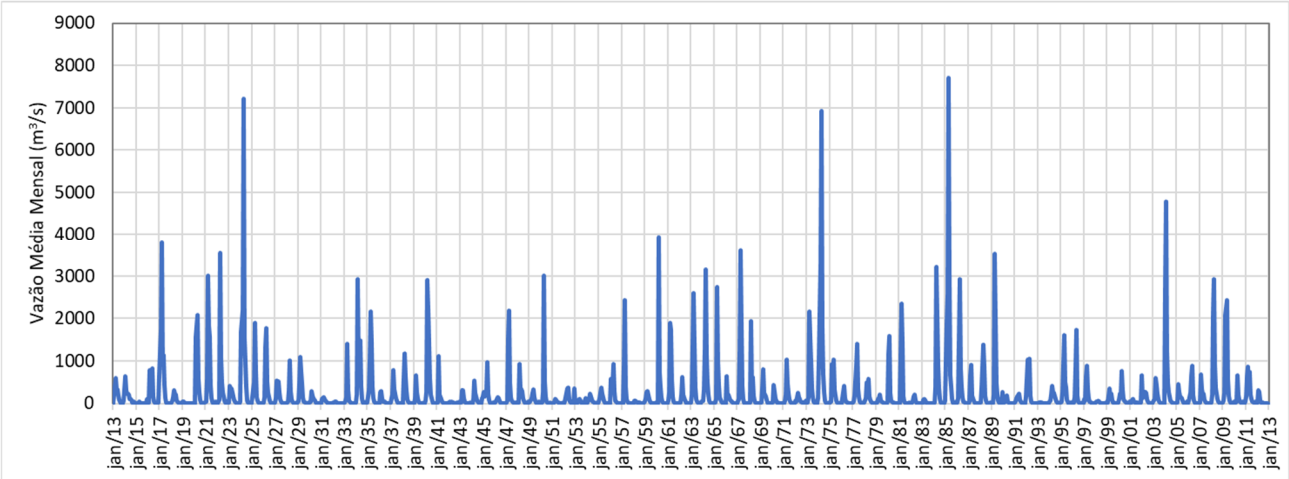


Figura 3.6 – Somatório das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Norte do PISF (jan/1913 a dez/2012). Fonte: CONSÓRCIO, compilado de ANA (2017b)

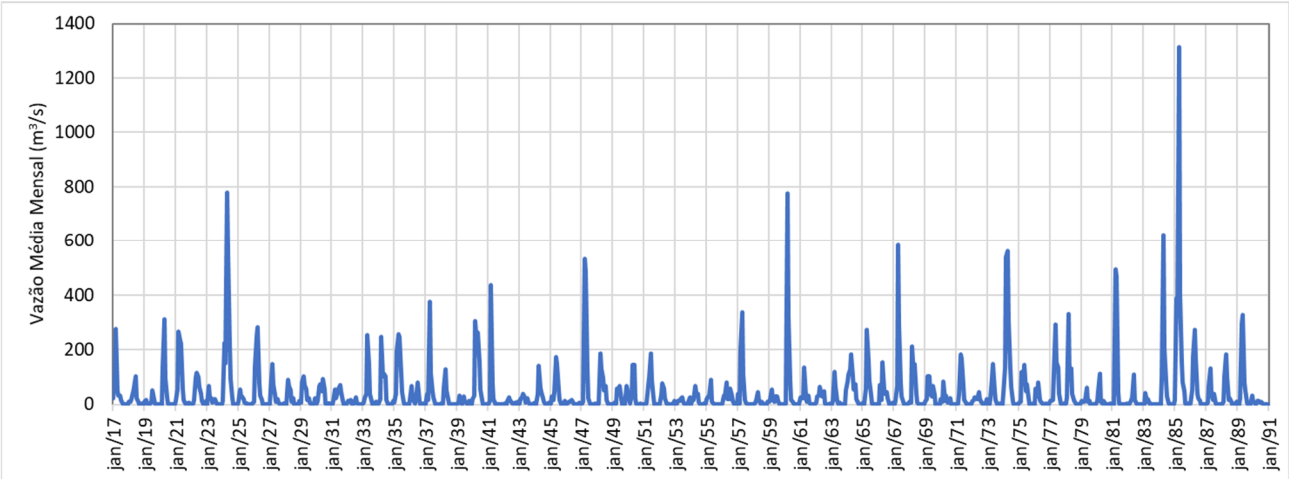


Figura 3.7 – Somatório das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Leste do PISF (jan/1917 a dez/1990). Fonte: CONSÓRCIO, compilado de ANA (2017b)

A Figura 3.8 e a Figura 3.9, por sua vez, apresentam a curva de permanência desse somatório de vazões para as bacias receptoras dos Eixos Norte e Leste, respectivamente.

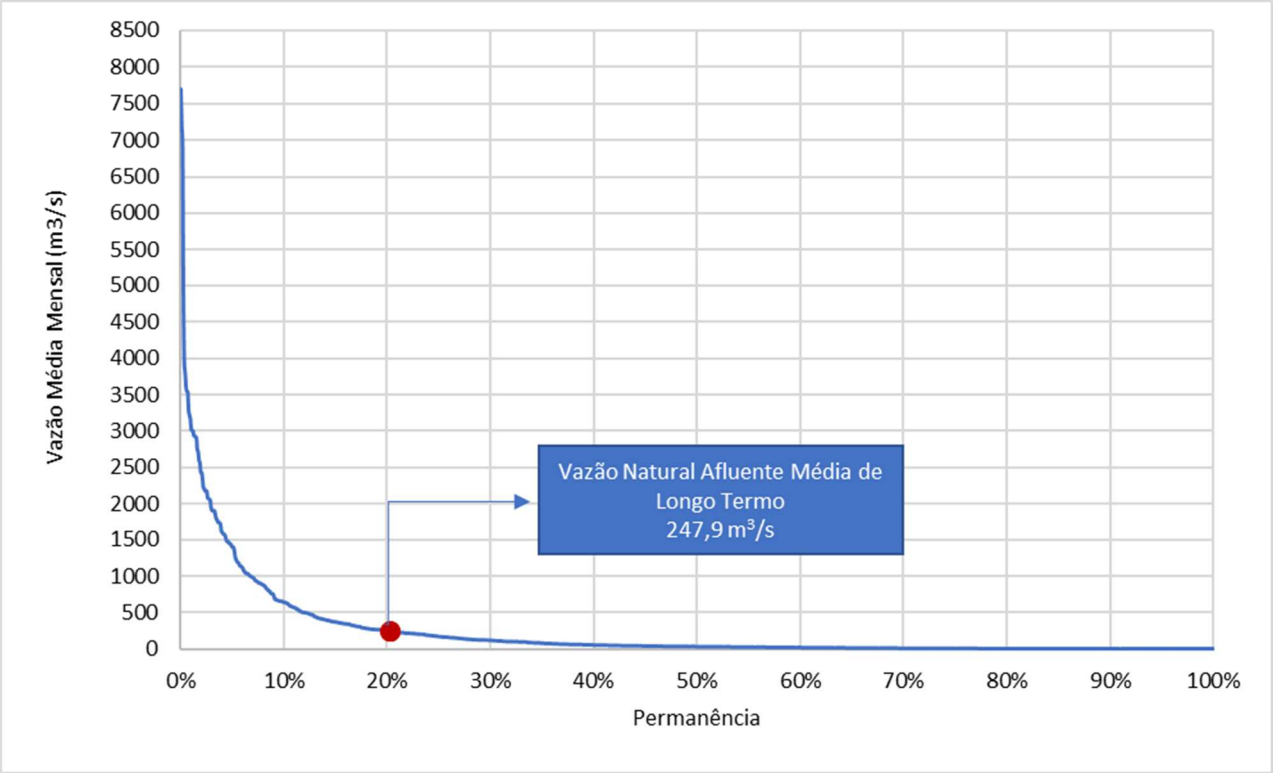


Figura 3.8 – Curva de Permanência do somatório das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Norte do PISF. Fonte: CONSÓRCIO compilado de ANA (2017b)

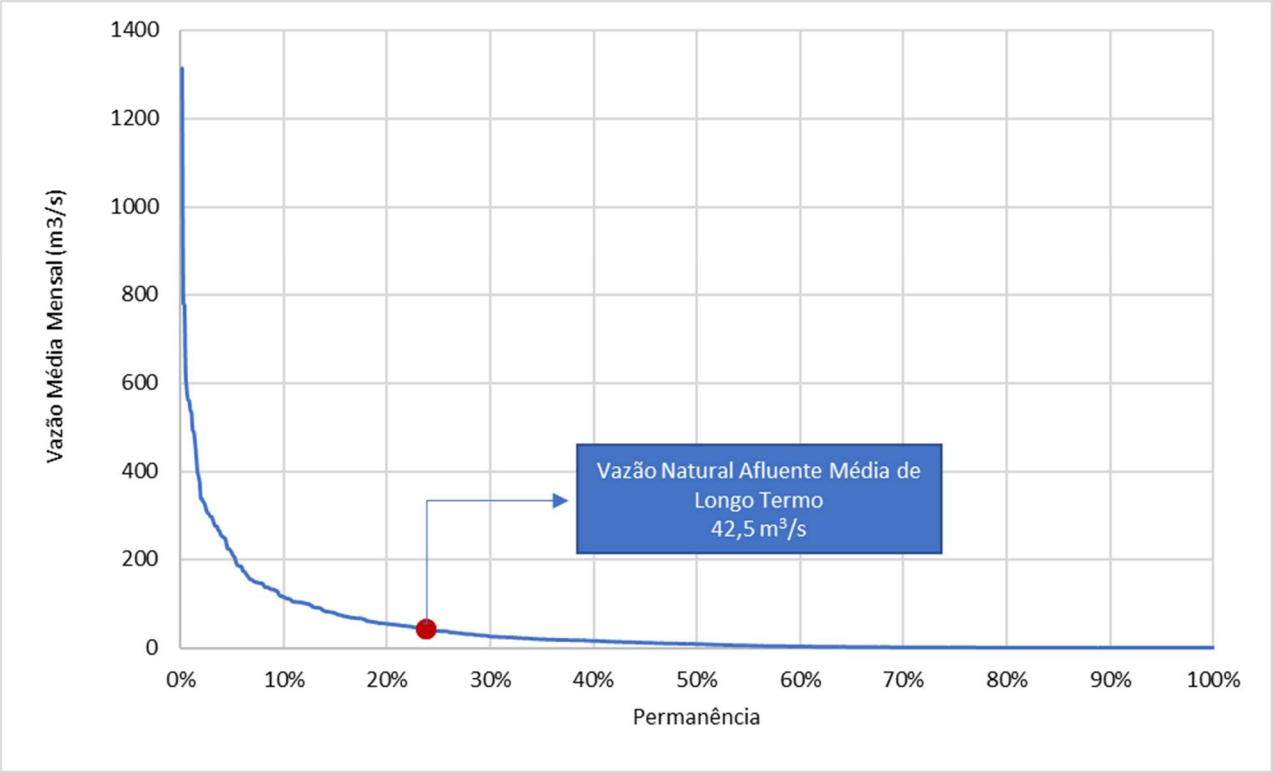


Figura 3.9 – Curva de Permanência do somatório das séries de vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Leste do PISF. Fonte: CONSÓRCIO compilado de ANA (2017b)

A análise dessas curvas de permanência demonstra que os valores encontrados para o somatório das vazões naturais médias de longo termo afluentes aos reservatórios de interesse têm probabilidade de serem igualados ou excedidos em apenas 20% do tempo para as bacias receptoras do Eixo Norte e em apenas 24% do tempo para as bacias receptoras do Eixo Leste. Essa situação caracteriza uma disponibilidade hídrica natural muito restrita nos locais dos reservatórios das bacias receptoras, uma vez que vazões de alta permanência (95%) são muito baixas, da ordem de 1,2 m³/s no Eixo Norte e 0,1 m³/s no eixo Leste, reforçando a necessidade de açudagem para incremento da oferta hídrica local. O Quadro 3.2 resume os valores característicos das curvas de permanência do somatório das vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias que serão beneficiadas pelos Eixos Norte e Leste do PISF.

Quadro 3.2. Permanência do somatório das vazões naturais médias mensais afluentes aos reservatórios das bacias receptoras dos Eixos Norte e Leste.

Permanência	*Vazão Natural Média Mensal (m³/s)*	
	Eixo Norte	*Eixo Leste*
99%	1,0	0,0
95%	1,2	0,1
90%	1,7	0,1
80%	4,0	0,5
70%	8,9	1,3
60%	18,5	3,2
50%	31,2	8,7
25%	170,1	37,7
10%	639,7	114,0
5%	1.401,4	209,8

Fonte: CONSÓRCIO compilado de ANA (2017b).

Destaca-se, por fim, que, para efeitos das estimativas de disponibilidades hídricas, a crise hídrica iniciada em 2012 não influenciou os resultados obtidos nos estudos de ANA (2017b); não obstante, fez-se uso de séries extensas e estatisticamente representativas de precipitações nas bacias contribuintes aos reservatórios, definindo-se, por conseguinte, séries extensas e estatisticamente representativas de afluências aos reservatórios, que, em todos os casos, superaram 74 anos, com as séries mais longas abrangendo o período de 1913-2012 (reservatórios das bacias receptoras do Eixo Norte) e as menos extensas contemplando o período de 1917-1990 (reservatórios da bacia do rio Paraíba, receptora do Eixo Leste). Deste modo, a despeito da série histórica de afluência natural disponível nas bacias não contemplar a mais recente crise hídrica iniciada em 2012, ela contempla outros períodos passados de estiagem severa.

4. DEMANDAS HÍDRICAS EFETIVAS NAS BACIAS RECEPTORAS

O recurso hídrico é determinante no desenvolvimento e bem-estar social. Ocorrências de secas prolongadas geram desaceleração do crescimento econômico, desarranjo social e degradação ambiental. Vista a comprovada importância deste recurso em variados âmbitos da sociedade, projetos de segurança que busquem ampliar o seu acesso concomitantemente com garantir a sua qualidade e perenidade se fazem cada vez mais necessários e presentes no planejamento nacional.

O PISF coloca-se neste cenário como uma obra de segurança hídrica que objetiva minimizar os déficits no atendimento das demandas hídricas existentes nas bacias receptoras. Para tal, faz-se necessário compreender a ocorrência e variação dessa demanda, tanto no tempo como no espaço, isto é, as demandas devem ser espacializadas e projetadas ao longo do tempo, considerando seu estado atual e projeção para fim de plano.

Tendo em vista a referida necessidade, neste Capítulo são estimadas as demandas hídricas[9] atuais (ano base 2022) e sua projeção anual ao longo do horizonte de planejamento, ou seja, até 2060. Vale lembrar que, neste Capítulo, os valores apresentados correspondem às demandas totais de cada município, não sendo considerada ainda sua alocação aos mananciais, sejam superficiais ou subterrâneos. A relação entre a oferta de água local existente nas bacias de interesse (sem considerar a oferta do PISF, conforme abordado no Capítulo 2) e a demanda a ser atendida será tratada no Capítulo 5 deste Tomo II, referente ao balanço hídrico da situação de diagnóstico das bacias receptoras do PISF.

Sendo assim, nos itens subsequentes são apresentados a metodologia aplicada e os resultados obtidos na estimativa das demandas hídricas dos municípios situados nos quatro estados receptores do Sistema PISF. Para este trabalho, o CONSÓRCIO baseou-se em dados e bibliografia oficiais de planejamento do setor, elaborados pela ANA, dos quais se destacam:

- Nota Técnica nº 390/2005/SOC – Agência Nacional de Águas, 2005;
- Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada - Agência Nacional de Águas, 2021;
- Água na indústria: uso e coeficientes técnicos - Agência Nacional de Águas, 2017;
- Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil – Agência Nacional de Águas, 2019 (com atualização dos dados em 2022).

4.1 METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DAS DEMANDAS HÍDRICAS E SUAS PROJEÇÕES

A estimativa de evolução temporal das demandas hídricas utilizou como unidade de cálculo os municípios, considerando aqueles localizados nos estados beneficiados pelo PISF, sendo que, para cada um deles, foram calculados os valores das demandas médias anuais para os seguintes usos da água:

- Abastecimento Humano (Urbano e Rural);
- Dessedentação Animal;
- Agricultura Irrigada;

[9] Demanda hídrica corresponde à quantidade de água, expressa em unidades de volume em um dado intervalo de tempo (por exemplo, m^3/s) necessária para satisfazer aos seus diversos usos.

- Indústria da Transformação.

As demandas associadas à produção mineral não foram consideradas por apresentarem magnitude pouco representativa quando comparadas aos demais usos da água nos quatro estados receptores do PISF.

As demandas associadas à atividade de aquicultura também não foram computadas, por serem pouco representativas nos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, e por se concentrarem no rio Piranhas-Açu em seu trecho já próximo ao litoral no estado do Rio Grande do Norte, tendo pouca influência no balanço hídrico dos mananciais receptores do PISF.

Em relação à variação temporal, tomou-se como ano base 2022 e horizonte final o ano de 2060, abarcando o período provável de concessão do PISF. Os métodos utilizados basearam-se em documentos públicos e oficiais de planejamento do setor (ANA, 2005a), (ANA, 2015), (ANA, 2017a), (ANA, 2019a), (ANA, 2021a), empregando-se as metodologias descritas pela ANA para o cálculo das demandas hídricas e suas projeções. A título comparativo, os valores resultantes foram contrapostos com aqueles calculados no âmbito da primeira fase do Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018[10], já citado no Capítulo 1 deste Tomo II.

Nos itens subsequentes, são apresentadas as metodologias adotadas para estimativa das demandas para cada uso dos recursos hídricos e os resultados de suas projeções.

4.1.1 DEMANDA PARA ABASTECIMENTO HUMANO URBANO E RURAL

O método de cálculo da demanda para abastecimento humano de água baseou-se na aplicação de coeficientes técnicos às estimativas populacionais oficiais, conforme metodologia da ANA descrita no Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019a). Dados do SNIS, dos censos demográficos e das projeções populacionais do IBGE foram levantados para estas projeções, além dos coeficientes de consumo e os coeficientes de perdas para cada município fornecidos pela ANA.

É premissa desta metodologia que o grau de atendimento da população pela rede de abastecimento é de 100%, englobando potenciais demandas reprimidas nas regiões. Em suma, o cálculo da demanda associada ao consumo humano é dado a partir do consumo per capita e das perdas do sistema associadas à projeção de população (Figura 4.1). Cada uma das etapas de cálculo é descrita nos subitens a seguir.

[10] Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018. Serviços Técnicos necessários para a modelagem de empreendimento com vistas à prestação do serviço de adução de água bruta, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF). Relatório de Estudo de Demanda e da Oferta, Revisão 08, 28/10/2019. Documento nº 1392-EGC-1-GL-RT-0001-R8.

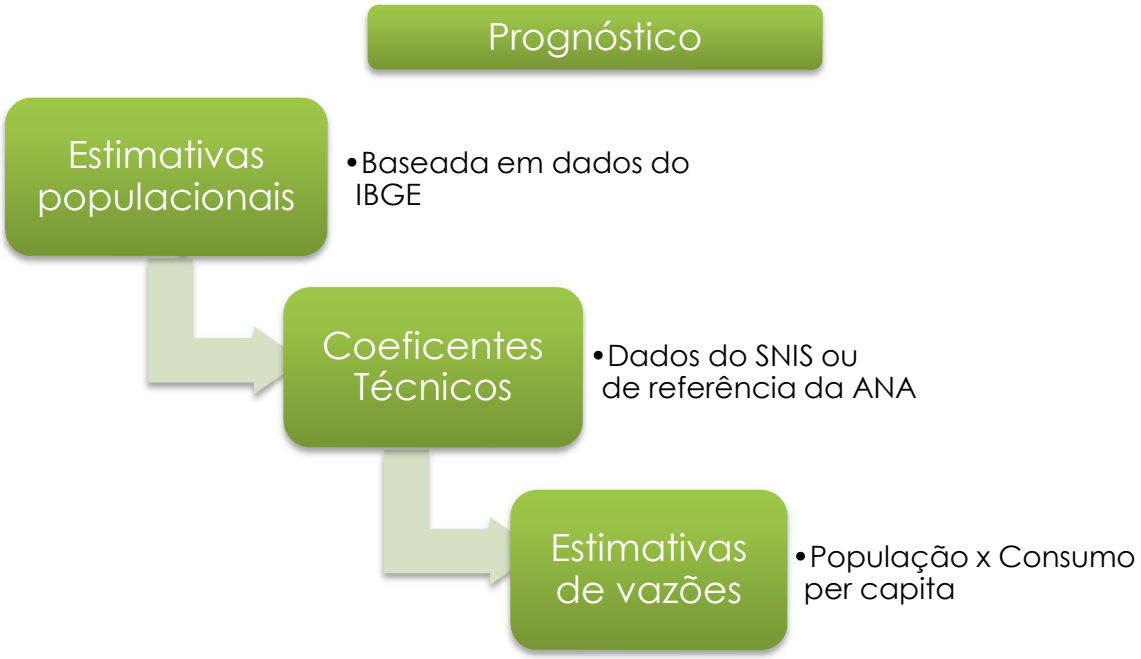


Figura 4.1. Metodologia de Cálculo da Demanda para Abastecimento Humano
Fonte: CONSÓRCIO a partir de informações do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019a)

4.1.1.1 PROJEÇÕES POPULACIONAIS

Para o início do cálculo de demandas de abastecimento humano, a primeira variável a ser projetada é a população. Para tanto, adotaram-se os dados dos censos populacionais de 2010 e 2022, a partir dos quais aplicaram-se as curvas de projeção visando estender a série até o final do horizonte de planejamento (2060).

Para a extensão das séries populacionais, foram utilizadas duas metodologias: método da curva logística ou método geométrico. A utilização dos dois métodos foi necessária tendo em vista a tendência de redução populacional já verificada em alguns municípios da área de estudo, inviabilizando, nesses casos, a aplicação da curva logística. Assim, avaliou-se a série populacional do IBGE de 2010 e 2022 caso a caso, ou seja, de cada município, identificando-se aqueles em que a população apresenta crescimento e aqueles que já apresentam redução entre os anos da série.

Para os municípios em que a população é crescente de 2010 a 2022, aplicou-se o método de projeção da curva logística. Já para os municípios em que a população apresentou queda de 2010 a 2022, o método geométrico foi aplicado para a extensão da série.

Vale destacar que este método de projeção de população é semelhante ao utilizado nos estudos do Atlas Águas (ANA, 2021b) e Atlas Esgotos (ANA, 2017c).

Assim, para o cálculo da projeção populacional de 2023 a 2060, foram utilizadas as equações abaixo, tratando-se do método da curva logística e método geométrico de projeção, respectivamente.

Método da Curva Logística:

$$P_t = \frac{P_s}{1+C*e^{K1*(t-t_0)}} \quad \textit{(III)}$$

$$C = \frac{(P_s - P_0)}{P_0}$$

$$K_1 = \frac{1}{t_1 - t_0} ln\left[\frac{P_0 * (P_s - P_1)}{P_1 * (P_s - P_0)}\right]$$

Onde:

- P_t: população estimada no ano t;
- t_0 e t_1: anos dos dois últimos Censos Demográficos;
- P_0 e P_1: população dos anos t_0 e t_1, respectivamente;
- Ps: população de saturação;
- C e K_1: coeficientes da curva logística.

Método Geométrico:

$$P_t = P_1 * e^{K_g(t-t_1)} \quad \textit{(IV)}$$

$$K_g = \frac{lnP_1 - lnP_0}{t_1 - t_0}$$

Onde:

- P_t: população estimada no ano t;
- t_0 e t_1: anos dos dois últimos Censos Demográficos;
- P_0 e P_1: população dos anos t_0 e t_1, respectivamente;
- K_g: taxa de crescimento geométrico.

Na sequência, os valores anuais da população projetada em cada município, resultantes desta estimativa, foram ajustados com base nas taxas anuais de crescimento das populações projetadas pelo IBGE em cada estado (IBGE, 2018), apresentadas na Figura 4.2. No Quadro 4.1 estão expostos os valores das taxas estaduais para o horizonte temporal de interesse aos estudos.

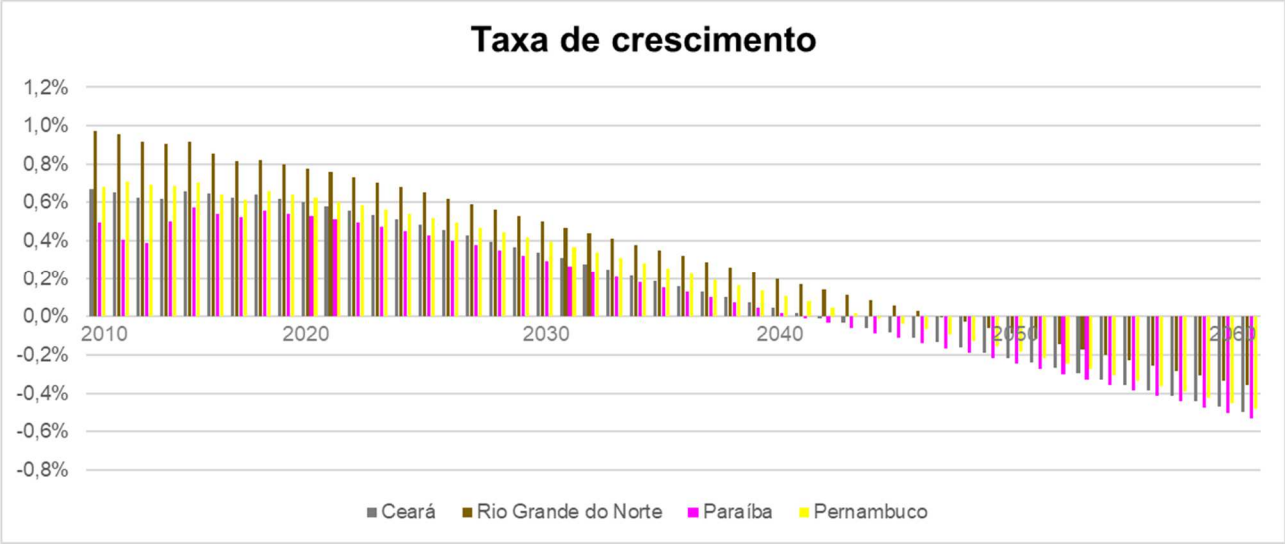


Figura 4.2 - Taxa de Crescimento da População por Estado (2010-2060).
Fonte: IBGE (2018).

Quadro 4.1 - Taxas Médias de Crescimento Populacional para os Estados Receptores do PISF

Estado	Ano	2022	2030	2040	2050	2060
CE	População Total	9.293.112	9.624.466	9.793.834	9.698.820	9.345.192
	Taxa de Crescimento Geométrico	0,56	0,34	0,05	-0,22	-0,50
PB	População Total	4.079.917	4.207.657	4.267.727	4.214.358	4.048.336
	Taxa de Crescimento Geométrico	0,49	0,29	0,02	-0,24	-0,53
PE	População Total	9.731.843	10.111.808	10.354.192	10.299.159	9.945.508
	Taxa de Crescimento Geométrico	0,58	0,39	0,11	-0,19	-0,48
RN	População Total	3.586.972	3.764.104	3.891.897	3.908.632	3.815.691
	Taxa de Crescimento Geométrico	0,73	0,50	0,20	-0,09	-0,36

Fonte: IBGE (2018).

Assim, para cada ano na projeção inicial, foi calculado o déficit/superávit da população total em cada estado para atender ao crescimento geométrico estimado nas projeções do IBGE. Esta diferença foi, então, distribuída entre os valores de população dos municípios que compõem o estado, proporcionalmente ao crescimento da população municipal resultante da projeção inicial no ano de análise.

A aplicação das projeções e o ajuste com as projeções estaduais do IBGE resultaram na estimativa populacional exposta na Figura 4.3. Observa-se que, de modo geral, ocorre um pico na população em torno do ano de 2040 e, em seguida, inicia-se um leve decréscimo nas projeções. Tal comportamento é aderente à variação das taxas de crescimento projetadas pelo IBGE (Figura 4.2), as quais também demonstram uma redução no ritmo do crescimento populacional até que se tornem negativas a ponto de registrarem uma redução no número total de habitantes.

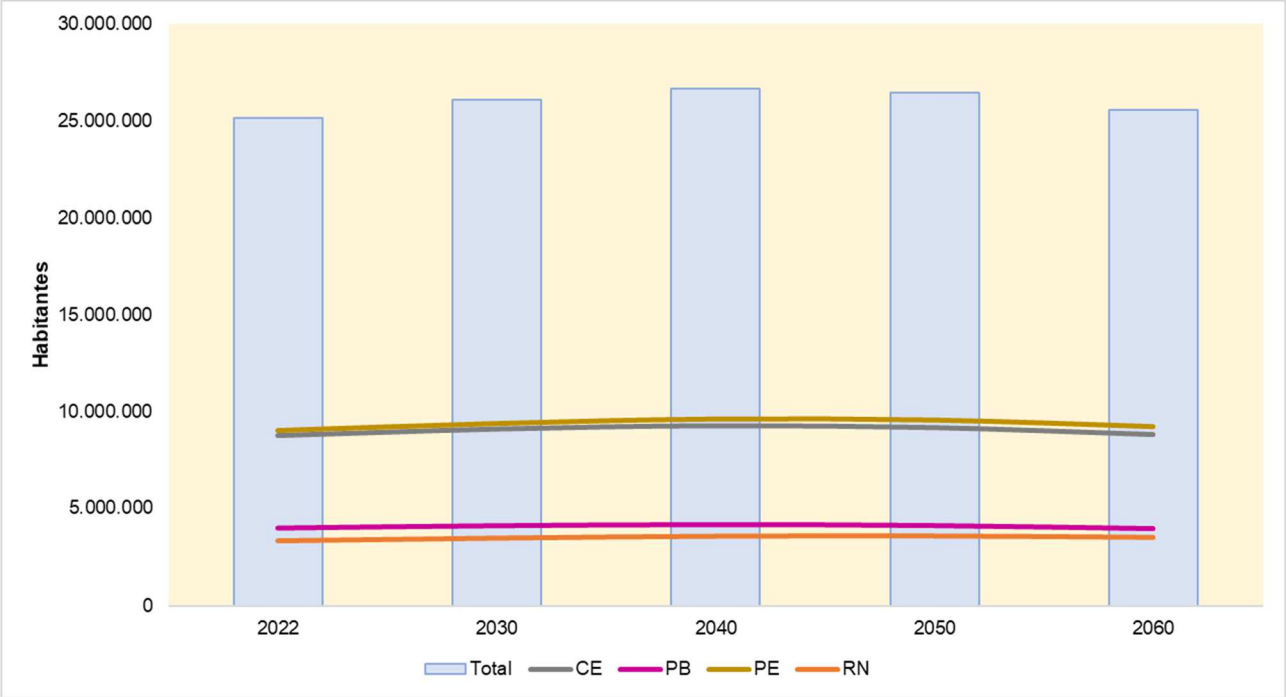


Figura 4.3 - Projeções da População por Estado (2022-2060)

Quando se observa a proporção da população rural e urbana em relação à total do município, nota-se o efeito da migração da zona rural para a urbana, a partir da redução da porcentagem de população rural com o passar dos anos e decorrente aumento da população urbana, até alcançar a estagnação, conforme demonstrado na Figura 4.4.

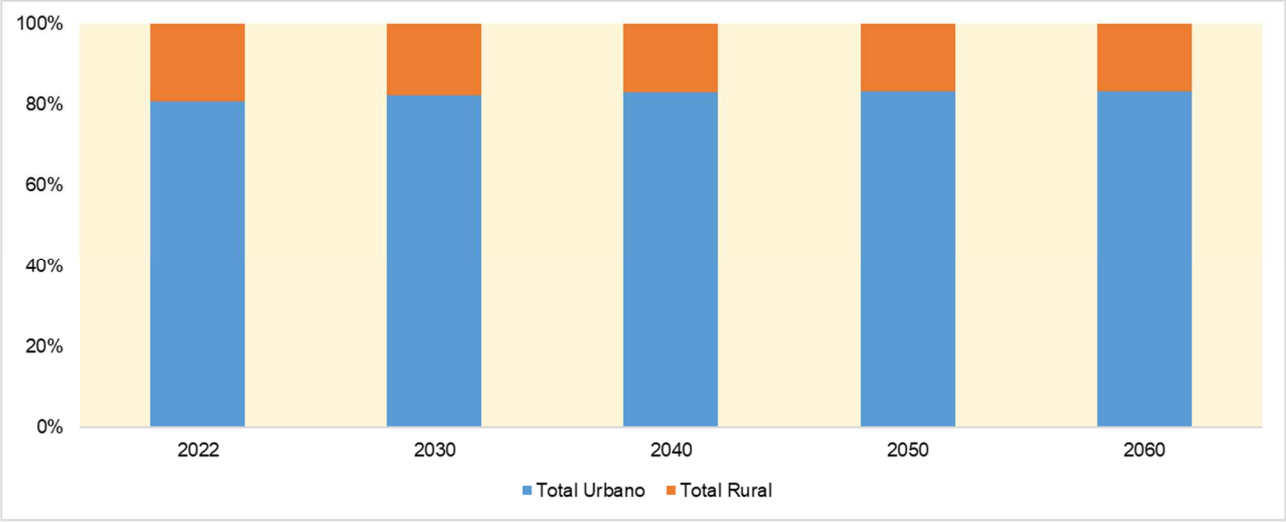


Figura 4.4 - Divisão da População entre Rural e Urbana para os anos de 2022 a 2060

Nos estudos previamente realizados no âmbito do Relatório de Estudo de Demanda e da Oferta, objeto do Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018, foram utilizados os dados do Censo 2010 como base para as projeções populacionais, enquanto no presente estudo são utilizados os dados mais atualizados do Censo 2022. A comparação entre as populações projetadas nos estudos anteriores para o ano de 2022 e os dados do Censo 2022 mostra diferenças importantes, como se observa no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Populações 2022 nos municípios beneficiados, por Estado: comparativo entre bases utilizadas nos estudos anteriores (Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018) e no presente estudo

Estado	População Total		
	Projeção dos estudos anteriores para 2022 BNDES (2019)	Censo 2022 IBGE (2022)	Variação
CE	5.758.239	5.283.289	-8%
PB	1.877.152	1.814.188	-3%
PE	825.471	799.816	-3%
RN	1.186.913	1.075.954	-9%

Fonte: BNDES (2019) e IBGE (2022).

As variações observadas no Quadro 4.2 se mantêm, de modo geral, por todo o horizonte de planejamento nos estados do Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, conforme se observa na Figura 4.5. No estado de Pernambuco, observa-se ligeira inversão entre as curvas obtidas com base em BNDES (2019) e IBGE (2022).

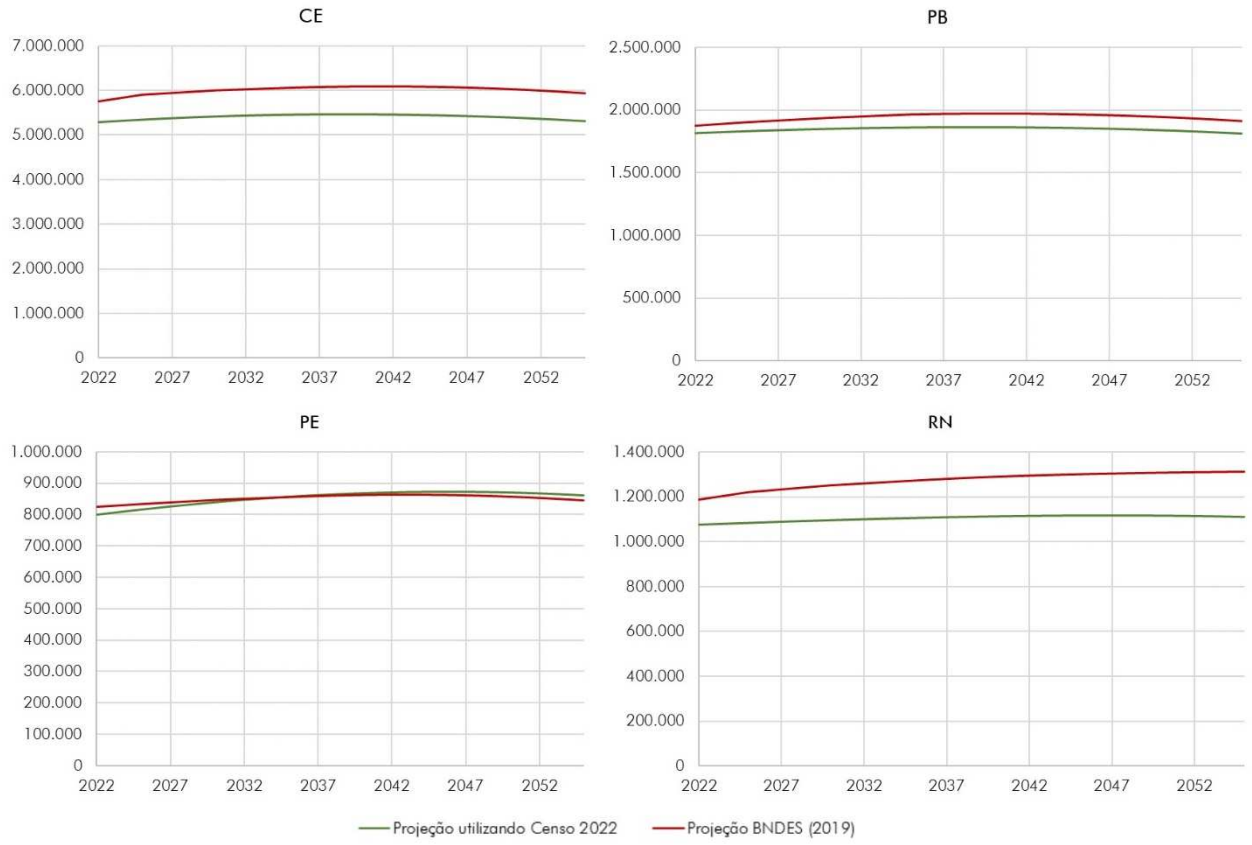


Figura 4.5 - Comparação entre projeções de população nos municípios beneficiados com base em BNDES (2019) e IBGE (2022)

4.1.1.2 CÁLCULO DO CONSUMO EFETIVO PER CAPITA E DAS PERDAS

Segundo a metodologia aplicada pela ANA (ANA, 2019a), o consumo efetivo per capita de água engloba informações do banco de dados do SNIS sobre abastecimento de água (AG), juntamente com os indicadores de atendimento e serviço (IN) e ainda os valores referenciais de consumo per capita fornecidos pela ANA quando da elaboração do Relatório de Estudo de Demanda e da Oferta no âmbito do Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018.

O SNIS disponibiliza informações sobre água e esgoto a nível municipal, demonstrando informações operacionais obtidas com as prestadoras de serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Esse banco de dados é amplo e o uso de seus dados deve passar por uma análise de consistência, visando garantir a representatividade dos números colhidos.

Para o Índice de hidrometração (IN009), os valores devem ser maiores que 50%; no caso do Atendimento Urbano de Água (IN023), os valores devem ser superiores a 80%; já a participação das economias residenciais (IN043) deve ser maior do que 70%, visando diminuir a influência dos setores comerciais e de serviços no índice (Quadro 4.3).

Para os municípios que atenderam aos critérios da análise de consistência, o uso per capita foi calculado por meio da equação abaixo.

$$\boldsymbol{Uso_{percap}(L/Hab.dia)} = \frac{\left\{\frac{AG_{008}}{AG_{014}*(AG_{001}/AG_{013})}\right\}*10^6}{365} \qquad \textit{(V)}$$

Quando os critérios que permitem a utilização do parâmetro Uso_{percap} não foram satisfeitos, optou-se pelo valor do IN022 – consumo médio per capita. Ambos os resultados devem estar na faixa de 70 a 250 L/hab.dia; quando necessário, os valores obtidos foram aproximados para o limite mais próximo.

Se o município não possuía dados recentes no SNIS, utilizou-se o coeficiente de consumo per capita da tabela de referência fornecida pela ANA para cada municipalidade. A título ilustrativo, a média geral do coeficiente de consumo urbano dos municípios beneficiados nos quatro estados é de 118 L/hab.dia e de 100 L/hab.dia para a população rural.

Uma vez obtidos os valores do uso per capita, foram estimados os valores de perdas, já que as demandas para abastecimento humano devem considerar o volume total a ser retirado, ou seja, o volume efetivamente consumido mais o volume perdido na produção e distribuição de água tratada. Para calcular as perdas no sistema, os indicadores do SNIS utilizados foram o AG 006, AG 018 e AG 010, aplicados conforme equação abaixo. Neste caso, adotam-se os limites de valor mínimo de 10% e máximo de 65%.

$$\boldsymbol{Perda_{média}(\%)} = \frac{((AG_{006}+AG_{018})-AG_{010})}{(AG_{006}+AG_{018})} \qquad \textit{(VI)}$$

Se o município em avaliação não constava na base de dados do SNIS, ou seus valores não estavam dentro do limite da análise de consistência, adotou-se o valor fornecido na base de dados da ANA. Novamente a grande maioria dos casos enquadrou-se nessa condição, sendo que, segundo esta base de informações, a perda média na região de estudo é de 33%.

Quadro 4.3 - Critérios de Utilização Adotados para os Indicadores do SNIS

Indicador	Critério
IN009 – Índice de hidrometração	≥50%
IN023 – Índice de atendimento urbano de água	≥80%
IN043 – Participação das economias residenciais de água no total de economias de água	≥70%

Fonte: ANA.

Quadro 4.4 - Informações e Indicadores do SNIS Utilizados no Cálculo dos Coeficientes de Consumo Per Capita.

Item	Nome	Descrição
AG001	População total atendida com abastecimento de água (Habitantes)	Valor da população total atendida com abastecimento de água pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços acrescida de outras populações atendidas localizadas em áreas não consideradas urbanas. Essas populações podem ser rurais ou mesmo com características urbanas, apesar de estarem localizadas em áreas consideradas rurais pelo IBGE. Caso o prestador de serviços não disponha de procedimentos próprios para definir de maneira precisa essa população, o mesmo poderá estimá-la utilizando o produto da quantidade de economias residenciais ativas de água, multiplicada pela taxa média de habitantes por domicílio do respectivo município
AG002	Quantidade de ligações ativas de água (Ligações)	Quantidade de ligações ativas de água à rede pública, providas ou não de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG003	Quantidade de economias ativas de água (Economias)	Quantidade de economias ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG004	Quantidade de ligações ativas de água micro medidas (Ligações)	Quantidade de ligações ativas de água, providas de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG006	Volume de água produzido (1.000 m³/ano)	Volume anual de água disponível para consumo, medido ou estimado na (s) saída (s) da (s) ETA (s) ou UTS (s). Inclui também o volume de água captada pelo prestador de serviços ou de água bruta importada (AG016), que seja disponibilizado para consumo sem tratamento, medido na (s) respectiva (s) entrada (s) do sistema de distribuição. Esse volume pode ter parte dele exportada para outro (s) municípios (s) atendido (s) ou não pelo mesmo prestador de serviços.
AG008	Volume de água micro medido (1.000 m³/ano)	Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações ativas de água. Não deve ser confundido com o volume de água consumido, identificado pelo código AG010, pois nesse último incluem-se, além dos volumes medidos, também aqueles estimados para os usuários de ligações não medidas.
AG010	Volume de água consumido (1.000 m³/ano)	Volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micro medido (AG008), o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado (AG019) para outro prestador de serviços.
AG013	Quantidade de economias residenciais ativas de água (Economias)	Quantidade de economias residenciais ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG014	Quantidade de economias ativas de água micro medidas (Economias)	Quantidade de economias ativas de água, cujas respectivas ligações são providas de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG018	Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano)	Volume anual de água potável, previamente tratada em ETA (s) ou em UTS (s), recebido de outros agentes fornecedores. Não deve ser computado nos volumes de água produzido (AG006)
AG019	Volume de água tratada exportado (1.000 m³/ano)	Volume anual de água potável, previamente tratada em ETA (s) ou em UTS (s), transferido para outros agentes distribuidores. Deve estar computado nos volumes de água consumido (AG010).
IN009	Índice de hidrometração (%)	(AG004 / AG002) x 100
IN022	Consumo médio per capita de água (L/Hab.dia)	((AG010 - AG019) / AG001) x 106) / 365
IN023	Índice de atendimento urbano de água (%)	(População Urbana Atendida (AG026) / População Urbana Total) x 100
IN043	Participação das economias residenciais de água no total das economias de água (%)	(AG013 / AG003) x 100

Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019a).

Nos estudos previamente elaborados no âmbito do Contrato OCS nº 425/2018, foram utilizados os dados do SNIS referentes ao ano de 2017. Já no presente estudo, foram considerados os valores disponibilizados no SNIS referente ao ano de 2021. A comparação apresentada no Quadro 4.5 mostra que a média do consumo per capita resultante aumentou nos municípios beneficiados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, e manteve-se estável nos municípios do Rio Grande do Norte. Com relação às perdas, novamente observou-se aumento nos municípios beneficiados do Ceará, Paraíba e Pernambuco e diminuição nos municípios do Rio Grande do Norte.

Quadro 4.5 - Consumos per capitas e índices de perdas nos municípios beneficiados, por Estado: comparativo entre os valores adotados nos estudos anteriores (Contrato OCS nº 425/2018) e no presente estudo

	Estado	Estudos Anteriores (base SNIS, 2017)	Estudo Atual (base SNIS, 2021)	Variação
Per Capita (L/hab.dia)	CE	118	129	9%
	PB	99	110	11%
	PE	77	82	6%
	RN	93	93	0%
Perdas (%)	CE	37%	44%	18%
	PB	37%	37%	1%
	PE	44%	45%	3%
	RN	54%	47%	-12%

Fonte: BNDES (2019), SNIS (2021) e ANA (2019a).

4.1.1.3 VAZÃO DE RETIRADA

Com os valores de consumo per capita e das perdas no sistema, foram estimados os valores de demanda total para abastecimento humano, conforme a equação abaixo. Ressalta-se que o resultado desta equação corresponde à demanda total para abastecimento da população calculada para cada município, sem ponderação de qual será a oferta hídrica/manancial associado ao atendimento desta demanda.

$$\boldsymbol{Q_{retirada}(L/Hab.dia) = Uso_{percap} * (1 - Perda_{média})^{-1}} \quad \textit{(VII)}$$

Desta forma, a projeção da demanda para abastecimento humano resultou do cruzamento das informações da evolução da população com o seu consumo efetivo per capita.

4.1.2 DEMANDA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

O consumo de água na atividade pecuária é realizado nas estruturas de dessedentação, criação e ambiência de animais, porém a espécie, o tamanho e estágio de desenvolvimento são fatores determinantes na demanda hídrica per capita, sendo ainda influenciada pelas condições ambientais e de manejo (ANA, 2019a).

As metodologias aplicadas para estimativa da demanda hídrica para dessedentação animal usualmente utilizam, de maneira simplificada, informações de contagem de rebanhos e coeficientes técnicos de consumo per capita. O nível de detalhamento dos coeficientes é função da disponibilidade de informações sobre os rebanhos, tais como espécie, tipologia, tamanho, estágio de desenvolvimento e uso de confinamento (ANA, 2019a).

Além das necessidades específicas para dessedentação dos animais, discretizadas por tipo de rebanho, as demandas para abastecimento animal consideram o uso da água de forma mais ampla, como para operações lácteas, limpeza de animais e de instalações e outras necessidades de manutenção de estruturas rurais (ANA, 2019a).

O método de determinação da demanda para dessedentação animal adotado foi o proposto pela ANA no seu Manual de Usos Consuntivos da Água No Brasil (ANA, 2019a), que consiste na aplicação de coeficientes técnicos que caracterizam o consumo de água per capita para cada tipo de rebanho, associado ao número de cabeças registrado.

A principal fonte de dados para os quantitativos de rebanhos é o banco de dados SIDRA do IBGE, no qual estão expostos os dados dos censos agropecuários. No caso deste trabalho, utilizaram-se os dados do Censo Agropecuário de 2017, tomado como ano base para o cálculo das demandas para dessedentação animal. As informações relativas aos coeficientes técnicos podem ser encontradas no Manual de Usos Consuntivos da Água No Brasil (ANA, 2019a) e derivam de trabalhos de estimativas da ANA, ONS e EMBRAPA. Um resumo dos coeficientes usados está apresentado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 - Conceituação e Coeficientes Técnicos dos Rebanhos

Espécie	***Conceituação***	***Coeficiente Adotado (L/cabeça.dia)***
Bovino	Total de mamíferos das espécies *Bos indcus* ou *Bos taurus*.	50
Vacas Ordenhadas	Vacas mestiças ou de raça existentes no município e que foram ordenhadas no ano de referência.	127,5
Suíno	Total de mamíferos da espécie *Sus scrofa*.	18,7
Bubalino	Total de mamíferos da espécie *Buballus buballis*.	50
Equinos	Total de mamíferos da espécie *Equus caballus*.	40
Ovino	Total de mamíferos da espécie *Ovis aries hircus*.	10
Caprino	Total de mamíferos da espécie *Capra aegagrus hircus*.	10
Galináceos	Total de aves da espécie *Gallus gallus*.	0,22
Codornas	Total de aves da espécie *Coturnix coturnix*.	0,18

Fonte: ANA (2013); EMPRAPA (2005); ONS (2003).

Para a projeção dos rebanhos, utilizaram-se taxas de crescimento diferenciadas para cada classe de rebanho, como demonstrado no Quadro 4.7. Essas taxas foram convertidas em valores de cabeça/ano, as quais serviram de valor incremental anual para a extensão da série. Para a definição das taxas, foram consultados documentos setoriais e governamentais, tais como: Cenário para a Pecuária de Corte Amazônica, da UFMG (2015); Censo Agropecuário (2017); Indicadores Agropecuários 1996-2003 e Produção da Pecuária Municipal (2015) do IBGE; Produtividade e eficiência no setor agropecuário do nordeste brasileiro de Araújo e Mancal (2015); e Projeções do Agronegócio Brasil 2015 a 2025 do MAPA/SPA (2016).

Quadro 4.7 – Taxa de Crescimento Adotadas por Tipo de Rebanhos

Espécie	*Taxa de crescimento (%)*
Bovino	2,07
Suíno	2,60
Bubalino	2,29
Equinos	0,77
Ovino	4,73
Caprino	3,28
Galináceos	2,59

Fonte: IBGE (2017); MAPA/SPA (2016).

Assim, a projeção do crescimento de cada rebanho foi obtida pela equação abaixo, na qual o quantitativo de rebanho do ano de interesse é dado por uma relação com o rebanho do ano inicial e um incremento de indivíduos (***Inc***), para um dado intervalo de anos (***n*** = Ano de interesse – Ano 1).

$$\boldsymbol{Rebanho_{ano\ de\ interesse} = Rebanho_{ano\ 1} * (1 + Inc)^{n}} \qquad \textit{(VIII)}$$

A demanda de retirada (***Qanimal*** [L/dia]) necessária para dessedentação desses animais foi obtida com a aplicação da equação abaixo, que cruza os coeficientes técnicos ($\boldsymbol{q_{tipo\ de\ rebanho}}$ [L/cab.dia]) de cada tipologia de rebanho com a projeção do quantitativo de animais (ANA, 2019a).

$$\boldsymbol{Q_{animal} = \sum(Rebanho * q_{tipo\ de\ rebanho})} \qquad \textit{(IX)}$$

Uma vez calculada a projeção de cada tipo de rebanho por município, a demanda de água para dessedentação animal foi obtida pela somatória das demandas por rebanho em nível municipal, sendo possível também sua agregação em nível estadual. A Figura 4.6 apresenta o resumo das etapas desta metodologia de cálculo.

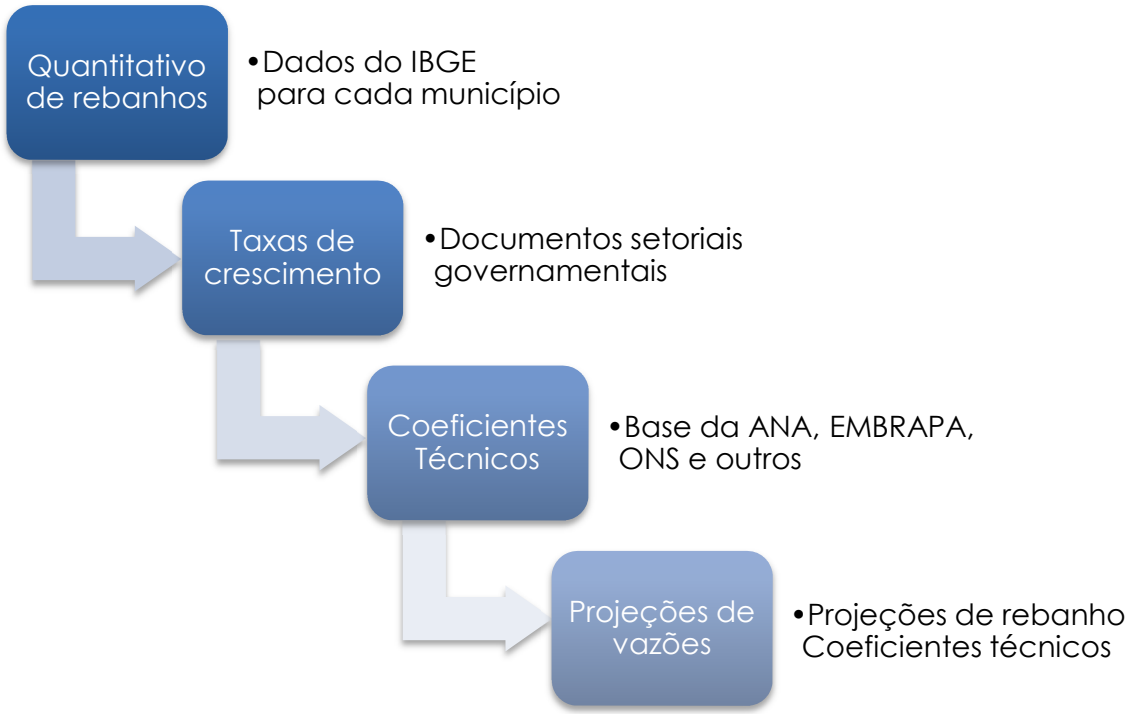


Figura 4.6 - Fluxograma de Cálculo da Demanda para Dessedentação Animal
Fonte: CONSÓRCIO a partir de informações do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019a)

4.1.3 DEMANDA PARA IRRIGAÇÃO

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para plantas. A agricultura irrigada é o uso mais intensivo da água no Brasil e no mundo. A intensificação da atividade no Brasil ocorreu desde as décadas de 1970 e 1980 e se deve a alguns fatores-chave, em especial: a expansão da agricultura para regiões com clima desfavorável; estímulos governamentais de desenvolvimento regional; e benefícios observados na prática com disponibilidade facilitada de financiamentos (ANA, 2019a), (ANA, 2021a).

A expansão das áreas irrigadas depende de uma combinação de fatores, incluindo a disponibilidade do recurso hídrico. A questão da aptidão de meio físico também pode barrar o desenvolvimento da produção agropecuária, variável que integra diversos fatores ligados ao solo, clima e relevo.

Além dos fatores acima relatados, a implantação de áreas irrigadas considera outras questões de cunho econômico e financeiro que podem ser limitantes para a evolução ou até mesmo à concretização da implantação deste tipo de atividade, como o fornecimento e custo da energia elétrica, a logística de escoamento da produção e a disponibilidade e custo da água, recurso que tem uma perspectiva de oferta limitada no semiárido nordestino.

Desta forma, os resultados das estimativas de demandas de áreas irrigadas devem ser avaliados segundo todas essas ressalvas e o seu local na lista de prioridades de atendimento, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997).

Para o cálculo da demanda de irrigação, o estudo apoiou-se nas informações oficiais disponíveis e seguiu a metodologia descrita na Figura 4.7, permitindo realizar a estimativa da demanda total de irrigação nos municípios de interesse.



Figura 4.7 - Fluxograma de Cálculo da Demanda para Agricultura Irrigada.
Fonte: CONSÓRCIO a partir de informações do Atlas Irrigação (ANA, 2021a)

A primeira etapa para definição desta demanda é a delimitação da área irrigada de cada município no ano base (2022), e a sua projeção para os anos subsequentes até o horizonte final de plano (2060).

A informação de área irrigada é apresentada no Atlas Irrigação (ANA, 2021a) em base municipal, para o ano 2019 e projeções para 2030 e 2040. Esses dados foram utilizados para se obter, para cada município, a taxa de incremento (***Tx***) anual de áreas irrigadas (ha/ano), tornando assim possível estender anualmente a série de 2019 a 2040, mantendo-se o valor de (***Tx***) constante ao longo de cada período de projeção, conforme evidenciam as equações abaixo.

$$Tx_{\text{área irrigada } 19-30} = \frac{\text{Área irrigada}_{2030} - \text{Área irrigada}_{2019}}{11} \quad \textit{(X)}$$

$$Tx_{\text{área irrigada } 30-40} = \frac{\text{Área irrigada}_{2040} - \text{Área irrigada}_{2030}}{10} \quad \textit{(XI)}$$

$$\text{Área irrigada}_{\text{ano de interesse}} = \text{Área}_{\text{ano anterior}} + Tx_{\text{área irrigada}} \quad \textit{(XII)}$$

As taxas de incremento de área irrigada consideradas pela ANA no Atlas Irrigação (ANA, 2021a) variaram entre 1% e 3% para os estados receptores do PISF. O CONSÓRCIO avançou a projeção do Atlas até 2060, passando a adotar taxa de incremento anual única para os quatro estados, de 1% ao ano após 2040[11].

Ademais, como limitador de crescimento da área irrigada, foi utilizado o potencial físico de expansão de cada município, com base em informações do Atlas Irrigação (ANA, 2021a), que contempla a dependência das condições físicas para a expansão da agricultura irrigada em cada localidade.

[11] Foi adotada a taxa mínima de 1% no período mais distante da projeção, dada a incerteza da evolução histórica em períodos longos.

Deste modo, o valor de $\mathbf{Área\ irrigada_{ano\ de\ interesse}}$ foi limitado pelo potencial físico da área irrigada de cada município, de modo que, quando atingido o valor máximo, sua expansão foi estagnada e sua área irrigada foi mantida constante até o horizonte de final de plano.

Após projetar anualmente a área irrigada dos municípios, o próximo passo consistiu em definir o coeficiente de demanda de água para irrigação por hectare. Como este coeficiente varia de acordo com o tipo de cultura a ser irrigada e com as condições climáticas de cada área, o que se fez foi adotar o coeficiente de demanda determinado pelo Atlas Irrigação (ANA, 2021a) para 2040 **para cada município**, conforme equação abaixo. A título ilustrativo, o coeficiente médio obtido para os municípios beneficiados pelo PISF foi de 0,33 L/s/ha (ou 10.407 m^3/ha/ano).

$$Coef_{demanda} = \frac{Demanda_{2040}}{Área\ irrigada_{2040}} \quad \textbf{(XIII)}$$

Cruzando os valores de área irrigada projetada com os valores do coeficiente de demanda por município, obtêm-se os valores de demanda potencial total da agricultura irrigada para cada município da área de interesse.

$$\mathbf{Q_{irrigação}} = \mathbf{Área\ irrigada} * Coef_{demanda} \quad \textbf{(XIV)}$$

Nos estudos prévios elaborados no âmbito do Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018, foi utilizada a primeira edição do Atlas Irrigação, publicada pela ANA em 2017; já no presente estudo utiliza-se a segunda edição do documento, publicada em 2021. Essa diferença de versões traz importantes diferenças nos totais de áreas irrigadas e coeficientes de usos das culturas empregados, com consequentes diferenças nas demandas para a irrigação estimadas para os municípios beneficiados pelo PISF. O Quadro 4.8 apresenta as diferenças nos totais de área irrigada projetada para o ano de 2030 nas duas versões do Atlas Irrigação.

Quadro 4.8 – Projeções de áreas irrigadas para 2030 nos municípios beneficiados, por Estado: comparativo entre os valores adotadas nos estudos anteriores (Contrato OCS nº 425/2018) e no presente estudo

Estado	Área Irrigada (hectares) Estudos Anteriores Atlas Irrigação 1ª ed.	Área Irrigada (hectares) Estudo Atual Atlas Irrigação 2ª ed.	Variação
CE	44.874	46.978	5%
PB	34.751	7.270	-79%
PE	6.261	7.338	17%
RN	34.926	26.200	-25%

Fonte: ANA (2017d), ANA (2021a).

Observa-se uma grande redução das projeções de áreas irrigadas nos municípios da Paraíba e Rio Grande do Norte quando feita a comparação entre as duas versões do Atlas Irrigação. Essa diferença reflete-se nas demandas estimadas pelo Manual de Usos Consuntivos da ANA, o qual também possui duas versões de resultados: versão 2019, utilizada nos estudos anteriores, e a versão 2022, utilizada no presente estudo. O Quadro 4.9 mostra os totais de demandas para irrigação estimadas pelo manual em suas diferentes versões. Pode-se observar uma grande variação nos totais de demandas de irrigação, principalmente, nos municípios da Paraíba e Rio Grande do Norte, causados pela redução das áreas irrigadas já mostradas e diferentes coeficientes de usos das culturas.

Quadro 4.9 - Demandas de irrigação estimadas para 2030 nos municípios beneficiados, por Estado: comparativo entre as duas versões publicadas pela ANA do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil

Estado	Demanda para Irrigação em 2030 (m³/s)		Variação
	Manual de Usos Consuntivos Versão 2019	Manual de Usos Consuntivos Versão 2022	
CE	22,59	23,73	5%
PB	8,47	2,13	-75%
PE	1,84	2,00	9%
RN	12,51	9,25	-26%

Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil – Agência Nacional de Águas, 2019, e atualização dos dados em 2022.

4.1.4 DEMANDA INDUSTRIAL

O setor da indústria em 2022 era responsável pela geração de R$ 2,36 trilhões em divisas, o que correspondeu a 23,9% do PIB (CNI, 2022). Regionalmente, a maior concentração de indústrias no Brasil está na região Sudeste, mas o perfil industrial varia bastante entre as regiões do país. Na região Nordeste, em particular, têm destaque a produção têxtil e o setor sucro-energético (ANA, 2017a).

A demanda de água na indústria reflete o tipo de produto ou serviço que está sendo produzido e os processos industriais associados. A intensidade do uso da água depende de vários fatores, dentre eles, o tipo de processo e de produtos, tecnologias empregadas, boas práticas e maturidade da gestão. Recentemente, observa-se uma preocupação com a eficiência no uso da água especialmente nas indústrias que utilizam este recurso mais intensivamente (ANA, 2017a).

O conhecimento e a quantificação da demanda hídrica atrelada à cadeia produtiva são fundamentais, porém a disponibilização das medições das vazões das plantas industriais é escassa. Outorgas de direito de uso da água são as informações disponíveis que possuem o maior grau de sistematização em escala regional e nacional, mas ainda não são suficientes para um cálculo preciso da utilização do recurso, sendo necessária a aplicação de métodos de cálculos indiretos (ANA, 2017a).

No presente estudo, seguiu-se a publicação de 2017 da ANA, "Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos", que indica métodos de estimativas da demanda hídrica industrial. Essa técnica apoia-se em dados do Censo Industrial do IBGE, do CNARH - Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos e da RAIS – Relatório Anual de Informações Sociais. O fluxograma da Figura 4.8 resume os passos de cálculo empregados nessas estimativas.

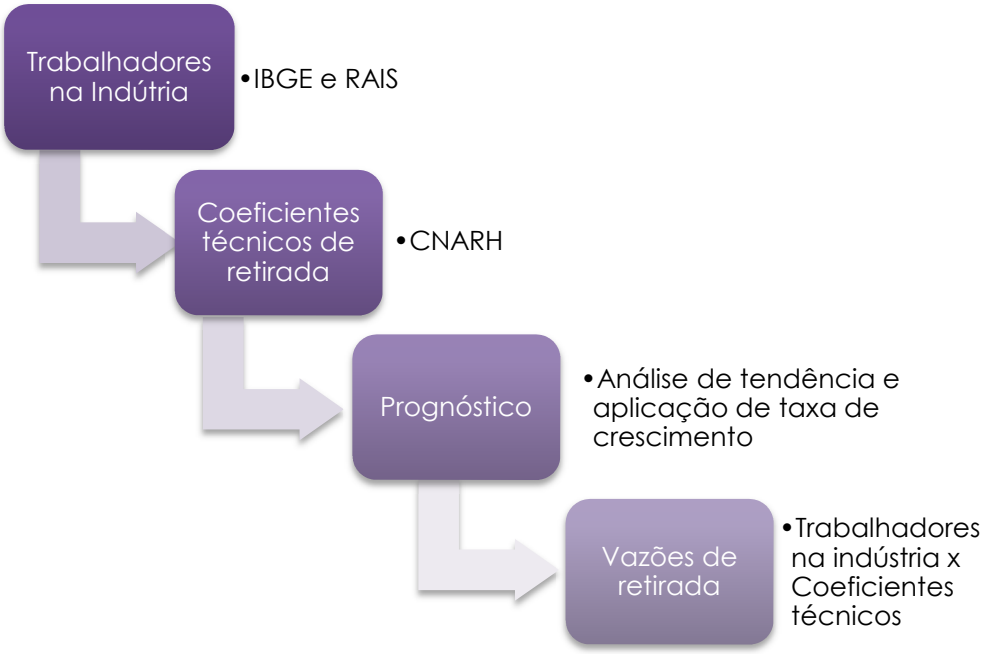


Figura 4.8 - Fluxograma de Cálculo da Demanda Industrial.
Fonte: CONSÓRCIO, a partir de metodologia ANA (2017a)

O CONSÓRCIO contou com a base de dados de demanda disponibilizada pela ANA que associa os números de empregados na indústria com o seu coeficiente de retirada, o qual, por sua vez, varia de acordo com o tipo de indústria (Quadro 4.10). Foi utilizada série histórica de 2000 a 2015 que também auxiliou o entendimento do consumo histórico desta atividade na região, e assim, a determinação das taxas de incremento de vazão anual (m³/s.ano) para cada município, resultando na série de vazões totais demandadas pelos municípios compreendidos na área de estudo.

Quadro 4.10 – Matriz de Coeficientes Técnicos da Indústria da Transformação

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				*Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)*	*Coeficiente de Consumo (%)*
Divisão	***Grupo***	***Classe***	***Denominação***		
10			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**		
	101		*Abate e fabricação de produtos de carne*		
		10112	Abate de reses, exceto suínos	2.491	12,5
		10121	Abate de suínos, aves e outros pequenos animais	2.904	12,5
		10139	Fabricação de produtos de carne	751	12,5
	102		*Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado*		
		10201	Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado	1.187	20
	103		*Fabricação de conservas de frutas, legumes e outros vegetais*		
		10317	Fabricação de conservas de frutas	1.550	20
		10325	Fabricação de conservas de legumes e outros vegetais	892	20
		10333	Fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes	2.312	20

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				*Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)*	*Coeficiente de Consumo (%)*
Divisão	***Grupo***	***Classe***	***Denominação***		
	104		*Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais*		
		10414	Fabricação de óleos vegetais em bruto, exceto óleo de milho	2.769	0
		10422	Fabricação de óleos vegetais refinados, exceto óleo de milho	3.253	0
		10431	Fabricação de margarina e outras gorduras vegetais e de óleos não-comestíveis de animais	2.304	0
	105		*Laticínios*		
		10511	Preparação do leite	1.886	36
		10520	Fabricação de laticínios	2.089	36
		10538	Fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis	1.396	36
	106		*Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais*		
		10619	Beneficiamento de arroz e fabricação de produtos do arroz	667	28,8
		10627	Moagem de trigo e fabricação de derivados	866	28,8
		10635	Fabricação de farinha de mandioca e derivados	2.387	28,8
		10643	Fabricação de farinha de milho e derivados, exceto óleos de milho	150	28,8
		10651	Fabricação de amidos e féculas de vegetais e de óleos de milho	4.261	28,8
		10660	Fabricação de alimentos para animais	902	28,8
		10694	Moagem e fabricação de produtos de origem vegetal não especificados anteriormente	2.288	28,8
	107		*Fabricação e refino de açúcar*		
		10716	Fabricação de açúcar em bruto	16.490	100
		10724	Fabricação de açúcar refinado	16.490	100
	108		*Torrefação e moagem de café*		
		10813	Torrefação e moagem de café	436	20
		10821	Fabricação de produtos à base de café	694	20
	109		*Fabricação de outros produtos alimentícios*		
		10911	Fabricação de produtos de panificação	176	20,1
		10929	Fabricação de biscoitos e bolachas	248	20,1
		10937	Fabricação de produtos derivados do cacau, de chocolates e confeitos	596	20,1
		10945	Fabricação de massas alimentícias	404	20,1
		10953	Fabricação de especiarias, molhos, temperos e condimentos	2.269	20,1
		10961	Fabricação de alimentos e pratos prontos	1.666	20,1
		10996	Fabricação de produtos alimentícios não especificados anteriormente	904	20,1
11			**FABRICAÇÃO DE BEBIDAS**		
	111		*Fabricação de bebidas alcoólicas*		
		11119	Fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas	2.764	37,9
		11127	Fabricação de vinho	5.414	20
		11135	Fabricação de malte, cervejas e chopes	13.330	21,1
	112		*Fabricação de bebidas não-alcoólicas*	4.782	40,9

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				*Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)*	*Coeficiente de Consumo (%)*
Divisão	***Grupo***	***Classe***	***Denominação***		
12			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DO FUMO**	**811**	**20**
13			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS TÊXTEIS**		
	131		*Preparação e fiação de fibras têxteis*		
		13111	Preparação e fiação de fibras de algodão	1.347	19,5
		13120	Preparação e fiação de fibras têxteis naturais, exceto algodão	2.908	19,5
		13138	Fiação de fibras artificiais e sintéticas	6.473	19,5
		13146	Fabricação de linhas para costurar e bordar	1.803	19,5
	132		*Tecelagem, exceto malha*		
		13219	Tecelagem de fios de algodão	1.395	16,7
		13227	Tecelagem de fios de fibras têxteis naturais, exceto algodão	1.319	16,7
		13235	Tecelagem de fios de fibras artificiais e sintéticas	761	16,7
	133		*Fabricação de tecidos de malha*	2.292	16,7
	134		*Acabamentos em fios, tecidos e artefatos têxteis*	4.204	18,8
	135		*Fabricação de artefatos têxteis, exceto vestuário*	594	84,9
14			**CONFECÇÃO DE ARTIGOS DO VESTUÁRIO E ACESSÓRIOS**		
	141		*Confecção de artigos do vestuário e acessórios*	510	18,5
	142		*Fabricação de artigos de malharia e tricotagem*	510	19,3
15			**PREPARAÇÃO DE COUROS E FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS DE COURO, ARTIGOS PARA VIAGEM E CALÇADOS**		
	151		*Curtimento e outras preparações de couro*	3.086	0
	152		*Fabricação de artigos para viagem e de artefatos diversos de couro*	1.895	20
	153		*Fabricação de calçados*	1.895	19,1
	154		*Fabricação de partes para calçados, de qualquer material*	1.895	21,1
16			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MADEIRA**		
	161		*Desdobramento de madeira*		
		16102	Desdobramento de madeira	250	20
	162		*Fabricação de produtos de madeira, cortiça e material trançado, exceto móveis*		
		16218	Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada	600	26,3
		16226	Fabricação de estruturas de madeira e de artigos de carpintaria para construção	155	26,3
		16234	Fabricação de artefatos de tanoaria e de embalagens de madeira	351	26,3
		16293	Fabricação de artefatos de madeira, palha, cortiça, vime e material trançado não especificados anteriormente, exceto móveis	289	26,3
17			**FABRICAÇÃO DE CELULOSE, PAPEL E PRODUTOS DE PAPEL**		
	171		*Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel*	107.683	12,7
	172		*Fabricação de papel, cartolina e papel-cartão*		
		17214	Fabricação de papel	8.167	18,1

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				*Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)*	*Coeficiente de Consumo (%)*
Divisão	***Grupo***	***Classe***	***Denominação***		
		17222	Fabricação de cartolina e papel-cartão	8.159	18,1
	173		*Fabricação de embalagens de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado*		
		17311	Fabricação de embalagens de papel	409	71,7
		17320	Fabricação de embalagens de cartolina e papel-cartão	607	71,7
		17338	Fabricação de chapas e de embalagens de papelão ondulado	409	71,7
	174		*Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado*		
		17419	Fabricação de produtos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado para uso comercial e de escritório	197	32,1
		17427	Fabricação de produtos de papel para usos doméstico e higiênico-sanitário	6.000	32,1
		17494	Fabricação de produtos de pastas celulósicas, papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado não especificados anteriormente	321	32,1
18			**IMPRESSÃO E REPRODUÇÃO DE GRAVAÇÕES**	**173**	**18,8**
19			**FABRICAÇÃO DE COQUE, DE PRODUTOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DE BIOCOMBUSTÍVEIS**		
	191		*Coquerias*	20.409	20,2
	192		*Fabricação de produtos derivados do petróleo*		
		19217	Fabricação de produtos do refino de petróleo	15.051	20,2
		19225	Fabricação de produtos derivados do petróleo, exceto produtos do refino	1.611	20,2
	193		*Fabricação de biocombustíveis*	19.192	100
20			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS**		
	201		*Fabricação de produtos químicos inorgânicos*		
		20118	Fabricação de cloro e álcalis	5.323	29,2
		20126	Fabricação de intermediários para fertilizantes	2.929	29,2
		20134	Fabricação de adubos e fertilizantes	2.941	29,2
		20142	Fabricação de gases industriais	2.880	29,2
		20193	Fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente	2.220	29,2
	202		*Fabricação de produtos químicos orgânicos*		
		20215	Fabricação de produtos petroquímicos básicos	2.172	53,6
		20223	Fabricação de intermediários para plastificantes, resinas e fibras	7.185	53,6
		20291	Fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente	7.185	53,6
	203		*Fabricação de resinas e elastômeros*		
		20312	Fabricação de resinas termoplásticas	4.014	61,7
		20321	Fabricação de resinas termofixas	362	61,7
		20339	Fabricação de elastômeros	16.687	61,7
	204		*Fabricação de fibras artificiais e sintéticas*		
		20401	Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	752	20

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				*Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)*	*Coeficiente de Consumo (%)*
Divisão	***Grupo***	***Classe***	***Denominação***		
	205		*Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários*	2.077	32
	206		*Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal*		
		20614	Fabricação de sabões e detergentes sintéticos	1.165	48,5
		20622	Fabricação de produtos de limpeza e polimento	447	48,5
		20631	Fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal	417	48,5
	207		*Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins*		
		20711	Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes e lacas	186	70
		20720	Fabricação de tintas de impressão	520	70
		20738	Fabricação de impermeabilizantes, solventes e produtos afins	494	70
	209		*Fabricação de produtos e preparados químicos diversos*		
		20916	Fabricação de adesivos e selantes	1.110	8,3
		20924	Fabricação de explosivos	567	8,3
		20932	Fabricação de aditivos de uso industrial	771	8,3
		20941	Fabricação de catalisadores	2.978	8,3
		20991	Fabricação de produtos químicos não especificados anteriormente	1.954	8,3
21			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS FARMOQUÍMICOS E FARMACÊUTICOS**		
	211		*Fabricação de produtos farmoquímicos*	1.257	20
	212		*Fabricação de produtos farmacêuticos*		
		21211	Fabricação de medicamentos para uso humano	499	20
		21220	Fabricação de medicamentos para uso veterinário	1.103	20
		21238	Fabricação de preparações farmacêuticas	146	20
22			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE BORRACHA E DE MATERIAL PLÁSTICO**		
	221		*Fabricação de produtos de borracha*		
		22111	Fabricação de pneumáticos e de câmaras-de-ar	1.440	20
		22129	Reforma de pneumáticos usados	411	20
		22196	Fabricação de artefatos de borracha não especificados anteriormente	196	20
	222		*Fabricação de produtos de material plástico*		
		22218	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	188	21,7
		22226	Fabricação de embalagens de material plástico	149	21,7
		22234	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	148	21,7
		22293	Fabricação de artefatos de material plástico não especificados anteriormente	157	21,7
23			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS**		
	231		*Fabricação de vidro e de produtos do vidro*		
		23117	Fabricação de vidro plano e de segurança	2.636	17,2

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				*Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)*	*Coeficiente de Consumo (%)*
Divisão	***Grupo***	***Classe***	***Denominação***		
		23125	Fabricação de embalagens de vidro	1.880	17,2
		23192	Fabricação de artigos de vidro	1.880	17,2
	232		*Fabricação de cimento*		
		23206	Fabricação de cimento	2.629	100
	233		*Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes*	547	100
	234		*Fabricação de produtos cerâmicos*		
		23419	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	379	21,2
		23427	Fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural na construção	190	21,2
		23494	Fabricação de produtos cerâmicos não-refratários não especificados anteriormente	155	21,2
	239		*Aparelhamento de pedras e fabricação de outros produtos de minerais não-metálicos*		
		23915	Aparelhamento e outros trabalhos em pedras	360	20,3
		23923	Fabricação de cal e gesso	2.546	20,3
		23991	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos não especificados anteriormente	1.000	20,3
24			**METALURGIA**		
	241		*Produção de ferro-gusa e de ferroligas*		
		24113	Produção de ferro-gusa	3.034	21,7
		24121	Produção de ferroligas	5.708	21,7
	242		*Siderurgia*		
		24211	Produção de semiacabados de aço	19.600	25,9
		24229	Produção de laminados planos de aço	9.626	25,9
		24237	Produção de laminados longos de aço	6.419	25,9
		24245	Produção de relaminados, trefilados e perfilados de aço	1.477	25,9
	243		*Produção de tubos de aço, exceto tubos sem costura*		
		24318	Produção de tubos de aço com costura	305	20
		24393	Produção de outros tubos de ferro e aço	885	20
	244		*Metalurgia dos metais não-ferrosos*		
		24415	Metalurgia do alumínio e suas ligas	1.286	20
		24423	Metalurgia dos metais preciosos	19.415	20
		24431	Metalurgia do cobre	5.462	20
		24491	Metalurgia dos metais não-ferrosos e suas ligas não especificados anteriormente	4.849	20
	245		*Fundição*		
		24512	Fundição de ferro e aço	164	20
		24521	Fundição de metais não-ferrosos e suas ligas	240	20
25			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE METAL, EXCETO MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**		
	251		*Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldeiraria pesada*	173	46,8

Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 2.0				Coeficiente de Retirada (L/empregado/dia)	Coeficiente de Consumo (%)
Divisão	**Grupo**	**Classe**	**Denominação**		
	252		*Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras*	212	46,8
	253		*Forjaria, estamparia, metalurgia do pó e serviços de tratamento de metais*	337	46,8
	254		*Fabricação de artigos de cutelaria, de serralheria e ferramentas*	143	46,8
	255		*Fabricação de equipamento bélico pesado, armas de fogo e munições*	683	46,8
	259		*Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente*	369	46,8
26			**FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA, PRODUTOS ELETRÔNICOS E ÓPTICOS**	**182**	**20**
27			**FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS, APARELHOS E MATERIAIS ELÉTRICOS**	**167**	**20**
28			**FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**	**203**	**18,9**
29			**FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, REBOQUES E CARROCERIAS**		
	291		*Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários*	405	18
	292		*Fabricação de caminhões e ônibus*	183	17,8
	293		*Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores*	84	20
	294		*Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores*	212	38,1
	295		*Recondicionamento e recuperação de motores para veículos automotores*	168	20
30			**FABRICAÇÃO DE OUTROS EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE, EXCETO VEÍCULOS AUTOMOTORES**		
	301		*Construção de embarcações*	1.950	20
	303		*Fabricação de veículos ferroviários*	432	20
	304		*Fabricação de aeronaves*	165	12,4
	305		*Fabricação de veículos militares de combate*	213	20
	309		*Fabricação de equipamentos de transporte não especificados anteriormente*	174	20
31			**FABRICAÇÃO DE MÓVEIS**	**98**	**20**
32			**FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DIVERSOS**	**842**	**20**
33			**MANUTENÇÃO, REPARAÇÃO E INSTALAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**	**162**	**20**

Fonte: ANA (2017a).

Nos estudos previamente elaborados no âmbito do Contrato OCS nº 425/2018, foi utilizada a primeira versão do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, publicada pela ANA em 2019; já no presente estudo, utiliza-se a segunda versão, publicada em 2022. As diferenças das projeções apresentadas nas duas versões do Manual trazem reflexos nos totais de demandas industriais nos municípios beneficiados dos quatro estados. O Quadro 4.11 apresenta as demandas industriais dos municípios beneficiados, por estado, projetadas para 2030 nas duas versões do Manual. Observa-se redução da demanda industrial na versão mais recente, utilizada no presente estudo, que se refletirá ao longo da série projetada em todo o horizonte de planejamento.

Quadro 4.11 – Demandas industriais estimadas para 2030 nos municípios beneficiados, por Estado: comparativo entre as duas versões publicadas pela ANA do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil

Estado	Demanda Industrial em 2030 (m³/s)		Variação
	Manual de Usos Consuntivos Versão 2019	Manual de Usos Consuntivos Versão 2022	
CE	0,18	0,12	-32%
PB	0,01	0,005	-37%
PE	0,26	0,15	-42%
RN	0,04	0,03	-16%

Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil – Agência Nacional de Águas, 2019, e atualização dos dados em 2022.

4.2 RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE EVOLUÇÃO DAS DEMANDAS HÍDRICAS NAS BACIAS RECEPTORAS

Na sequência estão destacados, em forma de quadros e gráficos, os principais resultados obtidos com a aplicação das metodologias antes expostas para projeção das demandas hídricas em base municipal. Os resultados completos são apresentados no *Anexo 1: Demandas Hídricas Anuais Estaduais, por Município e por Uso da Água* deste Tomo II, de maneira individualizada por município e por uso da água. Observa-se que o Anexo 1 inclui as projeções de demandas hídricas de todos os municípios pertencentes aos quatro estados receptores, não se limitando aos municípios beneficiados pelo PISF.

A Figura 4.9 apresenta a evolução das demandas totais nos municípios beneficiados pelo PISF, por tipo de uso da água. No caso do abastecimento urbano, foram identificadas separadamente as parcelas para atendimento aos municípios das bacias receptoras e para atendimento aos municípios da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF, que se dá por meio de transferência das águas advindas da bacia do rio Jaguaribe via Eixão da Águas e Canal do Trabalhador.

Observa-se uma demanda total nos municípios beneficiados pelo PISF, no ano base (2022), de aproximadamente 56 m³/s, sendo que o uso prioritário de abastecimento humano (urbano e rural) totaliza 20,9 m³/s (37% do total), enquanto o uso na agricultura irrigada tem uma demanda de aproximadamente 30 m³/s (54% do total). Para o horizonte de final de plano (2060), a demanda total alcança 82 m³/s, representando um crescimento de 46% com relação à demanda total de 2022, dos quais 21,1 m³/s (26% do total) correspondem ao abastecimento humano (urbano e rural) e 47 m³/s (57% do total) correspondem à agricultura irrigada.

Considerando apenas as demandas internas das bacias receptoras (ou seja, sem computar as transferências de água para abastecimento urbano da RMF), a demanda total no ano base (2022) é de aproximadamente 47 m³/s, dos quais 11,1 m³/s (24% do total) referem-se ao uso de abastecimento humano (urbano e rural) e 30 m³/s (65% do total) referem-se à agricultura irrigada. Para o horizonte de final de plano (2060), a demanda total alcança 72 m³/s (crescimento de 55% em relação à demanda total do ano base), dos quais 11,0 m³/s (15% do total) correspondem ao abastecimento humano (urbano e rural) e 47 m³/s (65% do total) correspondem à agricultura irrigada.

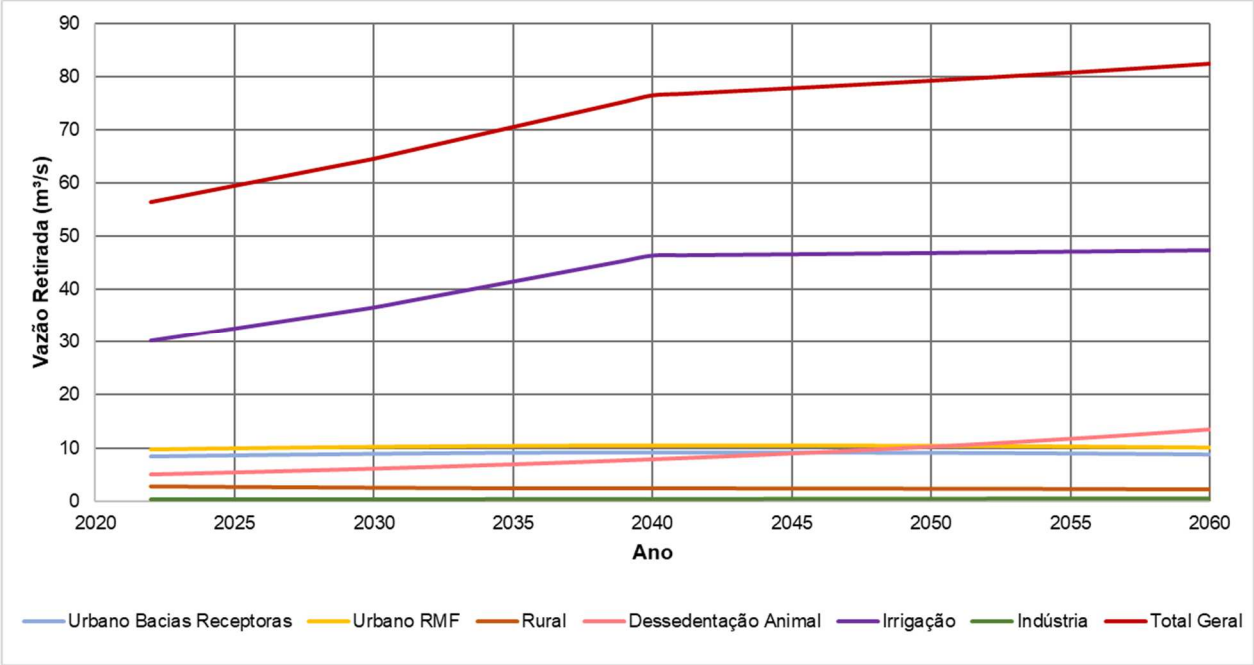


Figura 4.9 – Variação temporal da demanda total de retirada nos municípios beneficiados pelo PISF

Recorda-se que, apesar da alta parcela de demanda estimada para uso na agricultura irrigada, o aproveitamento dos recursos hídricos tem prioridades definidas em lei, devendo-se dar preferência ao atendimento dos usos humano e animal. Dessa maneira, os resultados de evolução das demandas aqui apresentados devem ser avaliados à luz das complementações descritas mais adiante nos Capítulos 5 e 6, quando da análise do balanço hídrico nas bacias receptoras do PISF.

O Quadro 4.12 resume os valores de demandas nos municípios beneficiados, por Estado e para cada uso da água, ao longo do horizonte considerado. No caso do abastecimento urbano, foram identificadas separadamente, no estado do Ceará, as parcelas para atendimento aos municípios das bacias receptoras e para atendimento aos municípios da RMF. Os municípios beneficiados no Ceará computam a maior demanda atual, registrando valores de retirada totais próximos a 34,8 m³/s em 2022, dos quais 9,8 m³/s (28% do total) referem-se ao abastecimento urbano da RMF, seguido pelos municípios beneficiados no Rio Grande do Norte, com retiradas da ordem de 10,5 m³/s em 2022. Os municípios beneficiados na Paraíba e em Pernambuco apresentam valores totais da ordem de 6,1 e 5,0 m³/s para o ano de 2022, respectivamente.

Quadro 4.12 - Projeção das demandas nos municípios beneficiados pelo PISF, por Estado e por Uso

Demanda (m^3/s)	Ano	Abastecimento Humano Urbano		Abastecimento Humano Rural	Desseden-tação Animal	Total de demandas prioritárias	Irrigação	Indústria	Total
		Bacias Receptoras	RMF						
Ceará	2022	2,754	9,813	0,927	1,854	15,348	19,351	0,100	34,799
	2030	2,934	10,205	0,841	2,259	16,238	23,317	0,124	39,680
	2040	2,999	10,411	0,794	2,914	17,118	29,605	0,154	46,877
	2050	2,934	10,357	0,766	3,798	17,855	29,883	0,176	47,914
	2060	2,776	10,103	0,712	5,009	18,600	30,190	0,198	48,988
Paraíba	2022	2,842		0,578	0,981	4,402	1,669	0,004	6,075
	2030	2,988		0,527	1,186	4,701	2,104	0,005	6,810
	2040	3,062		0,498	1,511	5,070	2,673	0,005	7,749
	2050	3,036		0,483	1,940	5,459	2,673	0,006	8,138
	2060	2,939		0,456	2,513	5,908	2,673	0,006	8,587
Pernambuco	2022	0,987		0,853	1,464	3,304	1,571	0,149	5,024
	2030	1,082		0,814	1,797	3,693	1,982	0,153	5,828
	2040	1,143		0,801	2,341	4,285	2,508	0,177	6,970
	2050	1,154		0,798	3,080	5,032	2,508	0,218	7,758
	2060	1,129		0,775	4,096	5,999	2,508	0,260	8,767
Rio Grande do Norte	2022	1,807		0,303	0,699	2,810	7,620	0,028	10,459
	2030	1,868		0,291	0,856	3,014	9,171	0,032	12,217
	2040	1,914		0,284	1,112	3,311	11,557	0,036	14,904
	2050	1,928		0,281	1,462	3,671	11,749	0,038	15,459
	2060	1,907		0,275	1,945	4,126	11,962	0,041	16,128
Total	2022	8,390	9,813	2,662	4,998	25,863	30,211	0,282	56,356
	2030	8,872	10,205	2,472	6,097	27,646	36,574	0,314	64,534
	2040	9,119	10,411	2,376	7,878	29,784	46,344	0,373	76,501
	2050	9,052	10,357	2,328	10,280	32,016	46,814	0,439	79,269
	2060	8,750	10,103	2,217	13,563	34,634	47,333	0,505	82,471

Destaca-se que, uma vez que este Capítulo objetiva elaborar um diagnóstico da situação atual dos usos da água e as possibilidades de comportamento das demandas ao longo do tempo, os valores apresentados no quadro acima referem-se à demanda total calculada para cada município e classificada em diferentes usos. Por outro lado, os cálculos das vazões de retiradas projetadas nos portais de entrega do PISF dependem de outras variáveis, e são objeto de análise específica, apresentada mais adiante no Capítulo 6 deste Tomo II.

5. DIAGNÓSTICO DO BALANÇO HÍDRICO NAS BACIAS RECEPTORAS

5.1 BACIAS E RESERVATÓRIOS MODELADOS

Para as simulações de balanço hídrico, foram consideradas as bacias receptoras do PISF conforme Nota Técnica da ANA nº 390 (ANA, 2005b), sendo elas:

- Eixo Leste: bacias hidrográficas do rio Moxotó; do rio Pajeú e Navio; do rio Ipojuca; e do rio Paraíba;
- Eixo Norte: bacias hidrográficas do rio Apodi; do rio Jaguaribe; dos rios Piancó-Piranhas-Açu; e do rio Terra Nova - Brígida.

Ao todo, foram considerados nas simulações 138 reservatórios localizados nessas bacias, identificados anteriormente no Quadro 3.1, nos quais foi calculado o balanço hídrico baseado na alocação de água para atendimento das demandas a eles associadas. Os critérios adotados para alocação das demandas hídricas aos reservatórios e respectivos trechos de jusante perenes, para cada uso da água, são apresentados mais adiante, no item 5.4.

A Figura 5.1 apresenta a localização das bacias receptoras e dos reservatórios modelados no balanço hídrico.

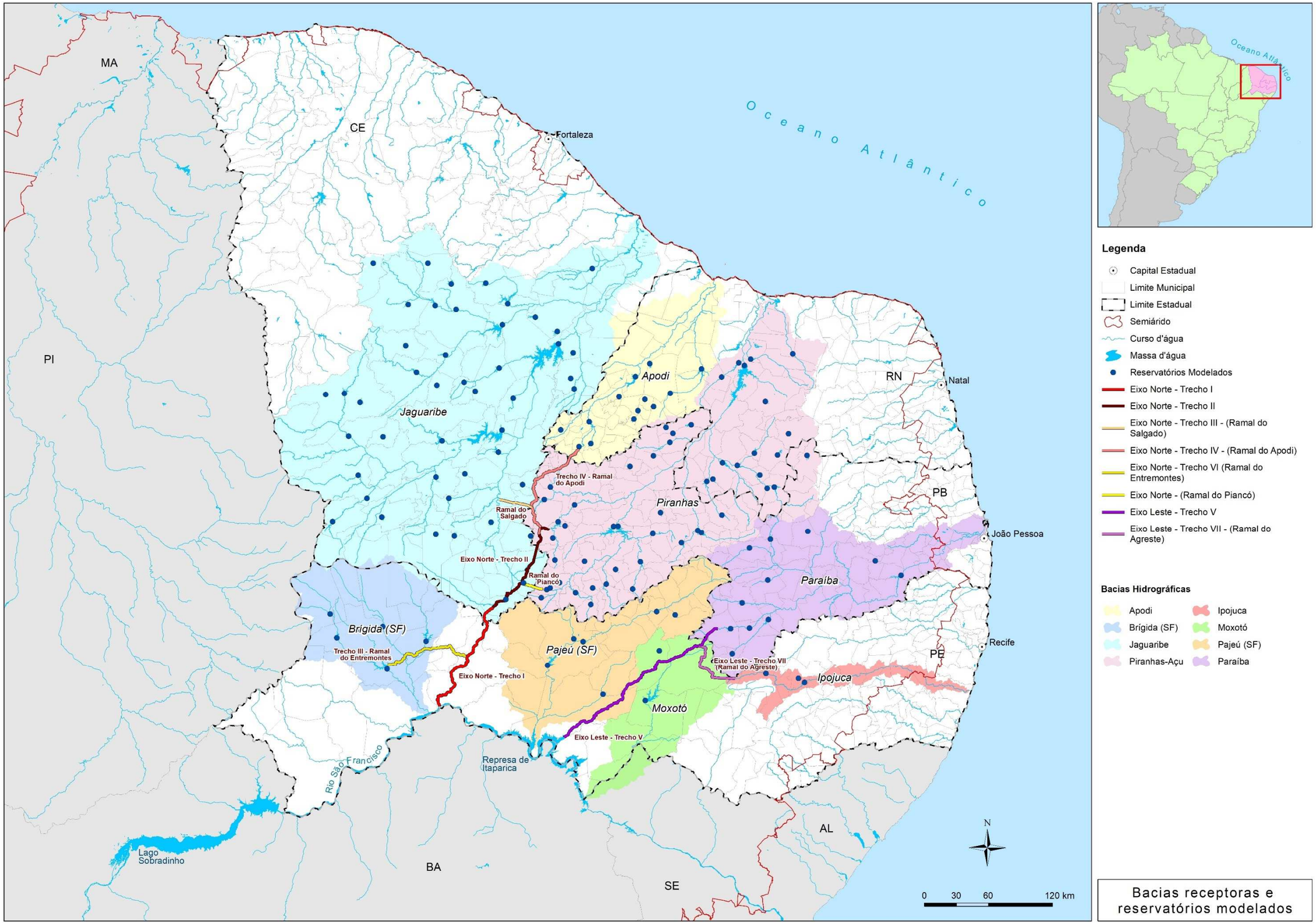


Figura 5.1 – Bacias receptoras do PISF e reservatórios modelados.

5.2 METODOLOGIA DO BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é o resultado da aplicação da equação da continuidade a um corpo hídrico, pela qual se consideram todas as afluências e defluências e a variação do volume de água contido nesse corpo. O método do balanço hídrico pode ser aplicado a qualquer volume de controle, desde que sejam caracterizadas todas as variáveis intervenientes. Exemplos de aplicação do balanço hídrico são: a determinação da variação de volume armazenado em um reservatório, o controle e determinação de fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica e a determinação da capacidade de evaporação em tanques/campos experimentais.

A equação geral do balanço hídrico é dada por:

$$\Delta V = \left(\sum Q_{afl} - \sum Q_{efl}\right) * \Delta t \qquad \textbf{(XV)}$$

Onde:

- ΔV - Variação do volume acumulado no reservatório no intervalo de tempo;
- $\sum Q_{afl}$ - Somatório das vazões afluentes ao reservatório, o que inclui as vazões afluentes pela calha fluvial, precipitação direta sobre a superfície do reservatório e eventuais lançamentos no mesmo;
- $\sum Q_{efl}$ - Somatório das vazões efluentes do reservatório, o que inclui as retiradas, seja pelas tomadas d'água seja por captação direta, evaporação na superfície líquida do reservatório e vazões vertidas;
- Δt - Intervalo de tempo considerado.

A equação do balanço hídrico é resolvida por aproximações sucessivas para cada intervalo de tempo e, em seguida, sequencialmente para todo o histórico a ser simulado. Para o presente estudo, utilizou-se como intervalo de tempo de cálculo a duração de 1 mês.

Na solução dessa equação, devem ser consideradas todas as interfaces do reservatório com o ambiente, ou seja, o rio a montante, as descargas no barramento, as interfaces com o solo e com o ar, bem como eventuais pontos de retirada e/ou lançamento. Devem ainda ser conhecidos os dados técnicos básicos dos reservatórios, tais como volumes máximos, volumes mínimos e curva cota x área x volume.

A Figura 5.2 ilustra as principais variáveis que influenciam o balanço hídrico em um reservatório.

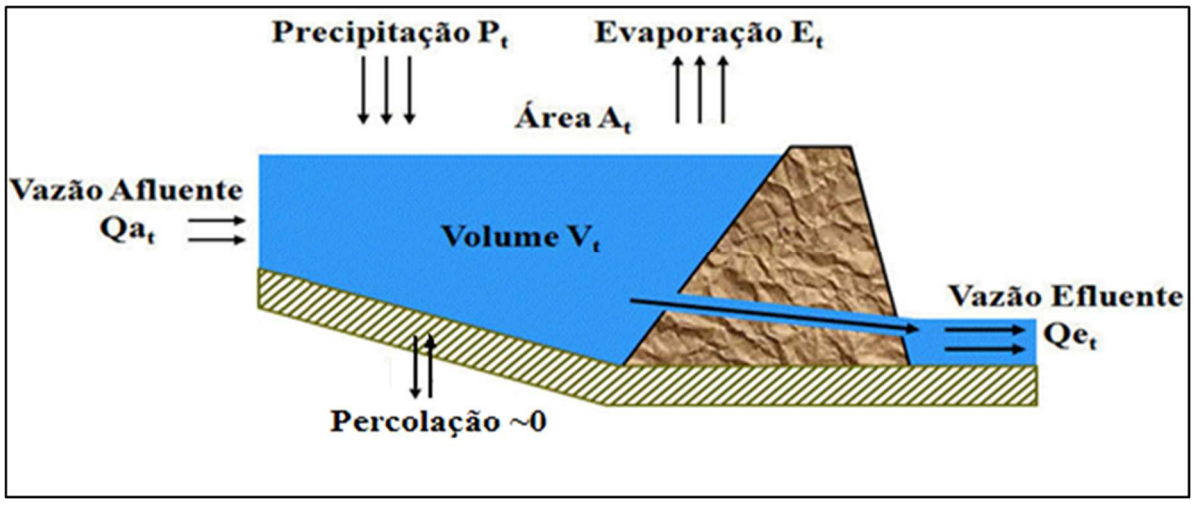


Figura 5.2 – Balanço Hídrico em um reservatório. Fonte: ANA (2017b)

Partindo-se dessa metodologia, comparando a disponibilidade hídrica de cada reservatório com as demandas a ele associadas, pode-se realizar a análise do comprometimento dos recursos hídricos dos reservatórios situados nas bacias receptoras do PISF, na condição de ausência de aporte externo adicional do PISF. Esta análise permitirá identificar o grau de comprometimento de cada manancial frente ao atendimento às demandas identificadas.

Neste estudo, foi realizado apenas o balanço hídrico quantitativo nos reservatórios das bacias receptoras do PISF, desconsiderando-se a qualidade das águas nos reservatórios e rios estudados.

5.3 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO BALANÇO HÍDRICO

Cada uma das variáveis do balanço hídrico representadas na Figura 5.2 são tratadas na sequência.

5.3.1 VAZÃO AFLUENTE

5.3.1.1 OFERTA HÍDRICA LOCAL

Para a realização do balanço hídrico dos 138 reservatórios modelados no presente estudo, foram utilizadas as séries de vazões mensais naturais afluentes a cada um deles. A determinação das séries históricas de vazões naturais afluentes a cada reservatório foi tratada no item 3.3 deste Tomo II.

As séries históricas mensais simuladas contemplam o seguinte período:

- Bacias receptoras do Eixo Leste (Paraíba, Ipojuca, Moxotó e Pajeú): janeiro de 1917 a dezembro de 1990 – período limitado pela disponibilidade de dados históricos de vazões afluentes na bacia do rio Paraíba -, perfazendo 74 anos de dados. A exceção é o açude José Rodrigues, na bacia do rio Paraíba, cuja série de vazões contempla dados dos anos de 1963 a 1989;

- Bacias receptoras do Eixo Norte (Apodi, Jaguaribe, Piranhas-Açu e Brígida): janeiro de 1913 a dezembro de 2012 – período limitado pela disponibilidade de dados históricos de vazões afluentes, comum a todas as bacias receptoras do Eixo Norte -, perfazendo 100 anos de dados.

Para o cômputo da disponibilidade hídrica, foram acrescidas as vazões de retorno das demandas que estão sendo consideradas para fins de balanço, considerando os seguintes coeficientes:

- Abastecimento urbano: coeficiente de retorno de 0,8, considerado apenas para os municípios que contam com rede de coleta de esgoto. Para os municípios sem rede de coleta, foi considerado retorno nulo;

- Abastecimento rural e dessedentação animal: 0,0;

- Abastecimento industrial: 0,6;

- Irrigação: coeficiente de retorno calculado a partir dos dados do Atlas Irrigação da ANA, por município, e computado por manancial a partir de sua média ponderada pela vazão de retirada para irrigação de cada município alocado ao manancial.

De modo geral, as vazões de retorno foram alocadas aos pontos de outorga de lançamento de efluentes, quando existentes. Caso contrário, foi considerado um ponto localizado no corpo hídrico mais próximo. No caso de a captação ser feita no mesmo curso d'água do lançamento, o retorno foi alocado a jusante da captação.

5.3.1.2 RESERVATÓRIOS EM SÉRIE

Na metodologia empregada para definição das vazões naturais afluentes a cada reservatório, foram utilizadas as bacias incrementais, ou seja, se dois reservatórios localizados em uma mesma bacia estão em série, o de montante intercepta toda a vazão natural a ele afluente. Para o reservatório de jusante, a série de vazões naturais calculada refere-se à bacia incremental, já descontada a vazão afluente ao reservatório de montante.

Para os cálculos do balanço hídrico, as vazões defluentes do reservatório de montante são acrescentadas às vazões naturais da bacia incremental para obtenção da afluência total.

5.3.1.3 RESERVATÓRIOS DE PEQUENO PORTE

Nas bacias em estudo existem diversos reservatórios de pequeno porte, com volumes de acumulação inferiores a 10 hm³ e capacidade de reservação intra-anual, que interferem no escoamento das bacias pois, por estarem situados a montante dos reservatórios a serem simulados, interceptarão as primeiras afluências, as quais os encherão.

Na realização do balanço hídrico, esses reservatórios são considerados como um consumo existente na bacia de contribuição dos reservatórios em estudo: ou seja, tais reservatórios se apropriam do primeiro escoamento no período chuvoso, até o limite de seus volumes.

Os procedimentos utilizados para considerar os reservatórios de pequeno porte foram os seguintes:

- Estimativa dos volumes dos reservatórios de pequeno porte a montante, a partir das áreas dos espelhos d'água;
- Definição do volume do "reservatório de montante equivalente", igual à somatória dos volumes individuais dos reservatórios de pequeno porte de montante;
- Definição da área incremental do "reservatório de montante equivalente" - conjunto união das áreas incrementais dos pequenos reservatórios de montante;
- Definição das séries de vazões afluentes ao "reservatório de montante equivalente" e diretamente ao reservatório em análise, por proporcionalidade entre as áreas de drenagem;
- Criação de uma demanda no "reservatório de montante equivalente" para representar seu esvaziamento em período seco.

Não foram consideradas precipitação e evaporação sobre o espelho d'água nos reservatórios de pequeno porte.

5.3.2 PERCOLAÇÃO

Todos os reservatórios estão assentes sobre uma camada de solo, o qual, por ocasião do enchimento do reservatório é encharcado, absorvendo uma parcela do volume afluente. Em contrapartida, por ocasião do esvaziamento a água retida no solo percola em direção ao corpo de reservatório.

Considerando que na seção de barramento são tomadas precauções especiais para evitar a percolação de água para jusante, bem como o volume envolvido no encharcamento do solo ser muito menor do que o volume afluente, sendo quase que totalmente devolvido ao reservatório quando de seu esvaziamento, esta componente, representada na Figura 5.2, não foi considerada nos cálculos de balanço hídrico.

5.3.3 PRECIPITAÇÃO E EVAPORAÇÃO NA SUPERFÍCIE LÍQUIDA DOS RESERVATÓRIOS

A superfície líquida do reservatório promove a interface com o ar, ocorrendo dois fenômenos: precipitação e evaporação. O cálculo dos ganhos por precipitação e perdas por evaporação deve ser realizado considerando a área da superfície exposta e as taxas de evaporação e transpiração, variáveis no tempo.

A área da superfície exposta ao ar em cada intervalo de tempo da simulação foi obtida em função da cota do reservatório no referido intervalo de tempo por interpolação da curva cota x área x volume.

Os estudos de precipitação e evaporação na região do semiárido, apresentados respectivamente nos itens 3.1 e 3.2 deste Tomo II, definiram as taxas de precipitação e evaporação para a região, apresentando os vetores mensais de precipitação e evaporação utilizados nas simulações, para cada um dos 138 reservatórios modelados.

5.3.4 VAZÃO EFLUENTE

As vazões efluentes são determinadas considerando o atendimento às demandas hídricas, calculadas conforme metodologias expostas no Capítulo 4 deste Tomo II e devidamente associadas ao respectivo manancial de atendimento (corpo dos reservatórios e/ou aos seus trechos de jusante perenes), conforme critérios expostos mais adiante no item 5.4.

5.3.4.1 DEMANDAS ASSOCIADAS AOS RESERVATÓRIOS

Os usos da água alocados aos reservatórios para fins de balanço hídrico são aqueles cujas demandas foram definidas anteriormente no Capítulo 4: abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural, dessedentação animal, irrigação e indústria.

De modo a considerar os efeitos da variação sazonal das demandas de irrigação sobre as condições do balanço hídrico (déficits e excedentes calculados mês a mês ao longo do período de simulação), as demandas de irrigação médias anuais estimadas no presente estudo (item 4.1.3) foram discretizadas, mês a mês, a partir de curvas adimensionais definidas com base nas demandas de irrigação calculadas em base mensal em ANA (2017b).

5.3.4.2 DEMANDAS DOS TRECHOS DE JUSANTE DOS RESERVATÓRIOS

No âmbito dos estudos de balanço hídrico, as demandas dos trechos de jusante dos reservatórios foram consideradas apenas ao longo dos trechos de cursos d'água perenes ou perenizados. A definição dos trechos perenizados baseou-se em informações levantadas em ANA, 2017b.

Para esses casos, foram considerados os mesmos usos da água citados no item 5.3.4.1: abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural, dessedentação animal, irrigação e indústria.

5.4 CRITÉRIOS PARA ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS HÍDRICAS AOS MANANCIAIS MODELADOS (RESERVATÓRIOS E TRECHOS DE JUSANTE PERENES)

A modelagem do balanço hídrico em um sistema de reservatórios parte de um pressuposto básico, qual seja, o de alocar as demandas, anteriormente calculadas em cada um dos municípios que integram os estados do Nordeste Setentrional, nos locais em que elas realmente ocorrem, ou seja, nos mananciais que são de fato utilizados para seu atendimento, sejam eles os reservatórios propriamente ditos ou os respectivos trechos de cursos d'água perenes situados a jusante.

Portanto, o objetivo é transformar as demandas, estimadas no Capítulo 4 a nível municipal, em demandas atribuídas aos seus respectivos mananciais de abastecimento. Deste modo, apesar de terem sido calculadas as demandas hídricas para todos os municípios dos referidos estados, para efeitos das simulações de balanço hídrico, serão consideradas apenas as demandas abastecidas pelos reservatórios modelados ou por seus trechos de jusante perenes.

Por esta razão, as demandas que atualmente são supridas por águas subterrâneas ou por mananciais externos aos modelados nas bacias receptoras do PISF não integrarão a modelagem do balanço hídrico das águas superficiais dessas bacias. Isto significa que as demandas que são atualmente abastecidas por outros mananciais (sejam eles superficiais ou subterrâneos) permanecerão utilizando prioritariamente tais mananciais, em detrimento à utilização das águas advindas do PISF.

Esta hipótese corrobora a premissa básica de aproveitamento máximo e eficiente das águas locais disponíveis nas bacias receptoras, no contexto de uma gestão eficiente dos recursos hídricos e de forma mais favorável do ponto de vista dos custos operacionais. A otimização do uso das águas endógenas das próprias bacias receptoras tem rebatimentos positivos não só no aumento da segurança hídrica regional como na economicidade dos sistemas de abastecimento humano e de suprimento de água aos setores produtivos.

Para apoio e aplicação prática desse pressuposto básico, conta-se com estudo recente da ANA, intitulado "Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação" (ANA, 2017b), realizado com grande nível de detalhamento, incluindo levantamentos de campo para caracterização dos reservatórios e usos da água na região semiárida.

Como hipótese básica desse trabalho, foi considerado que, no semiárido brasileiro, a oferta hídrica fornecida pelos reservatórios de menor porte existentes na região de estudo (que não têm capacidade de regularização interanual de vazões) é completamente consumida para atendimento das demandas localizadas no seu entorno em anos úmidos. Em anos de estiagem, quando esses reservatórios se apresentam secos, a população e os rebanhos de animais migram para fontes hídricas de maior porte (dentre as quais se incluem os reservatórios modelados e trechos de rios perenes), caracterizando uma diferente alocação espacial das fontes hídricas para abastecimento da população e rebanhos. Para apoio à definição de tal deslocamento,

foram estabelecidas áreas de influência específicas dos reservatórios de maior porte do semiárido e seu entorno, via Modelo Gravitacional (ver item 5.4.2).

Diante dessa hipótese, e visando caracterizar no presente estudo o cenário mais restritivo de balanço hídrico local, admitiu-se que as demandas hídricas para abastecimento da população urbana e rural e para dessedentação animal estão alocadas aos mananciais de anos secos definidos nos estudos de ANA (2017b). Ou seja, tais demandas foram deslocadas, em sua totalidade e em todos os anos simulados, dos açudes locais de menor porte para os reservatórios de maior porte do semiárido e seu entorno.

Com isso, tem-se que cerca de 16% das demandas consuntivas totais dos mananciais modelados (no ano base 2022) equivalem às demandas prioritárias que foram deslocadas dos açudes de menor porte. Apesar de ser um percentual pequeno, essa condição representa maior garantia de segurança hídrica ao abastecimento das populações e dos rebanhos animais, que ficarão menos sujeitos ao risco de esgotamento de suas fontes hídricas.

Por outro lado, as demandas para suprimento hídrico dos demais usos dos recursos hídricos foram consideradas nos estudos de ANA (2017b) como fixas entre anos secos e úmidos, ou seja, sem variação da sua alocação espacial a diferentes mananciais.

Os critérios específicos adotados para alocação das demandas dos municípios, uso a uso, aos respectivos mananciais de atendimento são detalhados nos subitens a seguir. Destaca-se que, dos 138 reservatórios modelados, os levantamentos de campo realizados em ANA (2017b) constataram problemas associados à qualidade da água em três reservatórios, que inviabilizam o uso da água para as finalidades consideradas no âmbito do presente estudo. São eles: José Rodrigues (código ANA 994), na bacia do rio Paraíba; Escondido (código ANA 1749), na bacia do rio Piranhas-Açu; e Serrinha II (código ANA 1178), na bacia do rio Pajeú. Desta forma, para estes reservatórios, não foi associada qualquer demanda de usos prioritários ou demais usos da água.

5.4.1 ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS DE ABASTECIMENTO HUMANO URBANO

Nos estudos de ANA (2017b), para associação entre os reservatórios e/ou trechos de jusante perenes e as áreas urbanas por eles abastecidas, foram utilizadas como fontes de consulta, nesta ordem de prioridade: dados levantados em campo, registrados nas fichas dos reservatórios que foram objeto de levantamento de campo nos referidos estudos; informações da ANA acerca do percentual da água captada nos reservatórios para atendimento de diferentes sedes urbanas; as outorgas emitidas para abastecimento urbano; e o Atlas Brasil: abastecimento urbano de água, da ANA (2010).

Nos anos secos, também foram atribuídas aos reservatórios de grande porte as demandas de áreas urbanas que, em anos úmidos, são abastecidas por reservatórios de menor porte. A definição dos mananciais que abastecem as áreas urbanas em anos secos obedeceu aos seguintes passos:

- Verificação no Atlas Brasil se o manancial definido para anos úmidos é considerado satisfatório: sim ou não;
- Verificação se o manancial possui área de influência em anos secos: sim ou não;
- Caso a resposta a pelo menos uma das duas verificações anteriores foi “Sim”, foi considerado, para anos secos, o mesmo manancial definido para anos úmidos;

- Caso ambas as respostas tenham sido “Não”, foram utilizadas as áreas de influência de anos secos obtidas pelo modelo gravitacional (descrito no item 5.4.2) para determinação do manancial associado.

No presente estudo, foram associados a cada reservatório modelado e/ou trechos de jusante perenes percentuais das demandas urbanas, calculadas conforme Capítulo 4 deste Tomo II, na mesma medida dos percentuais definidos nos estudos de ANA (2017b) para cada sede urbana.

O Quadro 5.1 ilustra a aplicação desses critérios, apresentando o resultado da alocação das demandas urbanas do município de Sanharó/PE aos mananciais de anos secos. Ademais, de modo a exemplificar o deslocamento, antes explicado, das demandas prioritárias dos açudes de menor porte (mananciais de anos úmidos) para os reservatórios de maior porte (mananciais de anos secos), apresenta-se no Quadro 5.2 qual seria a alocação resultante considerando-se os mananciais de anos úmidos. Observa-se que a parcela atendida pelo Reservatório Taboquinhas em anos úmidos desloca-se em anos secos para o rio Ipojuca, no trecho de jusante do reservatório Pão de Açúcar.

Quadro 5.1 – Alocação da demanda de abastecimento da sede urbana do município de Sanharó/PE (cód. IBGE 2612406 | Bacia do rio Ipojuca) aos mananciais de anos secos

Manancial (Corpo hídrico) Anos Secos	Código do Corpo Hídrico Anos Secos (1)	% da demanda da área urbana atendida pelo manancial de Anos Secos	Manancial modelado
Barragem Sapato	-	54%	não
Res. Belo Jardim (Ipojuca ou Pedro Moura Júnior)	1078	19%	sim
Rio Ipojuca (trecho de jusante res. Pão de Açúcar)	1072J_P	1%	sim
Res. Engenheiro Severino Guerra (Bitury)	1076	27%	sim

Notas:
(1) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.
(2) Estão identificados em hachura verde os mananciais modelados.

Quadro 5.2 – Alocação da demanda de abastecimento da sede urbana do município de Sanharó/PE (cód. IBGE 2612406 | Bacia do rio Ipojuca) aos mananciais de anos úmidos

Manancial (Corpo hídrico) Anos Úmidos	Código do Corpo Hídrico Anos Úmidos (1)	% da demanda da área urbana atendida pelo manancial de Anos Úmidos	Manancial modelado
Barragem Sapato	-	54%	não
Res. Belo Jardim (Ipojuca ou Pedro Moura Júnior)	1078	19%	sim
Reservatório Taboquinhas	-	1%	não
Res. Engenheiro Severino Guerra (Bitury)	1076	27%	sim

Notas:
(1) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.
(2) Estão identificados em hachura verde os mananciais modelados.

Observa-se ainda que 54% da demanda urbana do município de Sanharó/PE é abastecida pelo reservatório da Barragem Sapato (seja em anos secos ou em anos úmidos), o qual não integra o conjunto de mananciais

modelados nas bacias receptoras do PISF. Por este motivo, tal parcela da demanda urbana de Sanharó não integrará a modelagem do balanço hídrico ora realizada, e permanecerá utilizando o reservatório de Sapato como seu manancial de atendimento, sem gerar potencial demanda a ser suprida pelo Sistema PISF.

O mapa da Figura 5.3 apresenta o resultado da alocação das demandas urbanas aos mananciais em estudo, destacando em hachura sólida colorida os municípios que tiveram demandas urbanas total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados, e em hachura inclinada para a direita os municípios que tiveram demandas urbanas total ou parcialmente alocadas aos mananciais receptores do PISF (25 reservatórios e respectivos trechos de jusante perenes[12]). Deste modo, municípios sem a hachura inclinada são aqueles cujas demandas urbanas são atualmente abastecidas por mananciais localizados a montante dos portais de entrega do PISF, e, portanto, que não teriam benefício direto com a entrada em operação desse sistema.

Tendo em vista os critérios antes descritos, observa-se que alguns municípios da Região Metropolitana de Fortaleza tiveram suas demandas urbanas associadas aos mananciais em estudo. São aqueles municípios que atualmente apresentam sistema de abastecimento urbano integrado, com captação no reservatório Castanhão na bacia do rio Jaguaribe (via Canal da Integração), ou no próprio rio Jaguaribe a jusante de Castanhão (via Canal do Trabalhador).

[12] Os reservatórios receptores do PISF são: Arapuá, Pau dos Ferros, Santa Cruz do Apodi, Chapéu, Entremontes, Condado, Coremas, Mãe D'água, Eng. Armando Ribeiro Gonçalves, Engenheiro Ávidos, São Gonçalo I, Lagoa do Arroz, Atalho, Orós, Lima Campos, Joaquim Távora, Castanhão, Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa, Acauã, Eng. Francisco Saboia (Poço da Cruz), Barra do Juá, Pão de Açúcar, Belo Jardim (Ipojuca ou Pedro Moura Júnior).

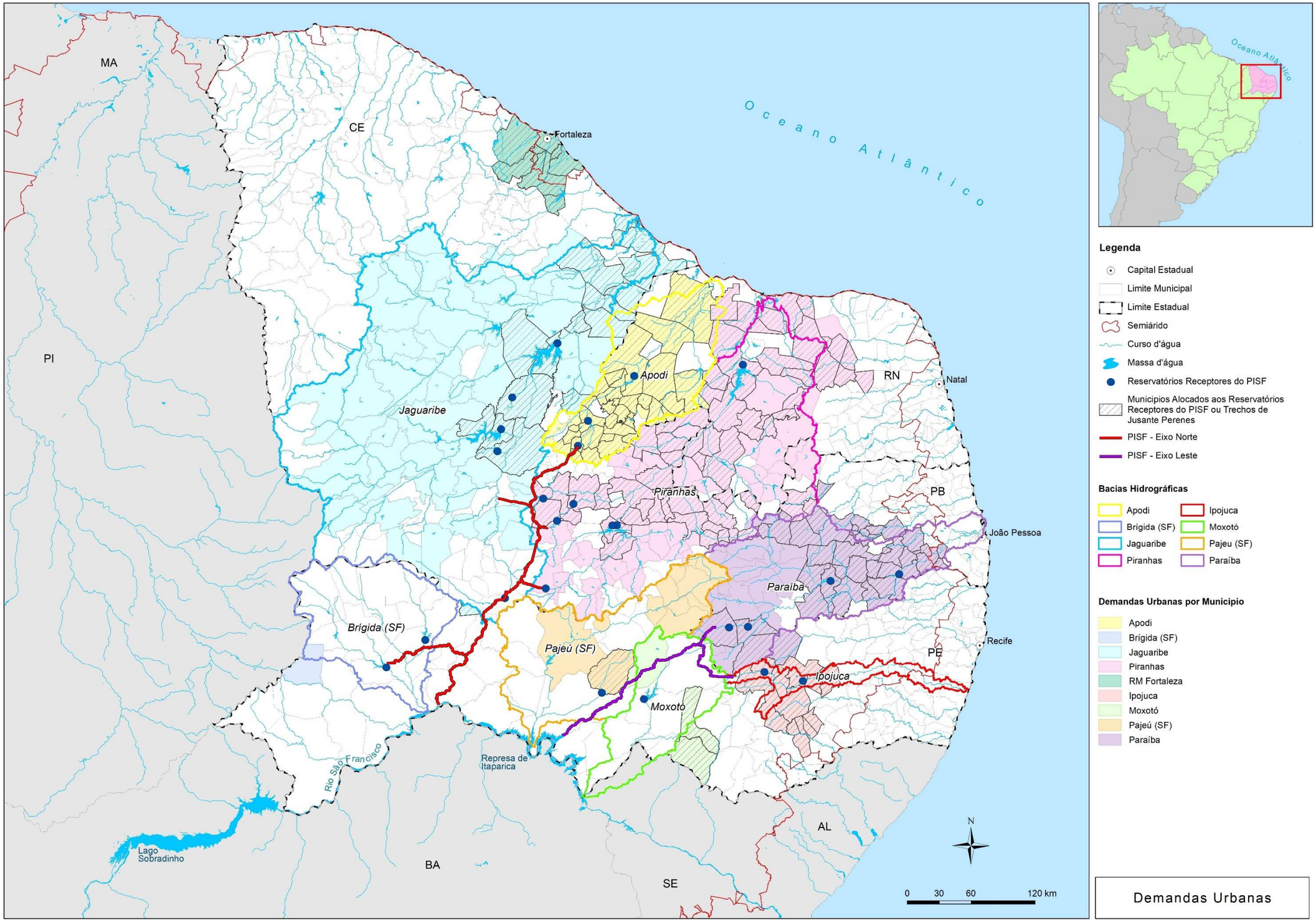


Figura 5.3 – Municípios com demandas urbanas total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados

5.4.2 ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS DE ABASTECIMENTO HUMANO RURAL

Conforme citado anteriormente, os estudos de ANA (2017b) admitiram que, para os anos secos, os únicos corpos hídricos com disponibilidade hídrica para atendimento às demandas da população rural são os trechos de rios perenes e os reservatórios com capacidade de regularização interanual.

Nesses estudos, inicialmente foram determinados quais são os reservatórios com capacidade de regularização interanual inseridos na área de estudo (região semiárida) e no seu entorno (buffer de 100 km). Em seguida, foi traçada uma zona de influência, para cada um dos reservatórios selecionados e para os trechos de rios perenes, com apoio de adaptação de Modelo Gravitacional e de técnicas de geoprocessamento.

De modo geral, o Modelo Gravitacional aplicado em ANA (2017b) calcula a atração probabilística de uma origem, com massa “ma”, em direção a um destino (B) ou (C), com massas “mb” e “mc”, com base na distância origem-destino (d). Ou seja, a probabilidade de uma origem que está sendo atraída para um destino é diretamente proporcional à atratividade do destino e inversamente proporcional à distância.

Por meio do Modelo Gravitacional, os estudos de ANA (2017b) associaram os setores censitários rurais de cada município aos mananciais que exercem maior atração sobre eles. As demandas rurais foram alocadas nesses mananciais proporcionalmente à área do setor censitário inserida na zona de influência dos mananciais.

No presente estudo, foram alocados em cada reservatório modelado e/ou trechos de jusante perenes percentuais das demandas rurais dos municípios, calculadas conforme Capítulo 4 deste Tomo II, na mesma medida dos percentuais definidos nos estudos de ANA (2017b) para cada setor censitário rural de cada município.

O Quadro 5.3 ilustra a aplicação desses critérios, apresentando o resultado da alocação das demandas de abastecimento humano rural do município de Caraúbas/PB aos mananciais de anos secos. Nota-se que, dos cinco setores censitários do município, quatro estão totalmente inseridos na zona de influência do reservatório Cordeiro, na bacia do rio Paraíba - e, portanto, terão suas demandas de abastecimento da população rural alocadas a este manancial -, enquanto que um setor está totalmente inserido na zona de influência do reservatório Poço Fundo, situado em bacia vizinha (bacia do rio Capibaribe, não receptora do PISF) – e portanto as demandas de abastecimento da população rural desse setor censitário não integrarão a modelagem de balanço hídrico do presente estudo.

Quadro 5.3 – Alocação da demanda de abastecimento humano rural do município de Caraúbas/PB (cód. IBGE 2504074 | Bacia do rio Paraíba) aos mananciais de anos secos

Código Setor Censitário (IBGE)	Tipo Setor Censitário	Área total (km²) (1)	Área parcial (km²) (2)	Coef. Área (3)	Manancial (Corpo Hídrico) Anos Secos	Código Corpo Hídrico (4)	Bacia em que está o manancial	Manancial Modelado
250407405000004	rural	75,75	75,75	100%	Res. Cordeiro	1158	Paraíba	sim
250407405000007	rural	51,63	51,63	100%	Res. Cordeiro	1158	Paraíba	sim
250407405000003	rural	110,81	110,81	100%	Res. Cordeiro	1158	Paraíba	sim
250407405000006	rural	46,62	46,62	100%	Res. Cordeiro	1158	Paraíba	sim
250407405000005	rural	209,4	209,4	100%	Res. Poço Fundo	965	Capibaribe	não

Notas:

(1) Área total do setor censitário.
(2) Área do setor censitário que está inserida na zona de influência do manancial.
(3) Coeficiente de área = (2) / (1)
(4) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.
(5) Estão identificados em hachura verde os mananciais modelados.

O mapa da Figura 5.4 apresenta o resultado da alocação das demandas rurais aos mananciais em estudo, destacando em hachura sólida colorida os municípios que tiveram demandas rurais total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados, e em hachura inclinada para a direita os municípios que tiveram demandas rurais total ou parcialmente alocadas aos mananciais receptores do PISF (25 reservatórios e respectivos trechos de jusante perenes).

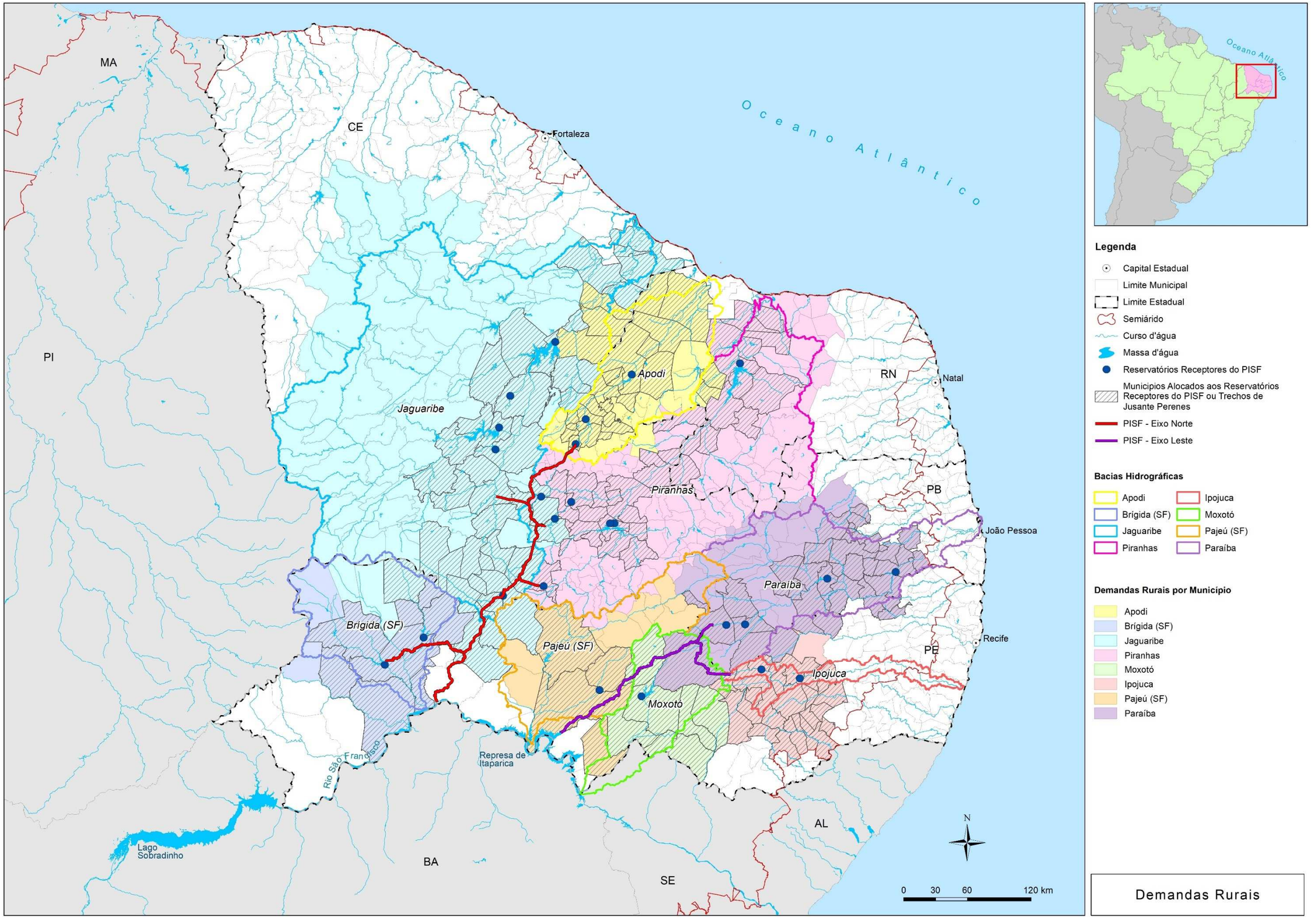


Figura 5.4 – Municípios com demandas rurais total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados

5.4.3 ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS DE DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

Por também constituir um uso difuso dos recursos hídricos, as demandas decorrentes da dessedentação animal foram alocadas nos estudos de ANA (2017b) utilizando-se as mesmas zonas de influência dos mananciais definidas para a população humana rural (vide item 5.4.2).

Adotou-se o pressuposto de que os animais estejam distribuídos uniformemente, em cada município, nas áreas destinadas a pastagens, excluindo-se as unidades de proteção integral e os espelhos d'água. As áreas de pastagens foram delimitadas nos referidos estudos a partir de:

- Mapas estaduais de uso e ocupação do solo, quando disponíveis;
- Estudo "Radiografia das Pastagens do Brasil" desenvolvido pela Universidade Federal de Goiás em 2014[13], para os estados que não possuíam mapas em formato manipulável.

A determinação da área de cada município destinada a pastagens contida dentro da zona de influência dos reservatórios foi então realizada a partir da utilização de Sistema de Informações Geográficas.

No presente estudo, analogamente ao critério estabelecido para os usos humanos, foram alocados em cada reservatório modelado e/ou trechos de jusante perenes percentuais das demandas de dessedentação animal de cada município, calculadas conforme Capítulo 4 deste Tomo II, na mesma medida dos percentuais definidos nos estudos de ANA (2017b).

O Quadro 5.4 ilustra a aplicação desses critérios, apresentando o resultado da alocação das demandas de dessedentação animal do município de Caraúbas/PB aos mananciais de anos secos. Nota-se que há uma pequena parcela (0,4%) da área do município destinada às pastagens que está inserida na zona de influência do reservatório Poço Fundo, situado em bacia vizinha (bacia do rio Capibaribe, não receptora do PISF). Deste modo, esta parcela das demandas de dessedentação animal do município não integrará a modelagem de balanço hídrico do presente estudo.

Quadro 5.4 – Alocação da demanda de dessedentação animal do município de Caraúbas/PB (cód. IBGE 2504074 | Bacia do rio Paraíba) aos mananciais de anos secos

Área rural total destinada às pastagens (km²) (1)	Área rural parcial destinada às pastagens (km²) (2)	Coef. Área (3)	Manancial (Corpo Hídrico) Anos Secos	Código Corpo Hídrico (4)	Bacia em que está o manancial	Manancial Modelado
87,56	87,22	99,6%	Res. Cordeiro	1158	Paraíba	sim
87,56	0,35	0,4%	Res. Poço Fundo	965	Capibaribe	não

Notas:
(1) Área rural total do município destinada às pastagens.
(2) Parcela da área destinada às pastagens que está inserida na zona de influência do manancial.
(3) Coeficiente de área = (2) / (1)
(4) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.
(5) Estão identificados em hachura verde os mananciais modelados.

[13] Universidade Federal de Goiás. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG). Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – SAE/PR. Radiografia das Pastagens do Brasil. Goiânia, dezembro de 2014.

O mapa da Figura 5.5 apresenta o resultado da alocação das demandas de dessedentação animal aos mananciais em estudo, destacando em hachura sólida colorida os municípios que tiveram demandas de dessedentação animal total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados, e em hachura inclinada para a direita os municípios que tiveram demandas de dessedentação animal total ou parcialmente alocadas aos mananciais receptores do PISF (25 reservatórios e respectivos trechos de jusante perenes).

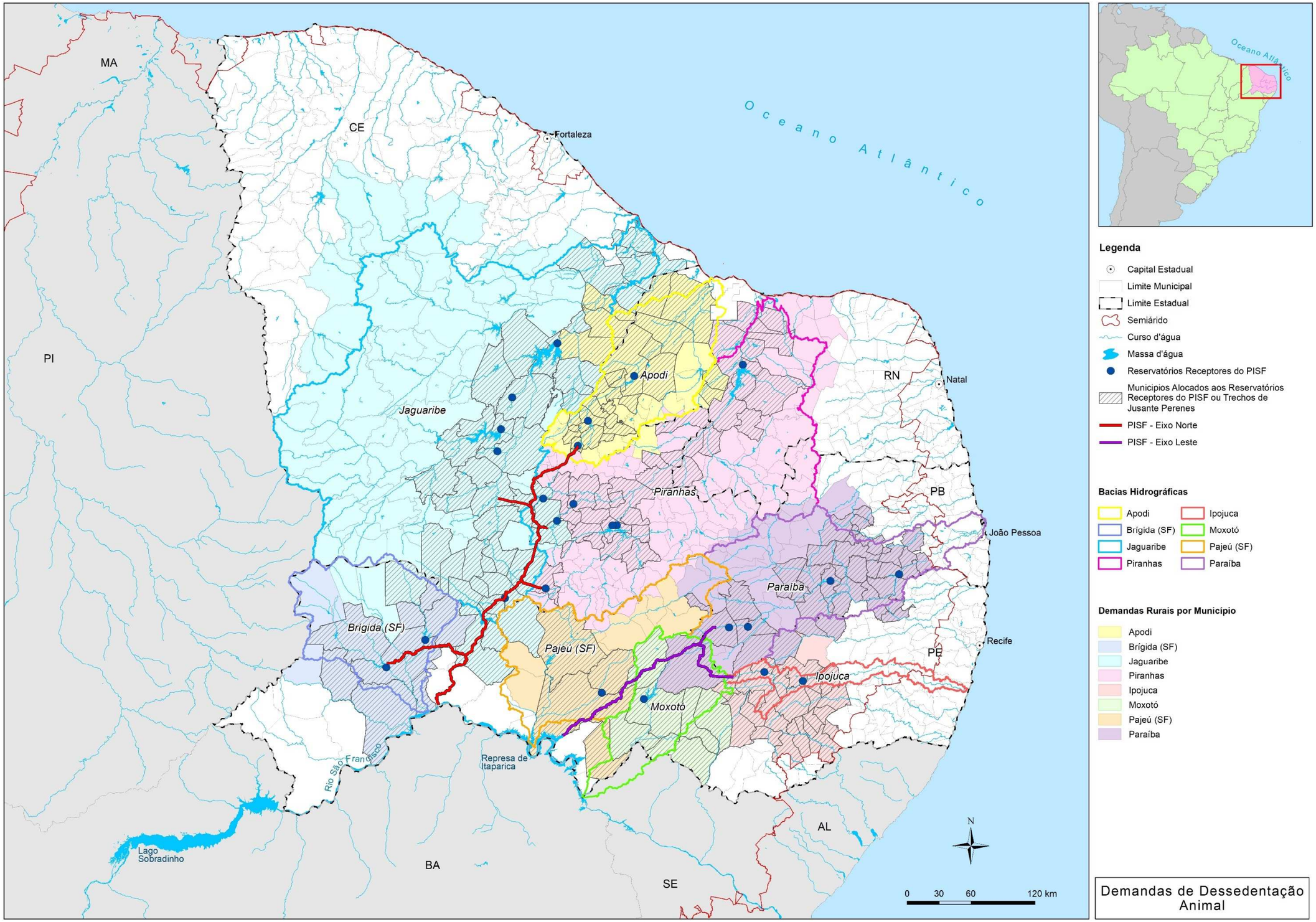


Figura 5.5 – Municípios com demandas de dessedentação animal total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados

5.4.4 ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO

Nos estudos de ANA (2017b), as demandas de irrigação foram quantificadas mês a mês e separadamente para os perímetros irrigados (demandas pontuais), e para as áreas irrigadas difusas.

Os perímetros irrigados abastecidos pelos reservatórios de interesse foram identificados nos referidos estudos a partir de: imagens de satélite avaliadas ao longo de vários anos; fichas dos reservatórios que foram objeto de levantamento de campo nos referidos estudos; informações do IBGE; dados e informações da então Secretaria Nacional da Irrigação (SENIR) e do então Sistema de Informações sobre os Projetos Públicos de Irrigação (SISPPI) - partes integrantes da atual Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH), vinculada ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR); Resoluções de outorgas federais de irrigação; e informações de projeto do perímetro, extraídos dos sites do DNOCS e da CODEVASF.

As áreas difusas, por sua vez, foram associadas aos mananciais utilizando-se as mesmas zonas de influência definidas para a população humana rural (vide item 5.4.2) e para os rebanhos animais (vide item 5.4.3). Sua identificação se deu a partir de: imagens de satélite avaliadas ao longo de vários anos; fichas dos reservatórios que foram objeto de levantamento de campo nos referidos estudos; mapas georreferenciados fornecidos pela ANA contendo áreas irrigadas; informações do IBGE; e Resoluções de outorgas federais de Irrigação.

Cumpre destacar que os estudos de ANA (2017b) tiveram como unidade básica os “corpos hídricos” (reservatórios modelados e seus trechos de jusante). Consequentemente, foram identificados exclusivamente os perímetros e áreas irrigadas difusas associadas a esses corpos hídricos de interesse, não sendo mapeadas outras áreas irrigadas eventualmente existentes nos municípios, que podem ser abastecidas por outros mananciais (superficiais ou subterrâneos) que não os modelados no estudo.

Tendo em vista essa condicionante, no presente estudo foram associados aos mananciais modelados percentuais das demandas de irrigação de cada município (estimadas no Capítulo 4), sendo que esses percentuais foram calculados, para cada município, a partir da proporção entre a demanda de irrigação calculada para o ano de 2015 em ANA (2017b) (que incorpora apenas as irrigações associadas aos corpos hídricos de interesse) e a demanda total do município calculada no presente estudo (que incorpora a irrigação total do município), na mesma data-base.

Uma vez identificado o percentual da demanda de irrigação total do município associada aos mananciais de interesse, sua distribuição entre esses mananciais se deu na mesma medida dos percentuais definidos nos estudos de ANA (2017b), calculados a partir das respectivas vazões de retirada para uso de irrigação.

O Quadro 5.5 ilustra a aplicação desses critérios, apresentando o resultado da alocação das demandas de irrigação do município de Caicó/RN aos mananciais modelados.

Quadro 5.5 – Alocação da demanda de irrigação do município de Caicó/RN (cód. IBGE 2402006 | Bacia do rio Piranhas-Açu) aos mananciais modelados

Etapa A - Cálculo do percentual das demandas de irrigação do município associado aos mananciais modelados		
Demanda de irrigação ano base 2015 ANA (2017b) (m^3/s) (1)	**Demanda de irrigação ano base 2015 Estudo atual (m^3/s) (2)**	**Proporção (3)**
0,387	0,604	64%

Notas:

(1) Incorpora apenas as irrigações associadas aos corpos hídricos de interesse.
(2) Incorpora a irrigação total do município.
(3) Proporção = (1) / (2) - Representa o percentual da demanda de irrigação total do município que está associada aos corpos hídricos de interesse, ou seja, o percentual da demanda de irrigação do município que irá integrar a modelagem de balanço hídrico do presente estudo.

Etapa B – Cálculo dos percentuais de distribuição entre os mananciais modelados					
Manancial (Corpo Hídrico)	**Código Corpo Hídrico (4)**	**Manancial Modelado**	**Demanda de irrigação ano base 2015 ANA (2017b) (m^3/s)**	**% de atendimento ANA (2017b)**	**% de atendimento Estudo atual (5)**
Res. Carnaúba	1478	sim	0,000	0,1%	0,1%
Trecho jusante Res. Carnaúba	1478J_C	sim	0,001	0,3%	0,2%
Res. Itans	1515	sim	0,082	21,2%	13,6%
Trecho jusante Res. Passagem das Traíras	1509J_C	sim	0,029	7,4%	4,7%
Trecho jusante Res. Sabugi e Carnaúba	1481J_ 1478J_C	sim	0,275	71,0%	45,4%
		TOTAL	0,387	100%	64%

Notas:

(4) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.
(5) Representa o percentual da demanda de irrigação total do município atendida pelo manancial.
(6) Estão identificados em hachura verde os mananciais modelados.

O mapa da Figura 5.6 apresenta o resultado da alocação das demandas de irrigação aos mananciais em estudo, destacando em hachura sólida colorida os municípios que tiveram demandas de irrigação total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados, e em hachura inclinada para a direita os municípios que tiveram demandas de irrigação total ou parcialmente alocadas aos mananciais receptores do PISF (25 reservatórios e respectivos trechos de jusante perenes).

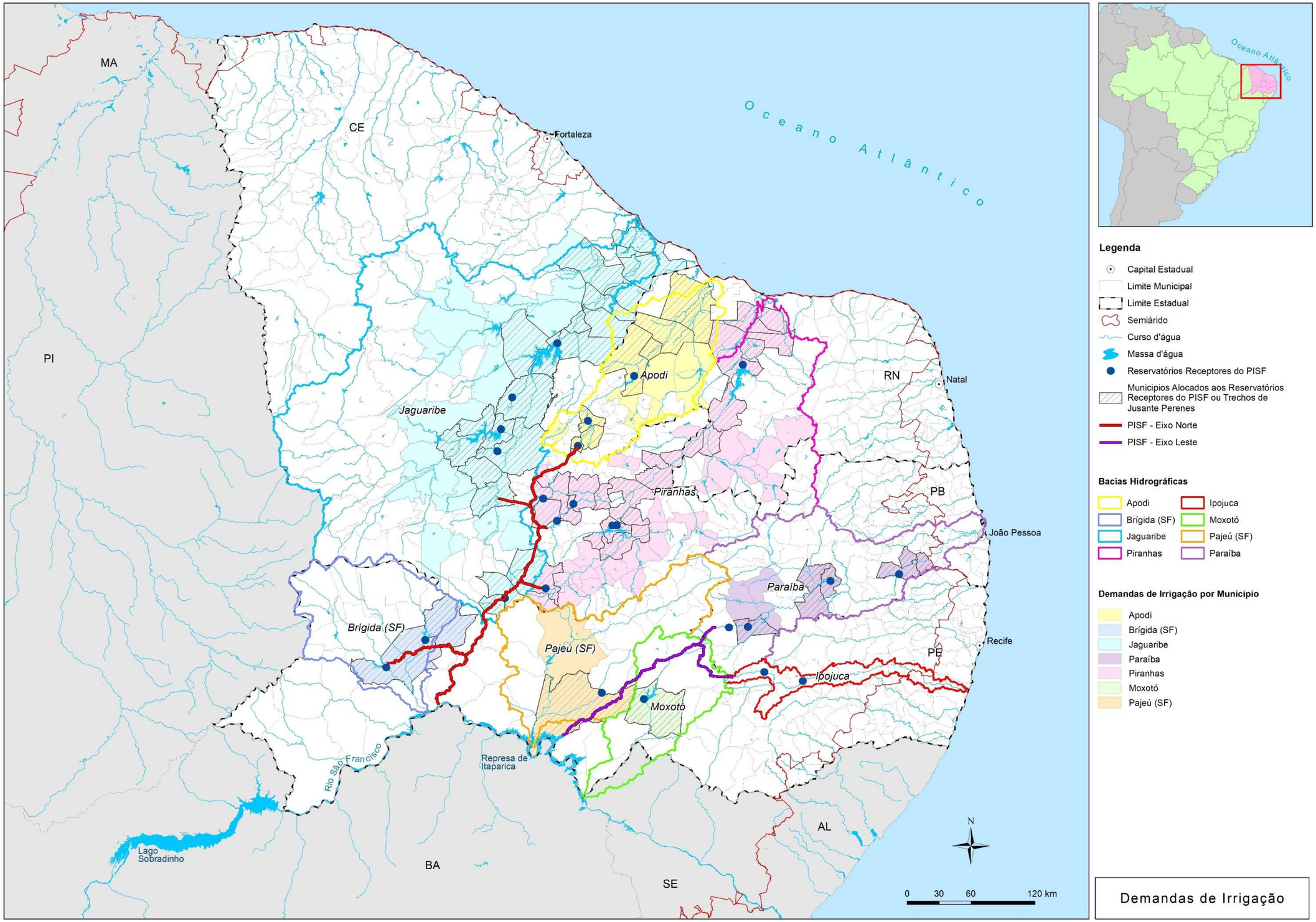


Figura 5.6 – Municípios com demandas de irrigação total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados

5.4.5 ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS INDUSTRIAIS

Nos estudos de ANA (2017b), as demandas para abastecimento industrial foram calculadas a partir do cômputo das vazões de outorgas emitidas para este fim e constantes dos bancos estaduais e federal coletados e utilizados pela ANA para elaboração do Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Foram igualmente computadas as vazões referentes aos usos para fins industriais cadastrados no CNARH.

Também foram utilizados dados levantados em campo, para o conjunto de reservatórios que foram objeto desses levantamentos. Nestes casos, prevaleceram as informações de campo em relação ao CNARH e aos bancos de outorga.

Raciocínio análogo ao delineado para alocação das demandas de irrigação (item 5.4.4) foi utilizado neste caso, uma vez que os estudos de ANA (2017b) tiveram como unidade básica os "corpos hídricos" (reservatórios modelados e seus trechos de jusante). Consequentemente, foram identificadas exclusivamente as demandas industriais associadas a esses corpos hídricos de interesse, não sendo mapeadas outras indústrias eventualmente existentes nos municípios, que podem ser abastecidas por outros mananciais (superficiais ou subterrâneos) que não os modelados no estudo.

Tendo em vista essa condicionante, no presente estudo foram associados aos mananciais modelados percentuais das demandas industriais de cada município (estimadas no Capítulo 4), sendo que esses percentuais foram calculados, para cada município, a partir da proporção entre a demanda industrial calculada para o ano de 2015 em ANA (2017b) (que incorpora apenas indústrias associadas aos corpos hídricos de interesse) e a demanda industrial total do município calculada no presente estudo (que incorpora todas as indústrias do município), na mesma data-base.

Uma vez identificado o percentual da demanda industrial total do município associada aos mananciais de interesse, sua distribuição entre esses mananciais se deu na mesma medida dos percentuais definidos nos estudos de ANA (2017b), calculados a partir das respectivas vazões de retirada para uso industrial.

O Quadro 5.6 ilustra a aplicação desses critérios, apresentando o resultado da alocação das demandas industriais do município de Parelhas/RN aos mananciais modelados.

Quadro 5.6 – Alocação da demanda industriais do município de Parelhas/RN (cód. IBGE 2408904 \| Bacia do rio Piranhas-Açu) aos mananciais modelados

Etapa A - Cálculo do percentual das demandas industriais do município associado aos mananciais modelados		
Demanda industrial ano base 2015 ANA (2017b) (m^3/s) (1)	**Demanda industrial ano base 2015 Estudo atual (m^3/s) (2)**	**Proporção (3)**
0,0021	0,0041	52%

Notas:

(1) Incorpora apenas as demandas industriais associadas aos corpos hídricos de interesse.
(2) Incorpora a demanda industrial total do município.
(3) Proporção = (1) / (2) - Representa o percentual da demanda industrial total do município que está associada aos corpos hídricos de interesse, ou seja, o percentual da demanda industrial do município que irá integrar a modelagem de balanço hídrico do presente estudo.

Etapa B – Cálculo dos percentuais de distribuição entre os mananciais modelados

Manancial (Corpo Hídrico)	Código Corpo Hídrico (4)	Manancial Modelado	Demanda industrial ano base 2015 ANA (2017b) (m^3/s)	% de atendimento ANA (2017b)	% de atendimento Estudo atual (5)
Boqueirão de Parelhas	1445	sim	0,0018	87%	45%
Caldeirão de Parelhas	1446	sim	0,0003	13%	7%
		TOTAL	0,0021	100%	52%

Notas:

(4) Código do espelho d'água obtido da base de reservatórios oficial da ANA.

(5) Representa o percentual da demanda industrial total do município atendida pelo manancial.

(6) Estão identificados em hachura verde os mananciais modelados.

O mapa da Figura 5.7 apresenta o resultado da alocação das demandas industriais aos mananciais em estudo, destacando em hachura sólida colorida os municípios que tiveram demandas industriais total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados, e em hachura inclinada para a direita os municípios que tiveram demandas industriais total ou parcialmente alocadas aos mananciais receptores do PISF (25 reservatórios e respectivos trechos de jusante perenes).

Nota-se que são poucos os municípios que têm demandas industriais associadas aos mananciais modelados. As demandas hoje existentes para atendimento da atividade industrial têm a característica de se desenvolverem com autoabastecimento através de sistemas próprios de suprimento (poços e pequenos reservatórios privados). Funcionam, dessa forma, independentes da oferta dos grandes mananciais de água. Ademais, sabe-se que uma parcela significativa das indústrias existentes na região semiárida encontra-se localizada próxima aos centros urbanos e, deste modo, utiliza água fornecida pelas Companhias de Abastecimento (concessionárias). Nestes casos, a demanda industrial está incluída nos valores de consumo per capita de captação para abastecimento urbano.

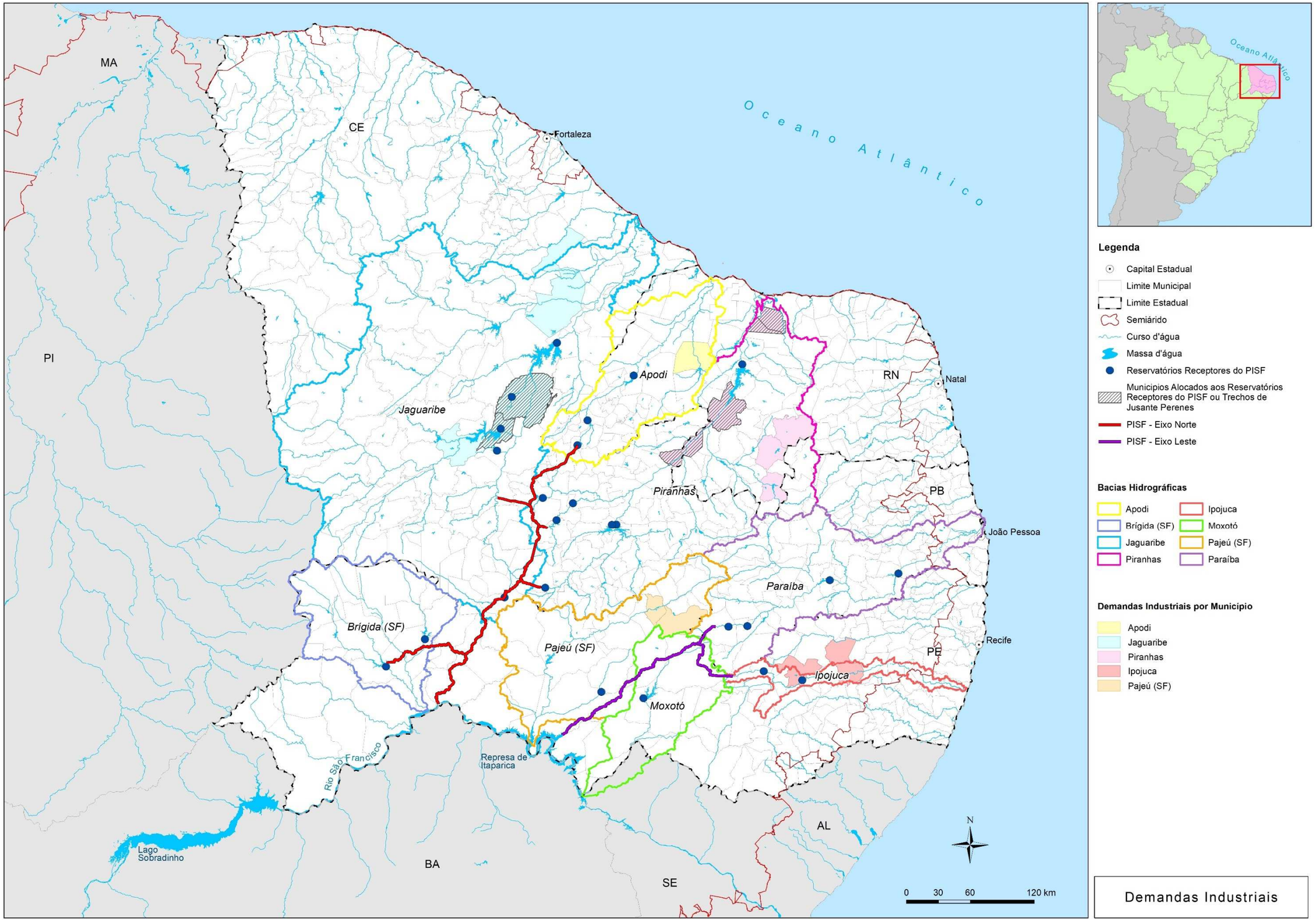


Figura 5.7 – Municípios com demandas industriais total ou parcialmente alocadas aos mananciais modelados

5.5 DEMAIS CRITÉRIOS E PREMISSAS ADOTADOS PARA AS SIMULAÇÕES

5.5.1 PERDAS FÍSICAS NOS TRECHOS DE JUSANTE

É de conhecimento geral que perdas em trânsito dependem de diversos fatores, dentre eles, parâmetros pedológicos, geológicos, climatológicos e hidráulicos que influenciam as perdas de água em seu trajeto.

Os valores de perdas em trânsito considerados neste estudo paras simulações de balanço hídrico foram calculados conforme descrito no estudo "*Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação*" (ANA, 2017b), mediante a formulação apresentada na equação abaixo:

$$Q_f = Q_0 e^{-px} \quad \textbf{(XVI)}$$

Onde:

- Q_f= Vazão no final do trecho (m³/s);
- Q_0= Vazão no início do trecho (m³/s);
- p= Coeficiente de perda ao longo do trecho (km^{-1});
- x= Extensão do trecho de rio modelado, localizado entre dois reservatórios (km).

Os coeficientes de perda são inseridos no modelo de cálculo do balanço hídrico como um percentual da vazão em trânsito, o qual pode ser obtido diretamente da equação acima, como demonstrado a seguir:

$$CP = 1 - \left({Q_f}/{Q_0}\right) = 1 - e^{-px} \quad \textbf{(XVII)}$$

Onde CP é o coeficiente de perda (%) a ser inserido no modelo.

Os valores adotados para o coeficiente de perda "p" são os seguintes (ANA, 2017b):

- Cursos d'água em substrato cristalino e trechos de rios perenes/perenizados em substrato sedimentar: 0,6% km^{-1} [14];
- Cursos d'água intermitentes sobre substrato sedimentar: 2,3% km^{-1} [15].

Com base nesses coeficientes e na extensão dos trechos de rios, foram calculados os percentuais de perda por trecho de rio modelado. Quando o trecho modelado se situava em mais de um tipo de substrato, foi calculado um coeficiente de perdas médio do trecho, ponderado pela extensão dos segmentos do trecho localizados em cada substrato.

[14] Valor originalmente proposto em: Ministério da Integração Nacional – MI, Fundação de Ciências, Aplicações e Tecnologias Espaciais – FUNCATE, VBA Consultores, Avaliação das Perdas e Recarga dos Aquíferos – Tomo Único, março de 2000.

[15] Valor originalmente proposto em: SRH, FUNCEME, PROURB-RH – Avaliação de Perdas de Água em Trânsito em Rios Perenizados do Semiárido – Relatório Final – Volume 1, maio de 2002.

5.5.2 PRIORIDADES DE ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS

A priorização do uso da água está definida em lei. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.4333/1997) determina, em seus fundamentos, que em situações de escassez o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, sendo os demais usos atendidos conforme a disponibilidade hídrica após esses usos prioritários. No estudo aqui apresentado, a lógica de aproveitamento da oferta hídrica local, bem como do fornecimento de água do PISF (tratado mais adiante no Capítulo 6), segue essa mesma premissa, tendo como foco prioritário o atendimento dos usos humano e animal.

À luz dessa premissa, a definição das prioridades de atendimento às demandas seguiu os esquemas da Figura 5.8 e da Figura 5.9, já definidos em ANA (2017b). Os diagramas simplificados apresentados nessas figuras contêm a identificação das prioridades entre os usos e os reservatórios. Cada triângulo azul representa um reservatório, do qual saem setas em direção a quadrados que representam as retiradas de vazões de demanda. O número à frente do texto explicativo do uso demandante corresponde ao índice de prioridade, em que quanto menor o índice maior sua prioridade. Nas figuras tem-se representados dois reservatórios em uma mesma bacia hidrográfica cuja drenagem ocorre da esquerda para a direita da figura. A sequência apresentada nas figuras se propaga para reservatórios a jusante, quando em série.

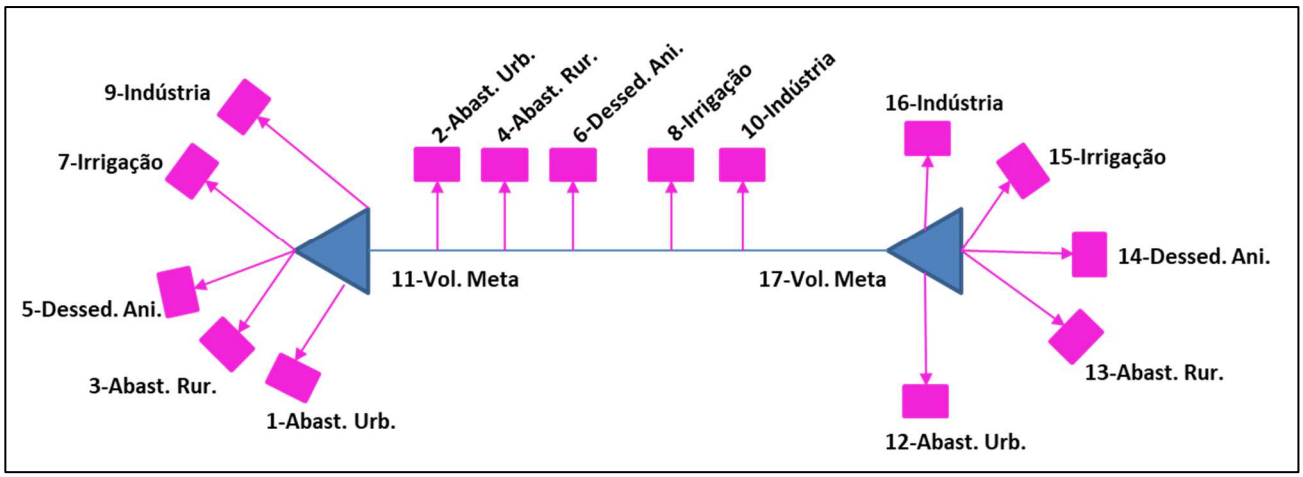


Figura 5.8 – Prioridades para Atendimento às Demandas dos Reservatórios e dos Trechos de Jusante Perenes. Fonte: ANA (2017b)

Para o caso de trechos a jusante dos reservatórios com regime de escoamento perene (Figura 5.8), foram adotados os seguintes critérios:

- Abastecimento Urbano atendido pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de abastecimento rural, dessedentação animal, irrigação e indústria (1 e 2, respectivamente);
- Abastecimento Rural atendido pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de dessedentação animal, irrigação e indústria (3 e 4, respectivamente);
- Dessedentação Animal atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de irrigação e indústria (5 e 6, respectivamente);
- Irrigação atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre a demanda de indústria (7 e 8, respectivamente);

- Indústria atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridades 9 e 10, respectivamente;
- Reservatório de Montante (prioridade 11) – manutenção de Volume Meta;
- Abastecimento Urbano atendido pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as outras demandas do reservatório (12);
- Abastecimento Rural atendido pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as demandas de dessedentação, irrigação e indústria (13);
- Dessedentação Animal atendida pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as demandas de irrigação e indústria (14);
- Irrigação atendida pelo reservatório de jusante: prioridade sobre a demanda de indústria (15);
- Indústria atendida pelo reservatório de jusante: prioridade 16;
- Reservatório de Jusante (prioridade 17) – manutenção de Volume Meta.

Observa-se que as demandas dos trechos de jusante dos reservatórios foram consideradas apenas ao longo dos trechos de cursos d'água perenes ou perenizados. Nos trechos de jusante intermitentes, não foram consideradas retiradas para atender demandas (Figura 5.9).

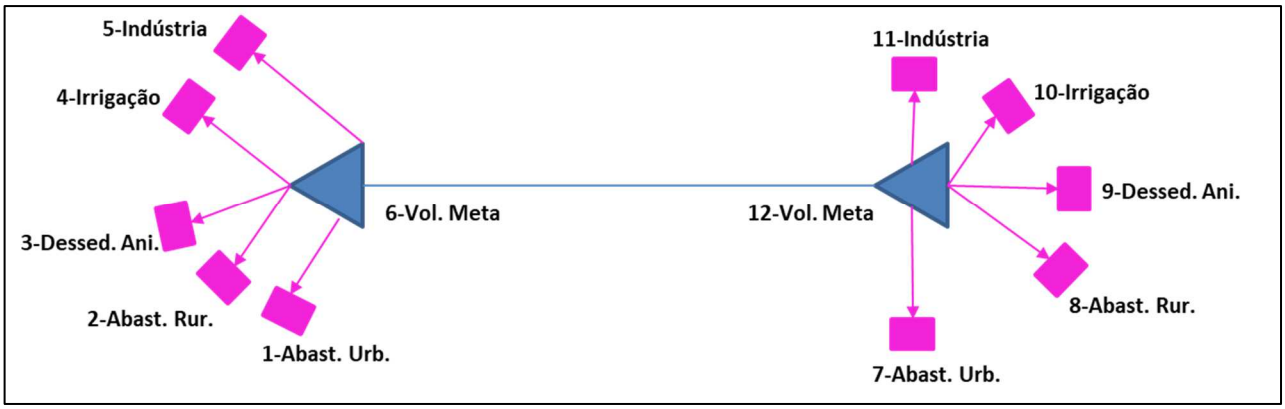


Figura 5.9 – Prioridades para Atendimento às Demandas dos Reservatórios e dos Trechos de Jusante Intermitentes. Fonte: ANA (2017b)

No modelo de simulação do balanço hídrico, a operação dos reservatórios é realizada a partir do conceito de volume meta (fração do volume máximo), ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório armazenará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume armazenado acima do nível meta é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades.

Para as simulações realizadas no presente estudo, a prioridade do volume meta foi definida com sendo menor que a das demandas a serem atendidas. Portanto, o reservatório, primeiramente, atenderá às demandas e, sequencialmente, verificará a possibilidade de armazenar água. E sempre que houver excesso hídrico, ele será totalmente armazenado, garantindo uma situação mais favorável aos períodos seguintes.

Para o presente estudo de diagnóstico, foi adotado como volume meta dos reservatórios o percentual de 30% de seu volume útil. Este índice significa que o reservatório deixará de atender às demandas de jusante caso seu volume útil estiver abaixo dos 30%, priorizando desta forma seu enchimento até atingir um volume

igual aos 30% do volume útil, voltando desta forma a liberar água para jusante. Vale destacar que, para as simulações da operação integrada das bacias receptoras com o Sistema PISF, objeto do Capítulo 6, este critério será revisto, visando prover um aproveitamento mais racional das águas locais disponíveis nos reservatórios receptores e das águas aduzidas pelo PISF.

Deste modo, como pode ser observado na Figura 5.8 e na Figura 5.9, as conexões entre os diversos subsistemas e entre os reservatórios existentes dentro de um mesmo subsistema ocorrem somente quando houver excedente hídrico localmente, já que os reservatórios abastecem prioritariamente as demandas associadas ao mesmo e ao seu trecho de jusante perene e, na sequência, priorizam o armazenamento de água até o volume meta.

Acrescenta-se que, para as simulações de balanço hídrico, adotou-se como critério de inicialização do modelo o volume inicial de cada reservatório igual ao seu volume meta.

5.6 SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EMPREGADO

A disponibilidade limitada de água no semiárido e a elevada demanda ocasionam conflitos pelos usos múltiplos dos recursos hídricos, que têm como vetores principais a existência de rios intermitentes, predominantes na região, a concentração de áreas irrigadas e os impactos da existência de inúmeros reservatórios sobre o escoamento dos rios. Dessa forma, faz-se indispensável dispor de uma ferramenta para simulação e otimização do balanço hídrico nos sistemas hídricos que englobam as bacias modeladas. Em síntese, tal ferramenta deve possibilitar:

- Efetuar o balanço hídrico dos reservatórios modelados, avaliando seu comportamento a partir de hidrologia conhecida, demandas quantificadas e estimadas, e regras definidas;
- Estimar garantias de atendimento às demandas e avaliar o comprometimento dos recursos hídricos, mediante simulação dos sistemas de reservatórios e baseando-se nos resultados do balanço hídrico;
- Simular a alocação de água a partir de situações de atendimento predefinidas, requisitos de prioridades e garantias mínimas a serem atendidas;
- Identificar as situações críticas e os potenciais benefícios advindos com a implantação do Sistema PISF.

Os objetivos visados, acima relacionados, remetem ao emprego de um Sistema de Suporte à Decisão (SSD). Por definição, Sistemas de Suporte à Decisão são sistemas computacionais constituídos por bases de dados e modelos matemáticos, que, interagindo entre si, mediante uma interface gráfica, têm por objetivo auxiliar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados). Problemas não estruturados são aqueles para os quais não existem soluções através de algoritmos bem definidos, e por isso não são facilmente tratáveis por computador. Em consequência, a solução desses problemas exige uma estreita interação entre homem e máquina, fato que constitui uma das principais características dos SSD.

A importância da implantação da ferramenta de suporte à decisão surge nos casos em que o estudo de balanço hídrico mostra que o sistema de reservatórios não atende às demandas a eles associadas. Dessa

forma, os resultados obtidos com a aplicação do SSD permitirão a análise e discussão de quais demandas devem ser atendidas em que situações de reserva hídrica nos reservatórios.

O conceito de suporte (ou apoio) é fundamental nas definições acima, ou seja, o computador deve ser colocado à disposição do tomador de decisões, para que ele possa dispor de informações, identificar e formular problemas, conceber e analisar alternativas e, finalmente, escolher o melhor curso de ação.

O planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos, devido às diversas variáveis envolvidas, são problemas complexos, que podem ser mais bem estruturados mediante o uso dessas ferramentas, propiciando tomadas de decisões mais rápidas e precisas.

A utilização desses algoritmos em um ambiente de "usuário amigável", isto é, com recursos gráficos que permitam a apresentação do problema e dos resultados de forma organizada e clara através de tabelas e gráficos, e cuja utilização seja intuitiva e de fácil acesso, permite, por meio da análise de diversos cenários de ação, um melhor entendimento da complexa inter-relação dos inúmeros aspectos do sistema.

De forma geral, integram a base de dados do SSD todas as informações consolidadas no presente Tomo II e, fundamentalmente, aquelas informações que, ao comporem as alternativas de atendimento, melhor expressem as possibilidades de usos diferenciados:

- Hidrometeorologia: informações hidrometereológicas que resultam na definição da disponibilidade hídrica das bacias modeladas;
- Usos da água e demandas associadas;
- Reservatórios: características físicas e regras operacionais;
- Outras obras hidráulicas: características físicas das obras, capacidades, regras de operação, vazões máximas admissíveis ao longo dos cursos d'água etc.;
- Topologia: principais cursos da rede hidrográfica, principais obras hidráulicas, pontos de demanda e relações físicas e funcionais que interligam esses elementos.

É essencial que os dados possam ser facilmente modificados (editados) no SSD para permitir a entrada de novas demandas, a alteração de vazões captadas, a consideração de novas obras ou mudança das regras de operação das existentes.

Diante dessas considerações, o Sistema de Suporte à Decisão escolhido para o presente estudo foi o AcquaNet, modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O AcquaNet corresponde à versão brasileira do MODSIM, modelo genérico de sistemas de reservatórios e rios desenvolvido pelo *Colorado State University* que permite a otimização e simulação utilizando algoritmos de rede de fluxos.

O AcquaNet é um *software* de utilização livre, de fácil operacionalização e já amplamente aplicado em outros estudos da ANA realizados para o semiárido brasileiro, dos quais destacamos o projeto "Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação", desenvolvido para a Agência Nacional de Águas (ANA) no período de 2014 a 2017. Outros pontos de destaque do AcquaNet são:

- Trata-se de um modelo de domínio público, podendo ser empregado sem quaisquer restrições. O modelo, em sua versão mais atual (LabSid AcquaNet 2013), pode ser obtido para download em https://labsid.poli.usp.br/softwares/labsid-acquanet-2013/;
- Em sua concepção, já inclui todos os módulos necessários à realização dos estudos ora realizados;
- O LabSid fez sua "tropicalização" estando, portanto, o modelo adequado às condições brasileiras;
- O modelo apresenta grande versatilidade na modificação da rede de fluxo, como por exemplo, a inclusão ou exclusão de novos elementos, o que possibilita a simulação de diversas situações de atendimento e a eventual atualização futura dos sistemas representados;
- Trata-se de uma ferramenta para a análise de cenários, os quais são facilmente criados a partir da modificação das prioridades das demandas ou mesmo dos valores das demandas e dos estados iniciais dos reservatórios.

O AcquaNet realiza o balanço hídrico a partir de escoamentos superficiais, ou seja, define os resultados da comparação das disponibilidades hídricas com as demandas hídricas em locais de interesse selecionados pelo usuário do modelo.

O modelo também é utilizado para suporte à decisão em sistemas de recursos hídricos, realizando a otimização da alocação de água na rede criada, tendo como base as prioridades de abastecimento predeterminadas pelo usuário. Sua utilização possibilita a representação de redes de fluxo complexas de maneira clara e de mais fácil interpretação, facilitando a análise de cenários. É constituído por um módulo base, responsável pelo traçado e pela integração entre os seguintes módulos secundários: alocação de água; qualidade da água; irrigação; produção de energia hidroelétrica e análise econômica na alocação.

A Figura 5.10 apresenta um esquema do AcquaNet e contém um resumo das funcionalidades de seus módulos de análise.

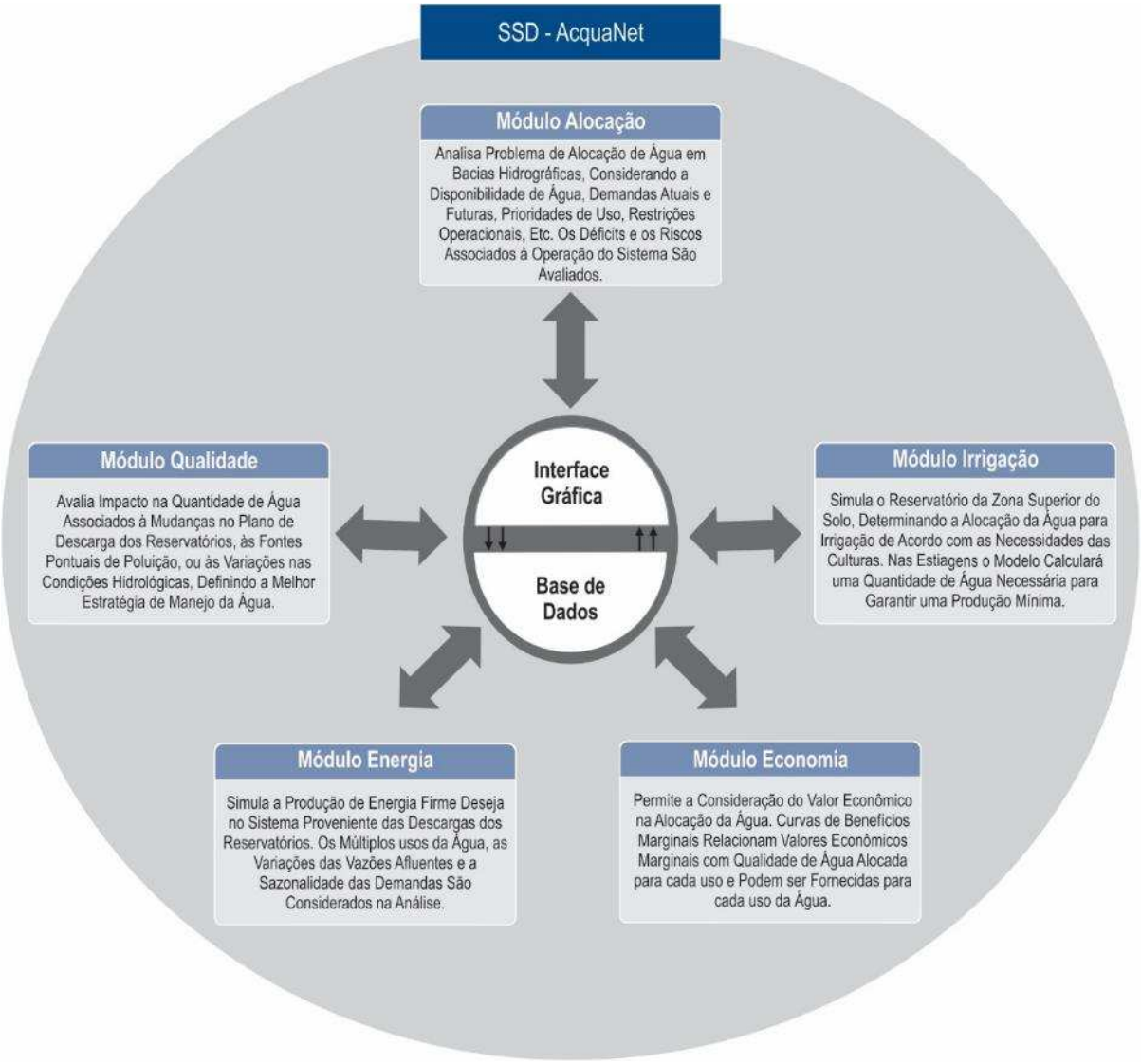


Figura 5.10 – Esquema do AcquaNet. Fonte: ANA (2017b)

Os módulos do AcquaNet utilizados no presente estudo são:

1- Módulo base: o programa permite representar um sistema de recursos hídricos por meio de uma rede composta por nós (reservatórios, demandas, importações e confluências) e arcos (trechos de rios, adutoras, canais naturais ou artificias e outros). Um arco é caracterizado por três parâmetros, a saber: os limites superior e inferior do fluxo que passa pelo arco e um "custo" por unidade de fluxo que transita pelo arco. Os nós são caracterizados pela estrutura que representam:

   - No caso de uma demanda, o nó é caracterizado pelas vazões de retirada, pela prioridade associada à demanda, a fração de lançamento de efluentes (retornos) e a vazão natural, caso ocorra entrada no mesmo nó;
   - No caso de um reservatório, o elemento é caracterizado pelos volumes máximos, mínimos, volumes iniciais, volume meta, curva cota-área-volume, prioridade do volume meta, a fração do volume máximo (porcentagem do volume), a vazão que contribui diretamente para o reservatório e as taxas de evaporação e de precipitação;
   - Há também nós que servem como ponto de confluência entre trechos e como ponto de entrada de retornos ou vazões oriundas de importação.

2- Módulo de Alocação de água: fornece subsídios para gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas. Pode, também, ser utilizado para avaliar compensações entre usos conflitantes durante períodos de disponibilidade deficiente de água. Além de ser um instrumento de gerenciamento, o módulo de alocação pode ser utilizado no planejamento e na análise do impacto de propostas alternativas para implantação de projetos de aproveitamento de recursos hídricos.

Uma vez definida a configuração do rio e inseridos os dados de entrada dos elementos, é definido se o tipo de simulação será do tipo Simulação Contínua ou Planejamento Tático.

Na Simulação Contínua o cálculo efetuado pelo AcquaNet é realizado de maneira sequencial no tempo, quer dizer, no primeiro mês, o modelo parte com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos pelo usuário e efetua os cálculos para este mês. No segundo mês, parte-se com volumes iniciais iguais aos volumes finais do mês anterior e nos demais meses o procedimento é repetido (este é o tipo de simulação empregada no presente estudo).

No Planejamento Tático, o programa efetua os cálculos estatisticamente para o número de anos da simulação (NT) e para o número de anos do horizonte de simulação (NH), sendo esse último o número de anos que se pretende estudar o comportamento do sistema em análise. Quando o objetivo da simulação é a otimização, altera-se o tipo de simulação para Planejamento Tático e define-se o tipo de algoritmo de otimização a ser utilizado. O algoritmo de otimização utilizado com bastante frequência em modelos de rede de fluxo é o método Out-of-Kilter.

Segundo Azevedo *et al.* (1997, *apud* Leão *et al*., 2011), as funções mais importantes do AcquaNet são:

- O usuário poderá colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). O modelo atenderá a demanda de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99;
- A operação dos reservatórios é feita utilizando-se o conceito de volume meta;
- As perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo;
- O modelo pode gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas, podendo ser usado para avaliar compromissos entre usos conflitantes da água durante períodos de escassez hídrica.

Todas as ações realizadas pelo usuário são armazenadas no Banco de Dados no formato do Microsoft Access, tanto em um banco de dados temporário quanto em um definitivo. A utilização do banco de dados temporário permite o aumento do desempenho do modelo uma vez que as operações de entrada/edição de dados, leitura e salvamento lidam com um número relativo de pequenas variáveis.

5.7 TRAÇADO DA REDE DE FLUXO NO ACQUANET

Para o presente estudo, foram aproveitadas as redes de fluxo do AcquaNet construídas em ANA (2017b), no projeto “Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação”, alteradas tão somente quanto à atualização das séries de demandas hídricas.

Conforme citado anteriormente, o objetivo desta etapa é caracterizar o balanço hídrico local e identificar a presença de déficits no atendimento às demandas das bacias modeladas na situação atual, ou seja, ainda sem a implantação do Sistema PISF. Mais adiante, no Capítulo 6 deste Tomo II, o sistema de adução do PISF será inserido no modelo, considerando seus arranjos físicos e portais de entrega, possibilitando a avaliação do impacto que essa infraestrutura acarretará para a oferta hídrica e balanço hídrico local.

A configuração da bacia hidrográfica é representada no modelo AcquaNet como um conjunto de locais selecionados que representam os reservatórios, as demandas e os retornos/ lançamentos de efluentes, bem como trechos do rio com sua respectiva vazão incremental. Em cada um dos elementos, o modelo foi alimentado com as informações necessárias, apresentadas no item 5.3 deste Tomo II.

A Figura 5.11 ilustra a rede de fluxo da bacia do rio Paraíba, montada para realização do balanço hídrico com utilização do AcquaNet.

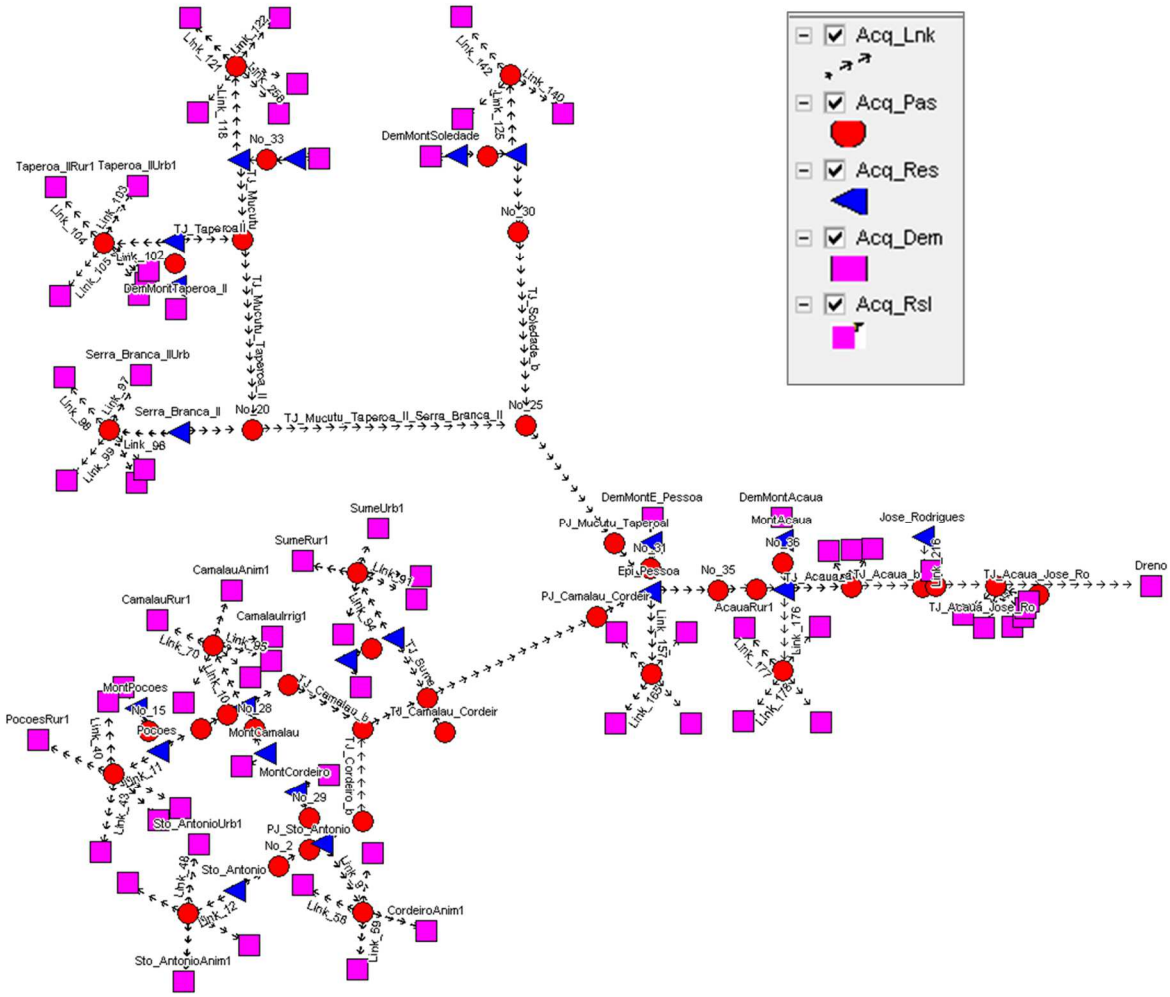


Figura 5.11 – Unifilar da Bacia do Rio Paraíba para Aplicação do AcquaNet

Uma vez construída a rede de fluxo no AcquaNet e os dados de entrada informados, inicia-se o balanço hídrico para verificar o comportamento dos reservatórios frente à série de vazões afluentes e às retiradas, bem como para identificar os déficits de atendimento às demandas estabelecidas.

5.8 SIMULAÇÕES REALIZADAS, RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

Neste item, apresentam-se as simulações realizadas e os principais resultados obtidos no cálculo do balanço hídrico de diagnóstico dos reservatórios situados nas bacias receptoras dos eixos Norte e Leste do PISF.

O balanço hídrico realizado nesta etapa do projeto teve como objetivo a identificação dos déficits hídricos atualmente existentes no atendimento às demandas associadas aos 138 reservatórios modelados (listados no Quadro 3.1) e respectivos trechos de rios de jusante perenes. Para tanto, foram considerados os critérios e premissas descritos nos itens anteriores, bem como os dados de entrada necessários às simulações no modelo AcquaNet.

Para realizar o balanço nesta etapa de diagnóstico, as oito bacias receptoras do PISF foram simuladas isoladamente, considerando a situação dos sistemas hídricos que poderão ser beneficiados com a entrada em operação dos eixos de adução do PISF e infraestruturas associadas. Desta forma, o déficit hídrico obtido pela simulação de diagnóstico não considera o potencial aporte hídrico advindo do Sistema PISF. Destaca-se que, para os estudos de prognóstico apresentados mais adiante no Capítulo 6, as simulações de balanço hídrico deverão considerar a operação integrada das bacias hidrográficas, agrupadas como “Eixo Leste” ou “Eixo Norte”.

Devido à longa duração do período de simulação, atrelado às longas séries de dados históricos de vazão afluente (100 anos para as bacias receptoras do Eixo Norte e 74 anos para as bacias receptoras do Eixo Leste), foi possível obter uma série suficientemente extensa capaz de caracterizar o comportamento do déficit hídrico em função de diversos períodos secos ocorridos no intervalo histórico estudado. Com isso, os resultados podem ser considerados bastante representativos quanto ao regime hídrico local, uma vez que os diversos períodos secos registrados conferem uma previsibilidade razoável de recorrência e amplitude desses eventos na região de interesse.

O Quadro 5.7 e o Quadro 5.9 apresentados a seguir trazem a compilação das demandas hídricas mensais do ano 2022 que foram carregadas no modelo AcquaNet, de forma agregada por bacia receptora e por Eixo do PISF. Na sequência de cada um desses quadros, apresentam-se os respectivos déficits hídricos mensais, resultantes das simulações de balanço hídrico de diagnóstico (Quadro 5.8 e Quadro 5.10). Tais déficits foram calculados desconsiderando-se os 10 anos iniciais da simulação (período de aquecimento do modelo), de modo a minimizar a influência dos volumes de partida dos reservatórios (adotados como igual aos respectivos volumes meta).

Na sequência dos quadros acima citados, apresentam-se, em formato gráfico (Figura 5.12 e Figura 5.13), o histórico das demandas e déficits mensais totais resultantes nas bacias receptoras dos eixos Norte e Leste do PISF ao longo de todo o período simulado, desconsiderando-se o período de aquecimento do modelo (10 anos iniciais da simulação).

Quadro 5.7 – Demandas hídricas mensais do ano 2022 alocadas aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Norte do PISF.

Demandas	Jan (m³/s)	Fev (m³/s)	Mar (m³/s)	Abr (m³/s)	Mai m³/s)	Jun m³/s)	Jul (m³/s)	Ago (m³/s)	Set (m³/s)	Out m³/s)	Nov (m³/s)	Dez (m³/s)
Bacia Apodi	**5,176**	**5,213**	**3,171**	**2,414**	**2,92**	**3,045**	**4,435**	**5,286**	**5,287**	**4,93**	**3,987**	**3,427**
Abastecimento Urbano	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895	0,895
Abastecimento Rural	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
Dessedentação Animal	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261
Irrigação	3,860	3,897	1,858	1,102	1,605	1,731	3,120	3,972	3,974	3,618	2,675	2,114
Industrial	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bacia Brígida	**0,413**	**0,415**	**0,415**	**0,413**	**0,413**	**0,413**	**0,414**	**0,416**	**0,416**	**0,415**	**0,413**	**0,413**
Abastecimento Urbano	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Abastecimento Rural	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
Dessedentação Animal	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232	0,232
Irrigação	-	0,002	0,002	-	-	-	0,001	0,003	0,003	0,002	-	-
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia Jaguaribe	**24,689**	**25,63**	**18,506**	**16,992**	**21,603**	**24,659**	**28,039**	**30,252**	**28,568**	**29,51**	**25,816**	**18,655**
Abastecimento Urbano	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199	12,199
Abastecimento Rural	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817	0,817
Dessedentação Animal	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435
Irrigação	9,978	10,979	4,008	2,501	6,892	9,702	12,952	14,861	13,195	14,017	10,556	3,927
Industrial	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Bacia Piranhas	**7,824**	**7,162**	**5,83**	**5,186**	**5,869**	**7,097**	**8,573**	**9,286**	**8,646**	**9,327**	**8,766**	**6,624**
Abastecimento Urbano	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122	2,122
Abastecimento Rural	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432
Dessedentação Animal	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Irrigação	4,110	3,534	2,251	1,578	2,200	3,479	4,942	5,623	4,883	5,446	4,944	2,995
Industrial	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Total Geral	**37,658**	**38,122**	**27,829**	**24,891**	**30,407**	**34,622**	**40,725**	**44,169**	**41,765**	**42,793**	**37,885**	**28,746**

Quadro 5.8 – Déficits hídricos mensais associados às demandas de 2022 nas bacias receptoras do Eixo Norte do PISF, sem considerar o Sistema PISF em funcionamento

Déficits	Jan (m³/s)	Fev (m³/s)	Mar (m³/s)	Abr (m³/s)	Mai m³/s)	Jun m³/s)	Jul (m³/s)	Ago (m³/s)	Set (m³/s)	Out m³/s)	Nov (m³/s)	Dez (m³/s)
Bacia Apodi	**1,381**	**1,206**	**0,219**	**0,035**	**0,072**	**0,104**	**0,274**	**0,45**	**0,598**	**0,683**	**0,713**	**0,801**
Abastecimento Urbano	0,162	0,117	0,02	0,017	0,015	0,022	0,035	0,044	0,065	0,075	0,096	0,133
Abastecimento Rural	0,048	0,033	0,007	0,002	0,002	0,005	0,007	0,01	0,014	0,017	0,024	0,04
Dessedentação Animal	0,059	0,044	0,01	0,003	0,003	0,007	0,011	0,014	0,019	0,024	0,034	0,052
Irrigação	1,112	1,012	0,182	0,013	0,052	0,07	0,221	0,382	0,5	0,567	0,559	0,576
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia Brígida	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Abastecimento Urbano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abastecimento Rural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dessedentação Animal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Irrigação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia Jaguaribe	**1,526**	**1,260**	**0,504**	**0,297**	**0,515**	**1,122**	**1,694**	**1,692**	**1,794**	**1,975**	**1,920**	**1,441**
Abastecimento Urbano	0,725	0,527	0,309	0,216	0,279	0,404	0,627	0,698	0,743	0,766	0,79	0,791
Abastecimento Rural	0,086	0,060	0,028	0,022	0,028	0,038	0,057	0,070	0,077	0,085	0,092	0,094
Dessedentação Animal	0,130	0,101	0,048	0,035	0,039	0,052	0,079	0,097	0,109	0,127	0,141	0,147
Irrigação	0,584	0,572	0,119	0,025	0,169	0,627	0,931	0,828	0,866	0,998	0,897	0,410
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia Piranhas	**0,584**	**0,357**	**0,196**	**0,126**	**0,114**	**0,162**	**0,176**	**0,245**	**0,33**	**0,424**	**0,479**	**0,565**
Abastecimento Urbano	0,181	0,127	0,05	0,043	0,05	0,06	0,074	0,096	0,125	0,15	0,175	0,187
Abastecimento Rural	0,061	0,042	0,015	0,009	0,01	0,012	0,015	0,021	0,03	0,037	0,046	0,061
Dessedentação Animal	0,134	0,102	0,044	0,03	0,031	0,035	0,041	0,047	0,063	0,079	0,096	0,128
Irrigação	0,208	0,086	0,087	0,044	0,023	0,055	0,046	0,081	0,112	0,158	0,162	0,189
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Geral	**3,494**	**2,826**	**0,919**	**0,457**	**0,701**	**1,387**	**2,145**	**2,39**	**2,719**	**3,08**	**3,108**	**2,804**

Quadro 5.9 – Demandas hídricas mensais do ano 2022 alocadas aos reservatórios das bacias receptoras do Eixo Leste do PISF

Demandas	Jan (m³/s)	Fev (m³/s)	Mar (m³/s)	Abr (m³/s)	Mai m³/s)	Jun m³/s)	Jul (m³/s)	Ago (m³/s)	Set (m³/s)	Out m³/s)	Nov (m³/s)	Dez (m³/s)
Bacia Ipojuca	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**	**1,059**
Abastecimento Urbano	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493	0,493
Abastecimento Rural	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193
Dessedentação Animal	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346
Irrigação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Bacia Moxotó	**0,653**	**0,6**	**0,508**	**0,578**	**0,633**	**0,631**	**0,509**	**0,6**	**0,667**	**0,726**	**0,742**	**0,525**
Abastecimento Urbano	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
Abastecimento Rural	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
Dessedentação Animal	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
Irrigação	0,343	0,29	0,198	0,268	0,323	0,321	0,199	0,29	0,357	0,416	0,432	0,215
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia Pajeú	**1,267**	**1,576**	**1,285**	**0,972**	**1,073**	**1,314**	**1,565**	**2,451**	**2,683**	**1,626**	**1,005**	**0,798**
Abastecimento Urbano	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233
Abastecimento Rural	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
Dessedentação Animal	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164	0,164
Irrigação	0,776	1,085	0,794	0,481	0,582	0,823	1,074	1,960	2,192	1,135	0,514	0,307
Industrial	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Bacia Paraíba	**2,213**	**2,239**	**2,238**	**2,246**	**2,219**	**2,177**	**2,161**	**2,261**	**2,349**	**2,432**	**2,386**	**2,275**
Abastecimento Urbano	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529	1,529
Abastecimento Rural	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307
Dessedentação Animal	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448
Irrigação	0,078	0,104	0,103	0,111	0,084	0,042	0,026	0,126	0,214	0,297	0,251	0,14
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Geral	**5,345**	**5,627**	**5,243**	**5,007**	**5,136**	**5,334**	**5,447**	**6,523**	**6,911**	**5,994**	**5,344**	**4,810**

Quadro 5.10 – Déficits hídricos mensais associados às demandas de 2022 nas bacias receptoras do Eixo Leste do PISF, sem considerar o Sistema PISF em funcionamento

Déficits	Jan (m³/s)	Fev (m³/s)	Mar (m³/s)	Abr (m³/s)	Mai m³/s)	Jun m³/s)	Jul (m³/s)	Ago (m³/s)	Set (m³/s)	Out m³/s)	Nov (m³/s)	Dez (m³/s)
Bacia Ipojuca	**0,469**	**0,471**	**0,278**	**0,123**	**0,118**	**0,052**	**0,025**	**0,054**	**0,165**	**0,240**	**0,239**	**0,315**
Abastecimento Urbano	0,148	0,139	0,067	0,019	0,030	0,006	0,005	0,013	0,054	0,091	0,090	0,110
Abastecimento Rural	0,091	0,097	0,061	0,022	0,023	0,007	0,004	0,010	0,034	0,049	0,047	0,063
Dessedentação Animal	0,220	0,225	0,143	0,078	0,061	0,034	0,013	0,027	0,072	0,093	0,093	0,133
Irrigação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial	0,010	0,010	0,007	0,004	0,004	0,005	0,003	0,004	0,005	0,007	0,009	0,009
Bacia Moxotó	**0,010**	**0,008**	**0,004**	**0,011**	**0,005**	**0,005**	**0,008**	**0,008**	**0,008**	**0,008**	**0,010**	**0,011**
Abastecimento Urbano	0,002	0,002	-	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
Abastecimento Rural	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Dessedentação Animal	0,006	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Irrigação	-	-	-	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacia Pajeú	**0,667**	**0,659**	**0,196**	**0,065**	**0,117**	**0,272**	**0,509**	**1,362**	**1,946**	**1,006**	**0,530**	**0,364**
Abastecimento Urbano	0,084	0,058	0,012	0,005	0,014	0,023	0,048	0,086	0,111	0,115	0,110	0,097
Abastecimento Rural	0,028	0,020	0,007	0,004	0,007	0,012	0,018	0,028	0,035	0,036	0,035	0,033
Dessedentação Animal	0,047	0,039	0,015	0,009	0,013	0,020	0,028	0,040	0,048	0,052	0,053	0,052
Irrigação	0,506	0,544	0,162	0,050	0,086	0,225	0,427	1,239	1,765	0,802	0,331	0,180
Industrial	0,001	0,001	0,001	-	-	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bacia Paraíba	**0,069**	**0,055**	**0,026**	**0,013**	**0,021**	**0,022**	**0,029**	**0,033**	**0,045**	**0,072**	**0,082**	**0,087**
Abastecimento Urbano	0,025	0,021	0,010	0,005	0,009	0,010	0,014	0,017	0,019	0,036	0,038	0,039
Abastecimento Rural	0,008	0,006	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009
Dessedentação Animal	0,036	0,028	0,014	0,007	0,010	0,010	0,013	0,014	0,020	0,027	0,033	0,037
Irrigação	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002	0,003	0,003	0,002
Industrial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Geral	**1,235**	**1,210**	**0,515**	**0,217**	**0,264**	**0,357**	**0,575**	**1,465**	**2,186**	**1,346**	**0,880**	**0,795**

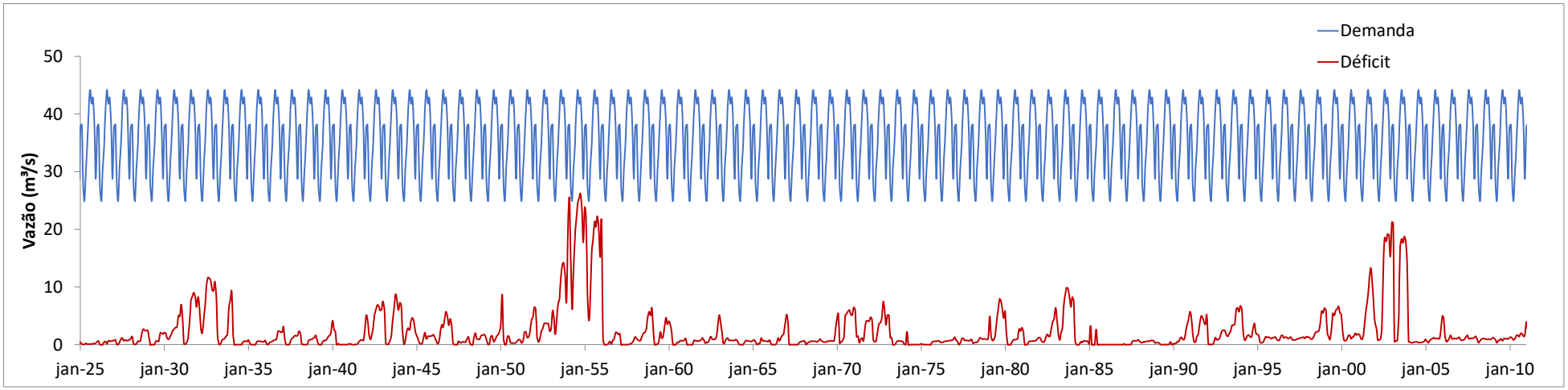


Figura 5.12 – Demandas totais 2022 e déficits hídricos mensais nas bacias receptoras do Eixo Norte do PISF, sem considerar o Sistema PISF em funcionamento

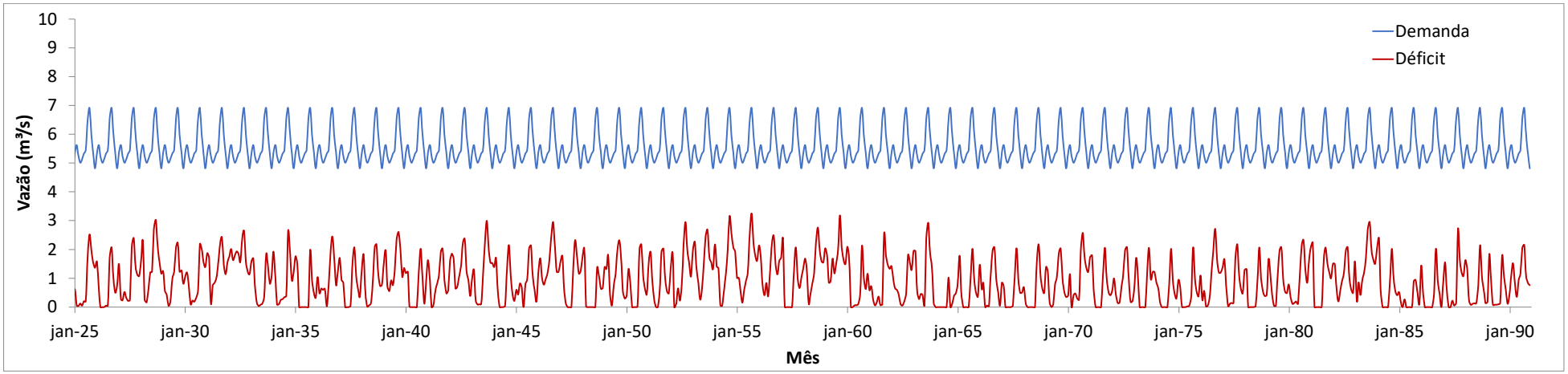


Figura 5.13 – Demandas totais 2022 e déficits hídricos mensais nas bacias receptoras do Eixo Leste do PISF, sem considerar o Sistema PISF em funcionamento

Os valores dos déficits hídricos resultantes são também representados, na sequência, através das respectivas curvas de permanência, de forma agregada por bacia receptora e por eixo do PISF. A curva de permanência é uma forma de expressão da frequência de ocorrência no tempo de determinadas vazões (ou, no caso, dos déficits hídricos), tendo sido escolhida para esta análise em função da adequada representatividade dos períodos de estiagem (Cabral & Tucci, 2008).

A curva de permanência relaciona os déficits hídricos e a porcentagem do tempo em que determinado valor de déficit é igualado ou excedido sobre todo o período histórico utilizado para sua construção, podendo ser interpretada como a probabilidade de ocorrência dos déficits em um horizonte de planejamento.

As curvas de permanência ora apresentadas foram construídas desconsiderando-se do período histórico simulado[16] os 10 anos iniciais da simulação, de modo a minimizar a influência dos volumes de partida dos reservatórios, adotados como iguais aos respectivos volumes meta.

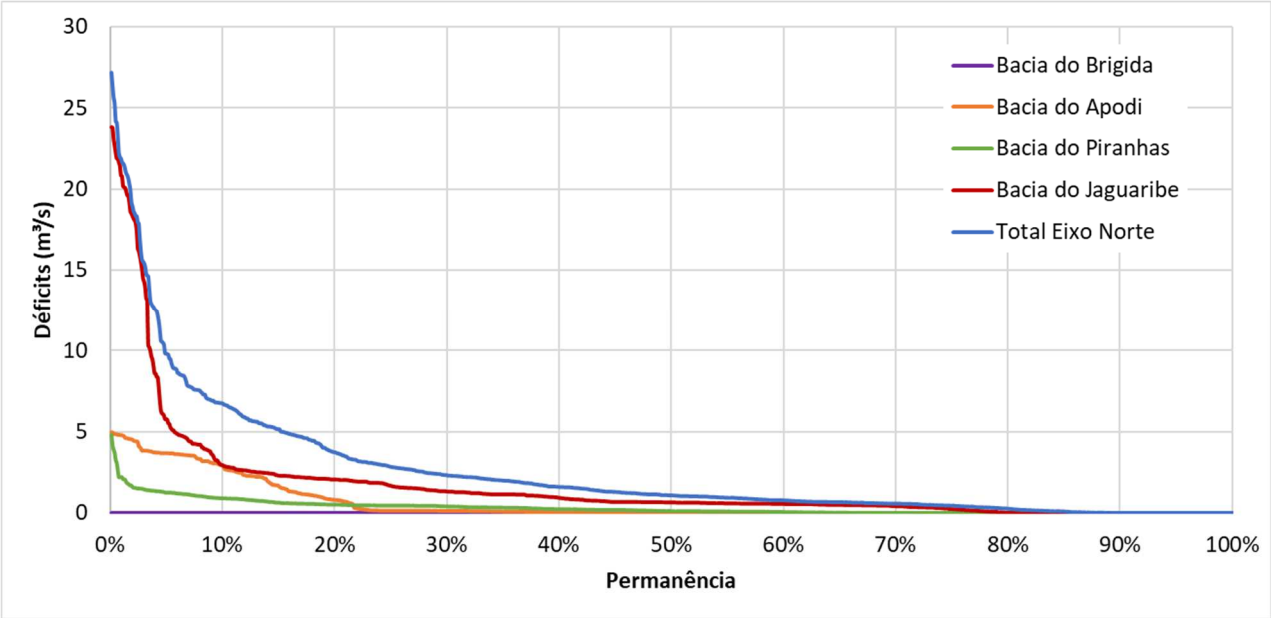


Figura 5.14 – Curva de permanência dos déficits hídricos associados às demandas totais de 2022 em cada bacia receptora do Eixo Norte, sem considerar o PISF em funcionamento

[16] Janeiro/1913 a dezembro/2012 para as bacias receptoras do Eixo Norte e janeiro/1917 a dezembro/1990 para as bacias receptoras do Eixo Leste.

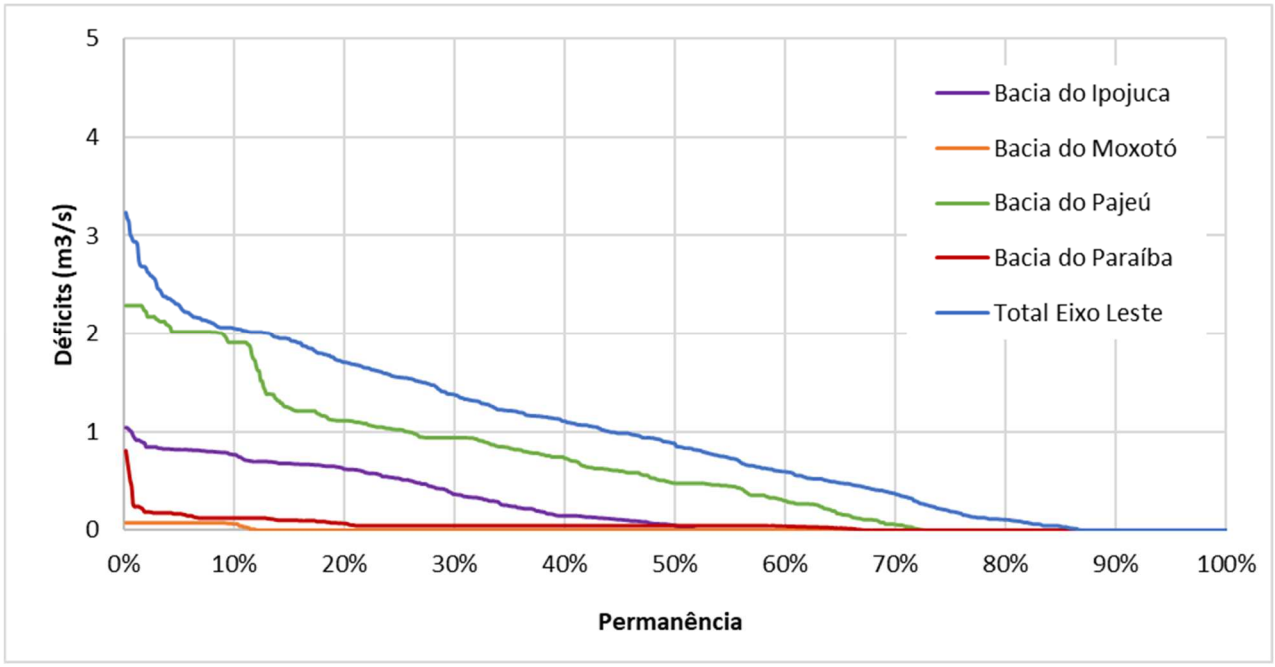


Figura 5.15 – Curva de permanência dos déficits hídricos associados às demandas totais de 2022 em cada bacia receptora do Eixo Leste, sem considerar o PISF em funcionamento

Por fim, foram simulados os balanços hídricos considerando as demandas futuras dos anos de 2040 e 2060 (horizonte final de plano), mantendo-se todos os demais dados de entrada do modelo, critérios e premissas antes expostos, inclusive a condição de implantação/operação das infraestruturas hídricas - portanto sem considerar o Sistema PISF e demais obras associadas em funcionamento.

Essas simulações têm por objetivo avaliar as condições de atendimento às demandas futuras considerando apenas a oferta hídrica local das bacias receptoras, sem nenhum aporte externo adicional, e sem alteração na infraestrutura já existente de distribuição dessa oferta local aos centros de consumo.

Os valores dos déficits hídricos resultantes são representados na sequência, através das curvas de permanência, agregados por eixo do PISF, para os anos simulados. Destaca-se que os valores dos déficits aqui apresentados na forma de curvas de permanência não representam os valores de vazões a serem aduzidas nas estações de bombeamento do Sistema PISF. Essas vazões serão superiores aos déficits a serem atendidos, uma vez que deverão incorporar as perdas hídricas ao longo do sistema natural (perdas por evaporação nos reservatórios das bacias receptoras e perdas nos trechos fluviais), bem como as perdas hídricas ao longo do próprio Sistema PISF (perdas nos sistemas construídos – reservatórios e canais). Esses cálculos, suas premissas, desenvolvimento e resultados serão detalhados mais adiante, no Capítulo 6.

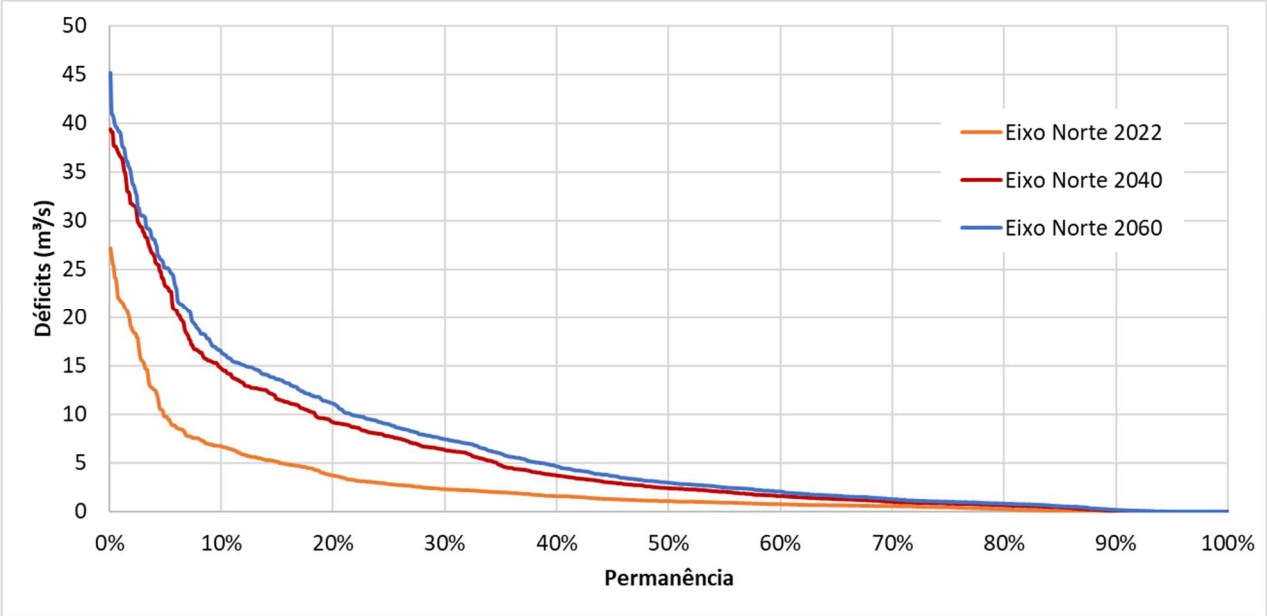


Figura 5.16 – Curva de permanência dos déficits hídricos associados às demandas totais de 2022, 2040 e 2060 nas bacias receptoras do Eixo Norte, sem considerar o Sistema PISF em funcionamento

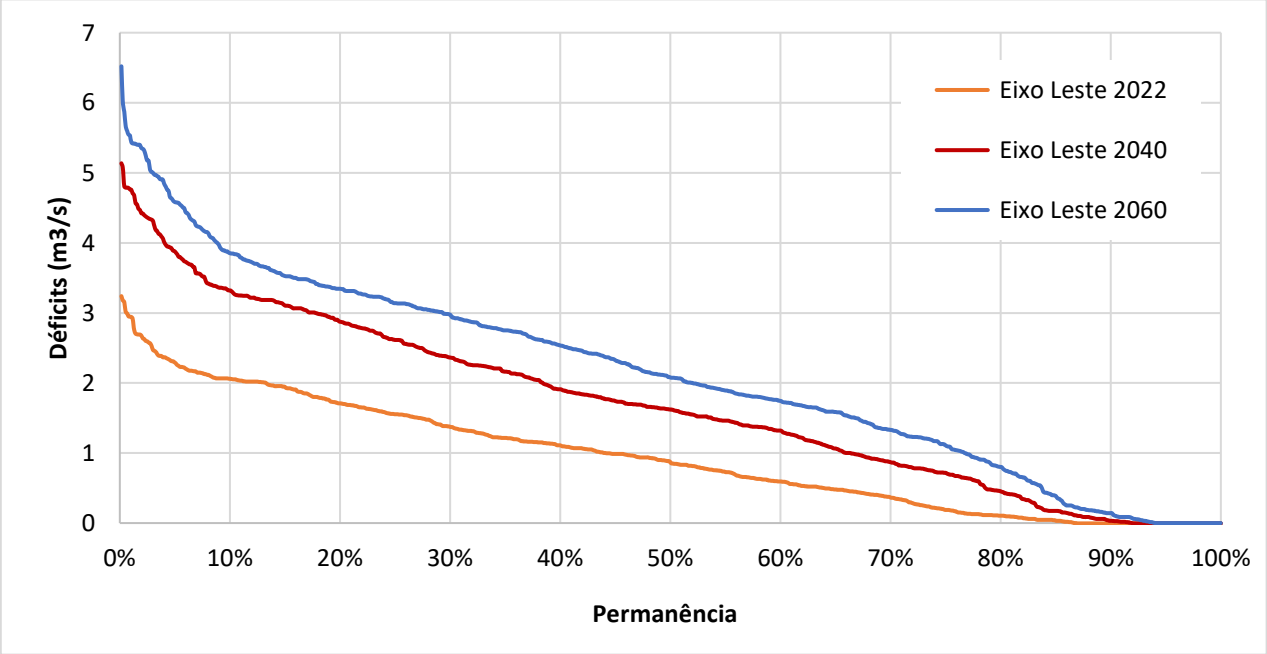


Figura 5.17 – Curva de permanência dos déficits hídricos associados às demandas totais de 2022, 2040 e 2060 nas bacias receptoras do Eixo Leste, sem considerar o Sistema PISF em funcionamento

6. PROGNÓSTICO DO BALANÇO HÍDRICO E PROJEÇÃO DAS VAZÕES BOMBEADAS NO SISTEMA PISF

Este Capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia, os cálculos realizados, suas premissas, desenvolvimento e resultados obtidos na modelagem da operação integrada do Sistema PISF e suas bacias receptoras, de modo a permitir o cálculo das vazões a serem aduzidas nas estações de bombeamento do PISF (ou seja, das vazões a serem bombeadas pelo Sistema) visando ao atendimento dos déficits hídricos, atuais e futuros, associados aos sistemas hídricos que poderão ser beneficiados com a entrada em operação dos eixos de adução do PISF e demais infraestruturas associadas.

Como se detalhará ao longo do Capítulo, a metodologia adotada para essas avaliações baseia-se no confronto entre a oferta hídrica endógena das bacias receptoras adicionada à oferta garantida pelo Sistema PISF e as demandas hídricas estimadas para cada uso da água ao longo do horizonte de planejamento (considerando o período estabelecido, de 2026 a 2060), caracterizando o balanço hídrico futuro das bacias receptoras integrado à operação dos eixos de adução do PISF.

6.1 METODOLOGIA PARA MODELAGEM E PROJEÇÃO DAS VAZÕES BOMBEADAS NO SISTEMA

Nesta etapa dos trabalhos, empregaram-se a mesma metodologia, variáveis e critérios gerais de balanço hídrico adotados na etapa de diagnóstico e apresentados no Capítulo 5 deste Tomo II, com as devidas adaptações e inserção de critérios específicos visando representar a integração das bacias receptoras ao Sistema PISF, conforme será detalhado ao longo dos itens seguintes.

O Sistema de Suporte à Decisão empregado para a modelagem do balanço hídrico foi o AcquaNet, modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, descrito anteriormente no item 5.6. Foi utilizada a técnica de simulação do tipo Simulação Contínua, na qual os cálculos são realizados pelo modelo de maneira sequencial no tempo, com discretização mensal.

6.2 ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

A estratégia de modelagem do balanço hídrico nesta etapa dos trabalhos, que visa à representação da operação integrada do Sistema PISF e suas bacias receptoras, foi traçada à luz dos limites de responsabilidade de cada ente - Federal e Estaduais - na operação e gestão dos recursos hídricos do PISF e das bacias receptoras.

Conforme estabelecido pela Resolução ANA nº 168, de 28 de novembro de 2023, os pontos de entrega das águas do PISF correspondem ao limite físico da responsabilidade da Operadora Federal na prestação do serviço de adução de água bruta do PISF para cada Operadora Estadual. Deste modo, cabe à Operadora Federal garantir a adução de água até os portais de entrega localizados ao longo do Sistema PISF e em suas extremidades, a partir de onde a responsabilidade de adução e distribuição da água transposta é transferida aos Estados receptores.

Às Operadoras Estaduais cabe analisar as demandas hídricas de cada bacia ou sistema hidrológico do seu estado, as reservas reais existentes e as previsões de oferta natural, devendo também ser consideradas as

perdas relativas à infraestrutura e corpos hídricos sob responsabilidade de cada ente federativo. O balanço hídrico, à luz das estratégias próprias de cada Estado, indicará os aportes desejáveis em cada portal do PISF, para o atendimento de suas necessidades, cujos pedidos são formalizados à Operadora Federal via Plano Operativo Anual (POA), cuja responsabilidade de elaboração é de cada uma das Operadoras Estaduais.

Cabe, por fim, à Operadora Federal elaborar, anualmente, a partir dos POAs estaduais, o Plano de Gestão Anual (PGA) do PISF, documento que contém a programação de bombeamento e fornecimento de água bruta nos Pontos de Entrega do Sistema, bem como demais elementos previstos em normativos vigentes, e em atendimento à outorga de direito de uso de recursos hídricos. O PGA é instrumento específico de ajuste contratual envolvendo a Operadora Federal, as Operadoras Estaduais, os Estados beneficiados e o MIDR.

Deste modo, para a modelagem de balanço hídrico considerando o Sistema PISF em operação, inicialmente modelaram-se as bacias receptoras através de redes de fluxo específicas de cada bacia, tal qual realizado na etapa de diagnóstico (vide Capítulo 5), caracterizando a esfera estadual de operação.

Para tanto, partiu-se das redes de fluxo já construídas para as simulações de diagnóstico, acrescendo-se nós de reservatório representativos dos portais de entrega do PISF, pelos quais as vazões aduzidas[17] pelo Sistema são distribuídas às bacias receptoras. Os portais de entrega do PISF foram estabelecidos pela Resolução ANA nº 1.133/2016 e são listados no Quadro 6-1 e no Quadro 6-2.

[17] Vazões transportadas pelo Sistema PISF desde o ponto de captação até os portais de entrega.

Quadro 6-1 - Potenciais portais ou pontos de entrega do Eixo Norte do PISF

Código	*UF*	*Local*	*Derivação*	*Vazão máxima (m³/s)*
PE01N	PE	Reservatório Tucutu	Riacho Tucutu	2
PE02N	PE	Reservatório Terra Nova	Riacho Terra Nova	2
PE03N	PE	Reservatório Serra do Livramento	Riacho Terra Nova (Açude Nilo Coelho)	2
PE04N	PE	Reservatório Mangueira	Ramal do Entremontes	10
PE05N	PE	Reservatório Mangueira	Riacho Salgueiro	2
PE06N	PE	Reservatório Negreiros	Riacho Salgueiro	2
PE07N	PE	Reservatório Milagres	Riacho dos Milagres	2
CE01N (1)	CE	Reservatório Jati	Cinturão das Águas do Ceará	30
CE02N	CE	Reservatório de Porcos	Riacho dos Porcos e Rio Salgado	7,3
Piancó (2)	PB	Entre aqueduto do Boi e Catinguera	Ramal do Piancó	2 (1ª etapa) 4 (2ª etapa)
PB01N	PB	Reservatório Morros	Açude Engenheiro Ávidos	5
PB02N	PB	Reservatório Boa Vista	Açude Engenheiro Ávidos	2
CE03N	CE	Reservatório Boa Vista	Riacho Cuncas e Rio Salgado	3
PB03N	PB	Reservatório Caiçara	Riacho Terra Molhada e Rio Piranhas	2
PB04N	PB	Canal Caiçara/Ávidos	Rio Piranhas	53,5
CE04N	CE	Ramal do Apodi	Ramal do Salgado	20
RN01N (3)	RN	Ramal do Apodi	Reservatório Angicos	20

Notas:

(1) A vazão máxima no portal CE01N considerada para fins de modelagem foi de 10 m³/s, correspondente à 1ª etapa de implantação do Trecho I do CAC - Cinturão das Águas do Ceará;

(2) A vazão máxima no Ramal do Piancó considerada para fins de modelagem foi de 2 m³/s a partir de 2027, correspondente à entrada em operação da 1ª etapa de implantação das obras do ramal;

(3) No Ramal do Apodi há previsão de saída de água no reservatório Tambor com capacidade de entrega de 0,44 m³/s ao rio do Peixe, a montante do açude Lagoa do Arroz.

Quadro 6-2 - Potenciais portais ou pontos de entrega do Eixo Leste do PISF

Código	*UF*	*Local*	*Derivação*	*Vazão máxima (m³/s)*
PE01L	PE	Reservatório Areias	Riacho Poço do Sol	2
PE02L	PE	Reservatório Braúnas	Riacho do Poço	2
PE03L	PE	Reservatório Mandantes	Riacho dos Mandantes	2
PE04L	PE	Reservatório Salgueiro	Riacho do Salgueiro	2
PE05L	PE	Reservatório Muquém	Açude Barra do Juá	10
PE06L	PE	Reservatório Cacimba Nova	Riacho da Maravilha	2
PE07L	PE	Reservatório Bagres	Rio Moxotó	2
PE08L	PE	Reservatório Copiti	Açude Poço da Cruz	18
PE09L	PE	Reservatório Moxotó	Rio Moxotó	2
PE10L	PE	Reservatório Barreiro	Riacho Barreiro	2
PE11L	PE	Reservatório Campos	Rio Moxotó	2
PE12L	PE	Reservatório Barro Branco	Rio Moxotó	2
PE13L	PE	Reservatório Barro Branco	Ramal do Agreste	8
PB01L	PB	Galeria Monteiro	Rio Paraíba	18

Como pressuposto básico, admitiu-se que os Estados receptores encomendarão, nos portais de entrega do PISF, os volumes de água (ou vazões) necessários para suprimento dos déficits hídricos[18] associados às demandas, prioritárias[19] ou totais[20], das bacias receptoras (ou seja, da parcela das demandas não atendida pela oferta hídrica endógena) e para manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores, devidamente acrescidos das perdas ao longo do sistema natural (perdas por evaporação nos reservatórios receptores e perdas em trânsito nos leitos naturais) por onde escoam as águas do PISF bacia adentro.

Desta forma, como resultado das simulações de balanço hídrico das bacias receptoras, podem ser obtidas as vazões necessárias em cada portal do PISF para atendimento a esse pressuposto, as quais são ilustradas na Figura 6.1 para a bacia do rio Paraíba e seu portal de entrega PB01L (Monteiro).

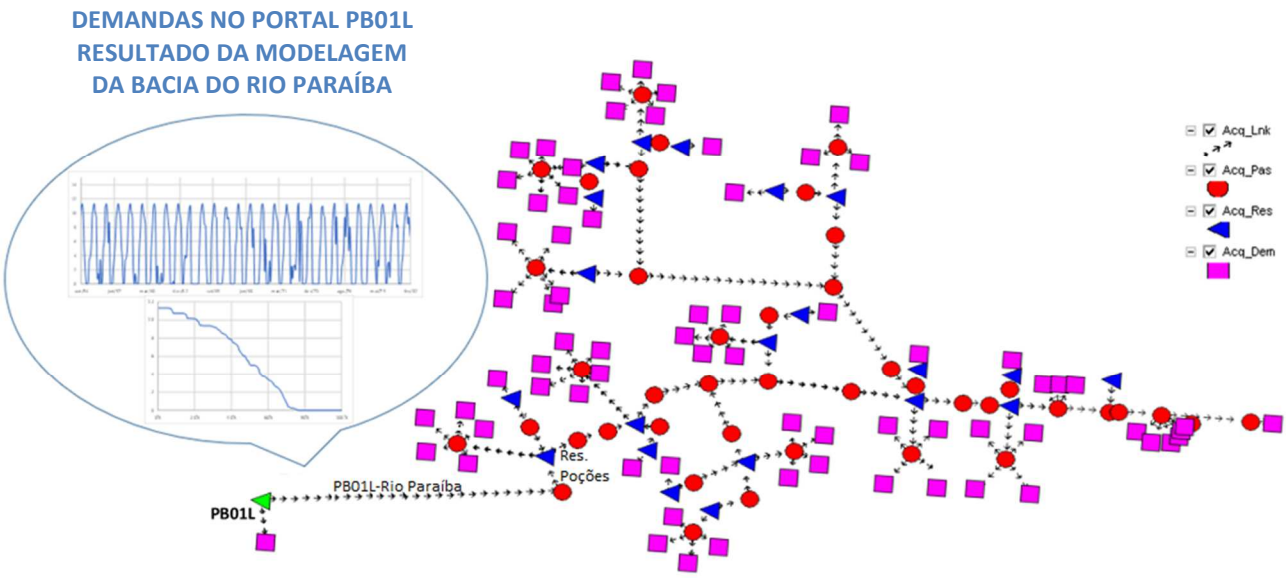


Figura 6.1 – Rede de fluxo da bacia do rio Paraíba[21] com a representação do portal PB01L (oferta hídrica adicionada à bacia pelo Sistema PISF) e vazões resultantes da simulação de balanço hídrico na saída deste portal (que representam a demanda da bacia ao portal)

A etapa seguinte consistiu então na modelagem dos Eixos Norte e Leste do PISF, para a qual foram construídas duas novas redes de fluxo, uma para cada Eixo. Nestas redes de fluxo, os nós de reservatório ou

[18] Os déficits hídricos configuram-se nas situações em que a demanda hídrica é superior à disponibilidade (ou oferta) hídrica, sendo calculado pela diferença entre essas duas variáveis.

[19] Conforme fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

[20] Acrescem-se, no presente estudo, às demandas prioritárias as demandas de irrigação e industrial.

[21] Nas redes de fluxo, cada triângulo azul representa um reservatório, do qual saem setas em direção a quadrados que representam as retiradas para atendimento às demandas hídricas.

nós de passagem[22] representam os portais de entrega do PISF e, como explicado acima, as demandas, ou as encomendas dos Estados, em cada portal (dados de entrada para estas redes de fluxo) foram obtidas a partir dos resultados do balanço hídrico das bacias receptoras, correspondendo aos valores médios das séries de vazões resultantes na saída de cada portal.

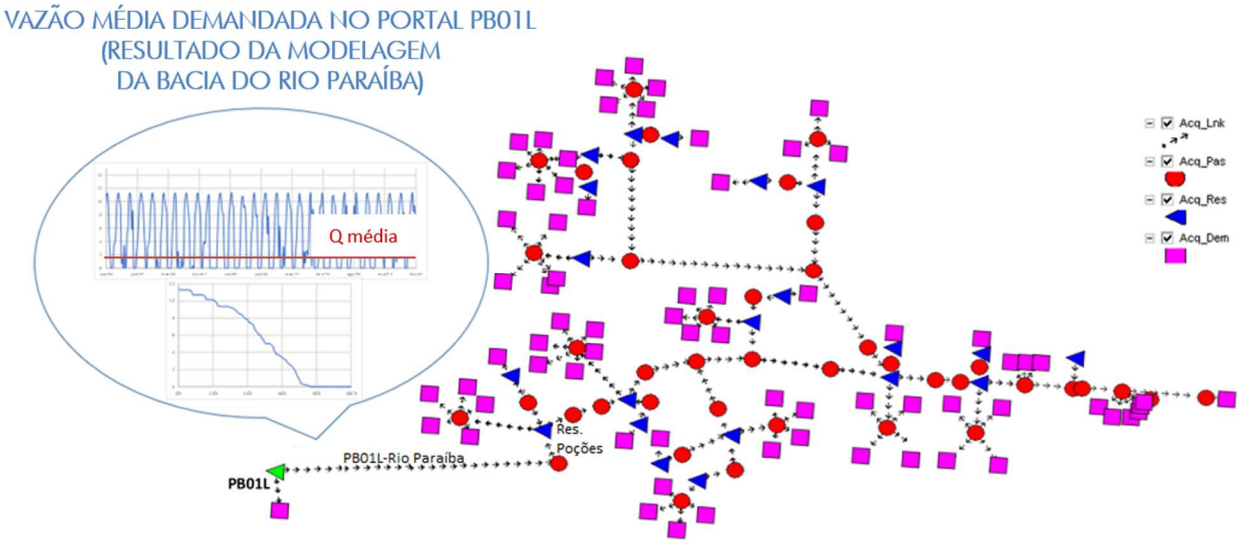
Na modelagem do Sistema PISF, deu-se preferência à sazonalização das demandas nos portais, alocando mensalmente os volumes (ou vazões) aos portais de cada Estado conforme as proporções estabelecidas no PGA de 2023[23]. Caso o Sistema PISF não tenha capacidade de atender a essa sazonalização, admitiu-se o aproveitamento da capacidade ociosa das bombas nos meses de menor volume de bombeamento das proporções PGA, ou seja, uma flexibilização mensal do regime de bombeamento, mantendo-se o volume anual bombeado para atendimento às demandas das bacias receptoras.

Finalmente, da modelagem dos Eixos Norte e Leste do PISF resultaram as vazões mensais a serem bombeadas em cada Eixo para atendimento às encomendas estimadas nos portais de entrega às bacias receptoras, respeitando o regime de bombeamento e a situação de atendimento estabelecidos para o Sistema.

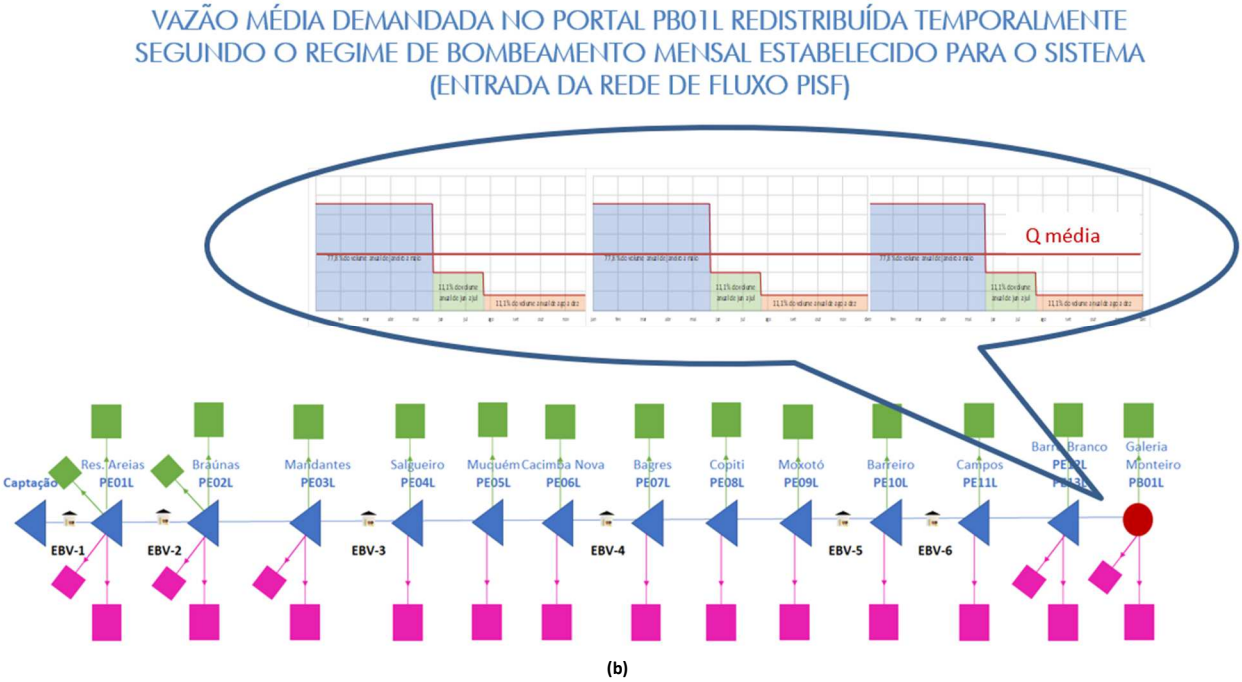
A Figura 6.2 resume a estratégia ora apresentada, ilustrando a rede de fluxo construída para o Eixo Leste do PISF e sua integração com os resultados do balanço hídrico da bacia do rio Paraíba (Figura 6.1).

[22] O portal de entrega é representado como um reservatório nas redes de fluxo das bacias receptoras, de modo a representar a oferta de água introduzida na bacia por essa entrega. Já nas redes de fluxo dos Eixos do PISF, quando se trata de outro tipo de estrutura como, por exemplo, a Galeria Monteiro (portal PB01L) ou o Ramal do Salgado (portal CE04N), esta é representada na rede de fluxo por um nó de passagem.

[23] Plano de Gestão Anual - PISF-2023. Disponível em https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/pisf/plano-de-gestao-anual. Acesso em setembro/2023.
Cumpre destacar que, em 27/12/2023, a ANA emitiu a Resolução nº 173/2023, que dispõe sobre o PGA 2024. No entanto, conforme informado no Ofício CODEVASF nº 843/2023/PR/GB e Parecer Técnico ANA nº 3/2023/CPISF/SRB, para a elaboração da proposta do PGA 2024, foram consideradas as limitações operacionais atuais do PISF ("para o Eixo Norte, o funcionamento de apenas 1 (uma) bomba na EBI-3 até junho de 2024 e para o Eixo Leste, a limitação de vazão na EBV-2 em 7,64 m³/s em razão do vazamento do Forebay de jusante e Aquedutos BR-316 e Jacaré"), sendo necessária redução nas vazões solicitadas nos POAs pelos estados entre os meses de janeiro a junho. Deste modo, considerando que o emprego do PGA na modelagem ora realizada visou delinear os perfis de distribuição mensal dos volumes anuais projetados no estudo segundo as expectativas de compra dos estados receptores, e uma vez que o PGA 2024 está atípico, seu emprego na modelagem ficou prejudicado, bem como sua extrapolação no horizonte de planejamento. O PGA 2023 não apresenta esse viés, motivo pelo qual manteve-se esta referência no estudo.



(a)



(b)

Figura 6.2 - Rede de fluxo dos Eixos do PISF para cálculo das vazões bombeadas pelo Sistema. Exemplo: Eixo Leste. Detalhes: (a) Média da série de vazões mensais na saída do portal PB01L resultantes da simulação de balanço hídrico na bacia do rio Paraíba | (b) Redistribuição temporal da vazão média segundo o regime de bombeamento estabelecido para o Sistema, segundo PGA de 2023, fornecendo as demandas no portal PB01L para a simulação do Eixo Leste.

6.3.1 SITUAÇÃO DE ATENDIMENTO REFERENCIAL DO PISF

A avaliação da demanda potencial que poderá estar associada ao PISF depende de recortes espaciais que considerem a área a ser atendida pelo sistema e demais infraestruturas hídricas a ele associadas, que permitirão a garantia do atendimento aos usuários. Para isto, definiu-se a situação de atendimento do PISF a ser considerada na modelagem, doravante denominada Situação de Atendimento Referencial.

Para a definição dessa situação, foram observados estudos anteriores que delimitavam a área de influência do PISF, tais como o Estudo de Inserção Regional do PISF, o Estudo de Viabilidade do PISF e a Nota Técnica da ANA nº 390 de 2005 (ANA, 2005b). Ademais, foram identificadas as infraestruturas existentes nas bacias receptoras e analisados estudos de planejamento hídrico, como o Atlas Águas para abastecimento urbano (ANA, 2021b), o Atlas Irrigação (ANA, 2017d), o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) (ANA, 2019b atualizado em MIDR/IICA, 2023), os Planos de Bacia e os documentos de planejamento estadual. Estas referências foram utilizadas como base para a delimitação espacial da área de atendimento do Sistema.

Para delimitação desta situação de atendimento, foram consideradas as infraestruturas de adução existentes e aquelas habilitadas pelo PNSH que se encontram em estágio de obras, além dos ramais do PISF e infraestruturas associadas, seja em estágio de obras, projeto ou estudo, conforme detalhado no Quadro 6-3.

Quadro 6-3 - Infraestruturas integrantes da Situação de Atendimento Referencial

Código da Infraestrutura	Nome da Infraestrutura	Eixo de ligação com o PISF	Ano de entrada em operação
PISF-001	Eixo Norte -Trecho I	Eixo Norte	2022
PISF-002	Eixo Norte -Trecho II	Eixo Norte	2022
PISF-003	Eixo Norte - Trecho III (Ramal do Salgado)	Eixo Norte	2027
PISF-004	Eixo Norte - Trecho IV (Ramal do Apodi)	Eixo Norte	2026
PB-002	Ramal do Piancó	Eixo Norte	2027 (1ª etapa, 2 m^3/s)
RN-015	Sistema Adutor Santa Cruz-Mossoró	Eixo Norte	2026
CE-001	CAC-Trecho I (Cinturão das Águas do Ceará)	Eixo Norte	2022
CE-RM-SAA-017	Ampliação/reabilitação do SAA - Sistema Integrado de Horizonte- Pacajus-Chorozinho, incluindo os distritos de Queimadas e Triângulo	Eixo Norte	2025
PE-083	Ramal do Entremontes	Eixo Norte	2032
N/D	Ramal do Chapéu	Eixo Norte	2032
PE-003	Adutora Exu-Granito	Eixo Norte	2032
PE-010	Adutora Cachimbo	Eixo Norte	2032
PE-008	Sistema Adutor Chapéu - Reforço Oeste	Eixo Norte	2032
PE-049	Sistema Adutor do Oeste - 2ª Etapa (Ampliação)	Eixo Norte	2032

Código da Infraestrutura	Nome da Infraestrutura	Eixo de ligação com o PISF	Ano de entrada em operação
PISF-005	Eixo Leste - Trecho V	Eixo Leste	2020
PISF-007	Ramal do Agreste	Eixo Leste	2024
NS-001	Sistema Adutor Pajeú - 2ª Fase da 2ª Etapa	Eixo Leste	2024
PE-001	Adutora do Agreste (2a Etapa) / Sistema Adutor do Agreste	Eixo Leste	2025
PE-011	Sistema Adutor Bitury (Ampliação)	Eixo Leste	2024
PB-003b	Sistema Adutor Transparaíba (Borborema ou Curimataú) - Segmento II-PISF Boqueirão - Nova Captação e Adutoras	Eixo Leste	2024
PB-005	Sistema Adutor Nova Camará (Mamanguape) - Nova Captação e Adutoras	Eixo Leste	2024

Nota: Previsão de entrada em operação conforme cronogramas físico-financeiros do PNSH (ANA, 2019b atualizado em MIDR/IICA, 2023), complementados com informações do MIDR.

6.3.2 ALOCAÇÃO DAS DEMANDAS HÍDRICAS EM FUNÇÃO DA ENTRADA EM OPERAÇÃO DO PISF E INFRAESTRUTURAS HÍDRICAS A ELE ASSOCIADAS

Conforme já abordado no item 5.4 deste Tomo II, a modelagem do balanço hídrico em um sistema de reservatórios parte do pressuposto básico de alocar as demandas, calculadas em cada um dos municípios que integram os estados do Nordeste Setentrional, nos locais em que elas realmente ocorrem, ou seja, nos mananciais que são de fato utilizados para seu atendimento, sejam eles os reservatórios propriamente ditos ou os respectivos trechos de cursos d'água perenes situados a jusante.

Nas simulações de balanço hídrico realizadas na etapa de diagnóstico (vide Capítulo 5), as demandas hídricas, estimadas para todo os municípios que integram os estados do Nordeste Setentrional, foram devidamente associadas (ou alocadas), uso a uso, aos respectivos mananciais de atendimento nas bacias receptoras, considerando a situação sem influência das infraestruturas do PISF (e daquelas a ele interligadas).

Naturalmente, a entrada em operação das obras que integram a Situação de Atendimento Referencial definida para o PISF acarreta uma nova configuração de alocação das demandas hídricas aos respectivos mananciais de atendimento. Para o estabelecimento desta alocação, parte-se da configuração definida na etapa de diagnóstico, acrescentando-se novas demandas à modelagem, ou ainda, acrescentando-se novos mananciais às demandas já incorporadas na modelagem de diagnóstico.

Os critérios adotados para a alocação das demandas hídricas[24] aos seus mananciais de atendimento, decorrente da entrada em operação das obras integrantes da Situação de Atendimento Referencial do PISF, são expostos a seguir, diferenciados para obras do tipo Sistemas Adutores e Canais/Eixos.

[24] Conforme explicado acima, o termo alocação de demandas hídricas refere-se à associação das demandas aos locais em que elas realmente ocorrem, ou seja, aos mananciais que são de fato utilizados para seu atendimento.

a) Sistemas Adutores

Admite-se que os municípios beneficiados por um sistema adutor são aqueles identificados nos inventários do PNSH (ANA, 2019b atualizado em MIDR/IICA, 2023) e do Atlas Águas (ANA, 2021b), e que o manancial do sistema adutor também é o identificado nestes mesmos documentos.

As novas demandas urbanas, decorrentes da entrada em operação do sistema adutor e que não estavam contempladas na modelagem de diagnóstico, foram alocadas ao novo manancial superficial proporcionalmente ao percentual de atendimento superficial informado pelo Atlas Águas, de forma a manter o critério de que as demandas supridas por águas subterrâneas não devem integrar a modelagem do balanço hídrico das águas superficiais.

As demandas urbanas atualmente atendidas somente por águas subterrâneas foram alocadas ao novo manancial superficial na proporção de seus déficits, calculados no Atlas Águas via Grau de Atendimento à Demanda - GAD subterrâneo[25], de forma a manter o critério de que demandas supridas por águas subterrâneas não devem integrar a modelagem do balanço hídrico das águas superficiais. As demandas urbanas já contempladas no diagnóstico e que passam a ser atendidas também pelo novo sistema adutor foram redistribuídas entre os mananciais proporcionalmente às respectivas capacidades, mantendo-se o percentual de atendimento superficial do diagnóstico. No caso de o novo manancial ser um reservatório do Sistema PISF, os municípios atendidos pelo sistema adutor tiveram seu percentual de atendimento superficial integralmente alocado ao novo manancial.

b) Canais/Eixos

Admite-se que os canais e eixos beneficiam os usos difusos[26] dos municípios cruzados pelos mesmos. As demandas difusas desses municípios foram alocadas aos reservatórios do sistema de canais/eixos, que é o local onde se preveem as tomadas d'água de uso difuso. As novas demandas difusas, decorrentes da entrada em operação do eixo/canal e que não estavam contempladas na modelagem de diagnóstico, foram 100% alocadas ao novo manancial superficial. As demandas difusas já contempladas no diagnóstico e que passam a ser atendidas também pelo novo canal/eixo foram redistribuídas entre os mananciais proporcionalmente às respectivas capacidades, mantendo-se o percentual de atendimento superficial do diagnóstico.

6.3.3 MODELAGEM DAS BACIAS RECEPTORAS

Conforme já citado, nesta etapa de prognóstico, empregaram-se nas bacias receptoras a mesma metodologia, variáveis e critérios gerais de modelagem do balanço hídrico adotados na etapa de diagnóstico e apresentados no Capítulo 5 deste Tomo II, com as devidas adaptações e inserção de critérios específicos, descritos ao longo deste item, visando representar a integração das bacias ao Sistema PISF.

Foram modeladas as bacias receptoras do PISF definidas na Nota Técnica da ANA nº 390 (ANA, 2005b), sendo elas:

[25] Conforme definido no Atlas Águas (ANA, 2021b), o GAD subterrâneo representa a relação entre a demanda urbana a ser atendida e a disponibilidade hídrica subterrânea efetiva (que equivale à reserva potencial explotável do aquífero descontadas as outorgas subterrâneas para os demais usos da água).

[26] Os usos difusos ao longo dos canais são contemplados na Nota Técnica ANA n°390/2005/SOC.

- Eixo Leste: bacias hidrográficas do rio Moxotó; do rio Pajeú e Navio; do rio Ipojuca; e do rio Paraíba;
- Eixo Norte: bacias hidrográficas do rio Apodi; do rio Jaguaribe; dos rios Piancó-Piranhas-Açu; e do rio Terra Nova - Brígida.

Ao todo, foram considerados nas simulações 138 reservatórios endógenos das bacias receptoras, identificados anteriormente na Figura 5.1, nos quais foi calculado o balanço hídrico baseado na alocação de água para atendimento das demandas a eles associadas e manutenção de seus volumes meta.

A localização das bacias e dos reservatórios receptores do PISF (totalizando 25 reservatórios dentre os 138 modelados[27]), bem como sua integração com os potenciais portais de entrega do Sistema, são apresentadas na Figura 6.3.

[27] Os reservatórios receptores do PISF são: Arapuá, Pau dos Ferros, Santa Cruz do Apodi, Chapéu, Entremontes, Condado, Coremas, Mãe D'água, Eng. Armando Ribeiro Gonçalves, Engenheiro Ávidos, São Gonçalo I, Lagoa do Arroz, Atalho, Orós, Lima Campos, Joaquim Távora, Castanhão, Poções, Camalaú, Epitácio Pessoa, Acauã, Eng. Francisco Saboia (Poço da Cruz), Barra do Juá, Pão de Açúcar, Belo Jardim (Ipojuca ou Pedro Moura Júnior).

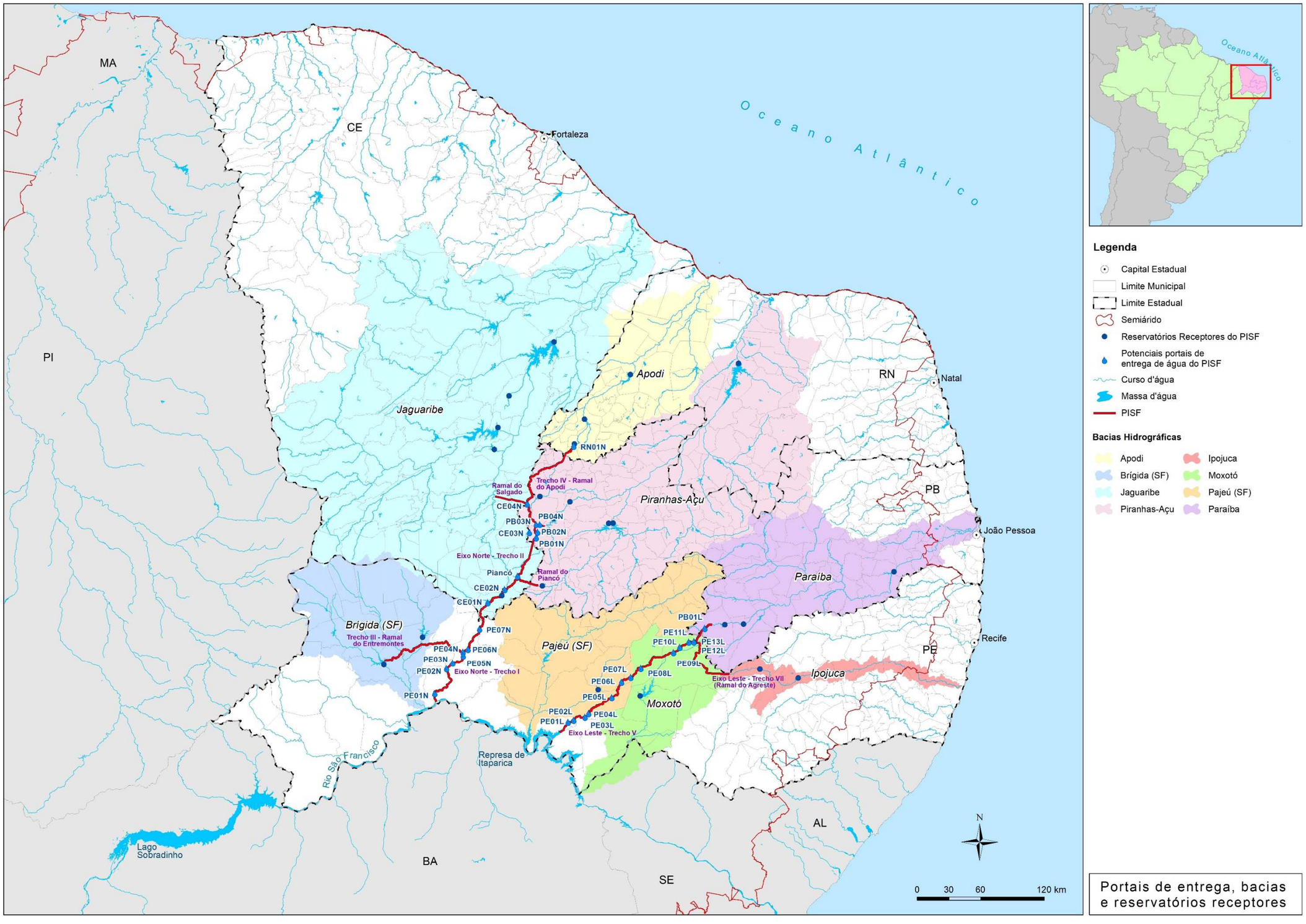


Figura 6.3 – Potenciais portais de entrega do PISF, bacias e reservatórios receptores

6.3.3.1 OFERTA HÍDRICA LOCAL (ENDÓGENA)

As simulações de balanço hídrico nas bacias receptoras contemplaram o seguinte período histórico de vazões naturais afluentes médias mensais aos reservatórios situados nas bacias (oferta hídrica endógena):

- Bacias receptoras do Eixo Leste (Pajeú, Moxotó, Ipojuca e Paraíba): janeiro/1917 a dezembro/1990 – período limitado pela disponibilidade de dados históricos de vazões afluentes na bacia do rio Paraíba -, totalizando 74 anos de dados. A exceção é o açude José Rodrigues, na bacia do rio Paraíba, cuja série de vazões contempla dados dos anos de 1963 a 1989;
- Bacias receptoras do Eixo Norte (Jaguaribe e Piancó-Piranhas-Açu, na Situação de Atendimento Referencial do PISF): janeiro/1913 a dezembro/2012, totalizando 100 anos de dados.

A determinação das séries históricas de vazões naturais afluentes a cada reservatório foi tratada no Capítulo 1, item 3.3 deste Tomo II.

6.3.3.2 DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS NAS BACIAS RECEPTORAS PARA A SITUAÇÃO DE ATENDIMENTO REFERENCIAL DO PISF

Tal como realizado na etapa de diagnóstico, os usos da água considerados para fins de balanço hídrico foram: abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural, dessedentação animal, irrigação e indústria.

As demandas hídricas nas bacias receptoras foram projetadas ao longo do horizonte de planejamento (2026-2060) conforme critérios dos estudos de demandas apresentados no Capítulo 4.

Como horizontes de simulação do balanço hídrico nas bacias receptoras, foram simulados os anos de 2026 (início do horizonte de planejamento e ano de entrada em operação do Ramal do Apodi), 2027 (ano de entrada em operação da 1ª etapa do Ramal Piancó e do Ramal Salgado), 2031 (prévio à entrada em operação do Ramal Entremontes), 2032 (ano de entrada em operação do Ramal Entremontes), 2041 (representativo da máxima demanda de abastecimento humano), 2049, 2050 e 2060 (horizonte final de plano).

Os critérios adotados para alocação das demandas hídricas aos respectivos mananciais, para cada uso da água, foram os mesmos já aplicados na etapa de diagnóstico e apresentados no item 5.4 deste Tomo II, acrescidos de critérios específicos que visam representar a entrada em operação de novas infraestruturas hídricas (PISF e demais obras associadas que compõem a situação de atendimento definida para o Sistema) e a nova configuração de alocação dela decorrente, descritos anteriormente no item 6.3.2.

Os quadros apresentados no *Anexo 2: Demandas Hídricas Mensais Alocadas aos Mananciais Modelados nas Bacias Receptoras, na Situação de Atendimento Referencial do PISF* trazem a compilação das demandas hídricas mensais que foram carregadas no modelo AcquaNet em cada horizonte simulado, de forma agregada por Eixo do PISF e por bacia receptora que integra a Situação de Atendimento Referencial.

Nota-se que, nas bacias dos rios Jaguaribe, Piancó-Piranhas-Açu e Apodi (receptoras do Eixo Norte), as demandas não prioritárias, e em especial a irrigação, representam significativa parcela da demanda total.

Já nas bacias receptoras do Eixo Leste, as demandas para atendimento aos usos prioritários (abastecimento humano urbano e rural e dessedentação animal) potencialmente atendidas pelo PISF são muito superiores às demandas não prioritárias, particularmente nas bacias dos rios Ipojuca e Paraíba. Nessas bacias, as demandas prioritárias representam, em média, 99% e 94% da demanda total, respectivamente.

Ainda com relação às bacias receptoras do Eixo Leste, observa-se que as demandas de abastecimento humano urbano nas bacias dos rios Moxotó e Pajeú são bastante reduzidas, mesmo no horizonte final de plano. Isto decorre da alocação das demandas aos respectivos mananciais de atendimento. Conforme já destacado, a modelagem do balanço hídrico nos sistemas de reservatórios parte do pressuposto de associar (ou alocar) as demandas aos locais em que elas realmente ocorrem, ou seja, nos mananciais que são de fato utilizados para seu atendimento. Deste modo, apesar de terem sido calculadas as demandas hídricas para todos os municípios das referidas bacias, devidamente apresentadas no Capítulo 4, para efeitos das simulações de balanço hídrico devem ser consideradas apenas as demandas abastecidas pelos reservatórios modelados. Por esta razão, as demandas que atualmente são supridas por águas subterrâneas ou por mananciais externos aos modelados nas bacias receptoras do PISF não integram a modelagem do balanço hídrico das águas superficiais dessas bacias. Isto significa que as demandas que são atualmente abastecidas por outros mananciais (sejam eles superficiais ou subterrâneos) permanecerão utilizando tais mananciais, em detrimento à utilização das águas advindas do PISF, corroborando assim a premissa básica de aproveitamento máximo e eficiente das águas locais disponíveis nas bacias receptoras. Assim, como ambas as bacias citadas (Moxotó e Pajeú) contam com apenas um reservatório receptor do PISF - Eng. Francisco Saboia (Poço da Cruz) na bacia do Moxotó e Barra do Juá na bacia do Pajeú, as demandas passíveis de serem supridas pelo PISF nessas bacias serão apenas aquelas alocadas a esses dois mananciais.

6.3.3.3 PRIORIDADES DE ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS NAS BACIAS RECEPTORAS

A definição das prioridades de atendimento às demandas nas bacias receptoras seguiu o esquema da Figura 6.4. O diagrama simplificado apresentado nessa figura contém a identificação das prioridades entre os usos e os reservatórios. Cada triângulo azul representa um reservatório, do qual saem setas em direção a quadrados que representam as retiradas de vazões de demanda. O número à frente do texto explicativo do uso demandante corresponde ao índice de prioridade, em que quanto menor o índice maior sua prioridade. Na figura tem-se representados dois reservatórios em uma mesma bacia hidrográfica cuja drenagem ocorre da esquerda para a direita da figura. A sequência apresentada na figura se propaga para reservatórios a jusante, quando em série.

O esquema da Figura 6.4 é equivalente, em termos conceituais, ao empregado na etapa de diagnóstico (vide item 5.5.2), aqui adaptado para inserção de reservatório representativo de portal do PISF e seu "dreno"[28], de modo a considerar a oferta hídrica adicionada à bacia pelo Sistema PISF.

[28] O "dreno" representa uma demanda fictícia associada a cada portal do PISF, de valor elevado o suficiente para absorver eventuais sobras de água no sistema, garantindo que o portal forneça à bacia apenas as vazões necessárias para suprimento dos déficits hídricos dos usos atendidos e manutenção dos volumes meta de seus reservatórios receptores. Sobras de água no sistema ocorrem nas situações em que a oferta hídrica é superior à demanda. A oferta hídrica disponível aos portais do PISF é a advinda das captações dos Eixos Norte e Leste no rio São Francisco que foram representadas por reservatórios de capacidade grande o suficiente para o atendimento a todas as suas demandas, sem representar limitação ao Sistema.

Ademais, o esquema do diagnóstico foi agora adaptado visando permitir a simulação de duas condições de atendimento pelo PISF: (i) atendimento aos déficits apenas das demandas prioritárias das bacias receptoras (abastecimento humano e dessedentação animal) e à manutenção de volume meta nos reservatórios receptores; e (ii) atendimento aos déficits das demandas totais das bacias receptoras (acrescem-se à condição anterior as demandas de irrigação e indústria) e à manutenção de volume meta nos reservatórios receptores.

As prioridades definidas no esquema da Figura 6.4 representam a primeira condição de atendimento avaliada, uma vez que o reservatório representativo do portal do PISF e seu "dreno" (prioridades 12 e 13, respectivamente) são mais prioritários que o atendimento aos usos de irrigação e indústria existentes na bacia (prioridades 14 a 19). Deste modo, inicialmente haverá fornecimento de água pelo portal do PISF para atendimento aos usos prioritários e para manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores. Após atendidos esses usos, toda a água remanescente no portal será direcionada ao seu "dreno" (seguindo a ordem de prioridades definida no esquema da Figura 6.4), o qual representa uma demanda fictícia com valor elevado o suficiente para absorver toda a sobra de água do portal, de modo que o portal não contribuirá para o atendimento aos demais usos na bacia - irrigação e indústria.

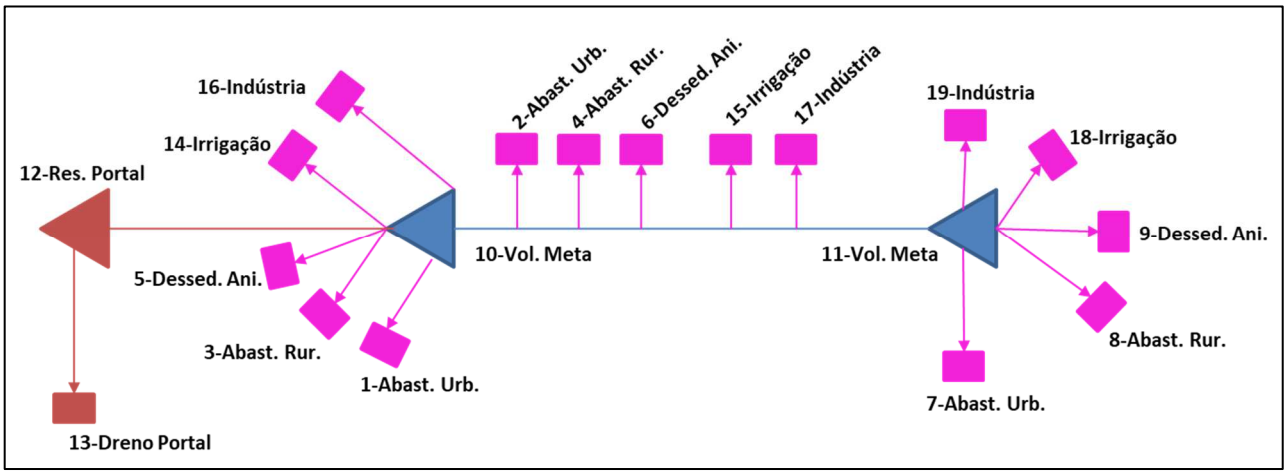


Figura 6.4 – Prioridades para atendimento às demandas dos reservatórios e dos trechos de jusante perenes nas bacias receptoras: portal do PISF atende aos usos prioritários e manutenção de volume meta nos reservatórios receptores

Neste esquema, foram adotados os seguintes critérios:

- Abastecimento Urbano atendido pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de abastecimento rural, dessedentação animal, irrigação e indústria (1 e 2, respectivamente);
- Abastecimento Rural atendido pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de dessedentação animal, irrigação e indústria (3 e 4, respectivamente);
- Dessedentação Animal atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de irrigação e indústria (5 e 6, respectivamente);
- Abastecimento Urbano atendido pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as outras demandas do reservatório (7);

- Abastecimento Rural atendido pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as demandas de dessedentação, irrigação e indústria (8);
- Dessedentação Animal atendida pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as demandas de irrigação e indústria (9);
- Reservatório de Montante (prioridade 10) – manutenção de Volume Meta;
- Reservatório de Jusante (prioridade 11) – manutenção de Volume Meta;
- Reservatório representativo do Portal do PISF (prioridade 12) – manutenção de Volume Meta;
- Dreno do Portal: prioridade 13, sendo, portanto, menos prioritário que o atendimento aos usos de abastecimento humano e animal e manutenção de volume meta, e mais prioritário que o atendimento aos usos de irrigação e indústria. Deste modo, após atendidos os usos humano e animal e manutenção de volume meta, as águas do portal serão direcionadas ao seu "dreno" (seguindo a ordem de prioridades definida) e, portanto, não contribuirão para o atendimento aos usos de irrigação e indústria;
- Irrigação atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre a demanda de indústria (14 e 15, respectivamente);
- Indústria atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridades 16 e 17, respectivamente;
- Irrigação atendida pelo reservatório de jusante: prioridade sobre a demanda de indústria (18);
- Indústria atendida pelo reservatório de jusante: prioridade 19.

Como pode ser observado na Figura 6.4, as conexões entre os reservatórios existentes nas bacias receptoras ocorrem somente quando houver excedente hídrico localmente, já que o reservatório de montante abastece primeiramente as demandas associadas a ele mesmo e ao seu trecho de jusante perene, para cada uso da água, para somente depois contribuir para o atendimento às demandas do reservatório de jusante.

Já as prioridades definidas no esquema da Figura 6.5 representam a segunda condição de atendimento avaliada, uma vez que o reservatório representativo do portal do PISF e seu "dreno" são menos prioritários que o atendimento aos usos de irrigação e indústria existentes na bacia. Deste modo, haverá fornecimento de água pelo portal do PISF para atendimento a todos os usos (prioritários e não prioritários) e para manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores. Somente após atendidos todos esses usos, as águas remanescentes no portal serão direcionadas ao seu "dreno" (seguindo a ordem de prioridades definida no esquema da Figura 6.5).

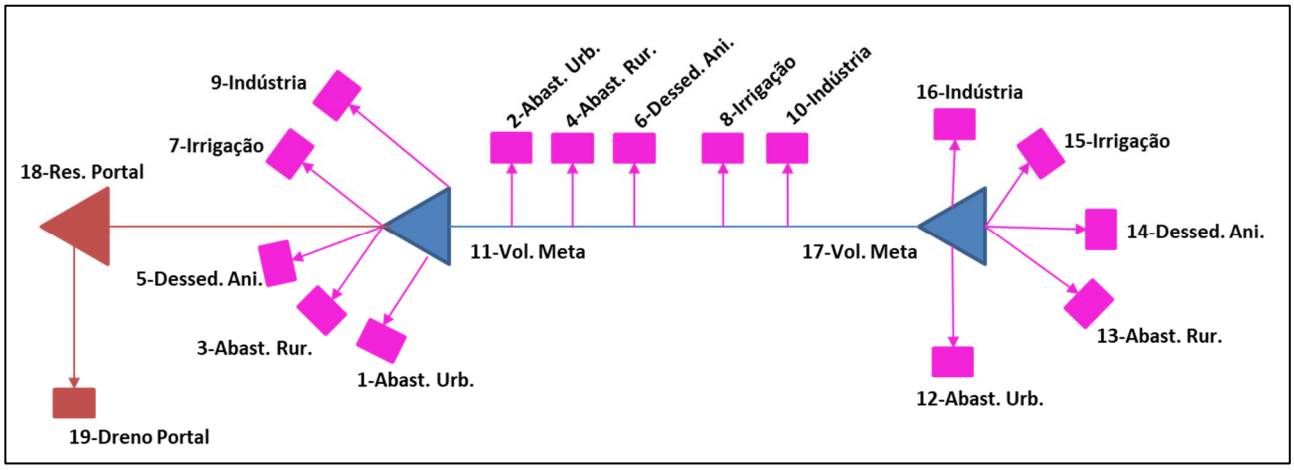


Figura 6.5 – Prioridades para atendimento às demandas dos reservatórios e dos trechos de jusante perenes nas bacias receptoras: portal do PISF atende aos usos totais (prioritários e não prioritários) e manutenção de volume meta nos reservatórios receptores

Neste esquema, foram adotados os seguintes critérios:

- Abastecimento Urbano atendido pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de abastecimento rural, dessedentação animal, irrigação e indústria (1 e 2, respectivamente);
- Abastecimento Rural atendido pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de dessedentação animal, irrigação e indústria (3 e 4, respectivamente);
- Dessedentação Animal atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre as demandas de irrigação e indústria (5 e 6, respectivamente);
- Irrigação atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridade sobre a demanda de indústria (7 e 8, respectivamente);
- Indústria atendida pelo reservatório de montante e trecho de jusante: prioridades 9 e 10, respectivamente;
- Reservatório de Montante (prioridade 11) – manutenção de Volume Meta;
- Abastecimento Urbano atendido pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as outras demandas do reservatório (12);
- Abastecimento Rural atendido pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as demandas de dessedentação, irrigação e indústria (13);
- Dessedentação Animal atendida pelo reservatório de jusante: prioridade sobre as demandas de irrigação e indústria (14);
- Irrigação atendida pelo reservatório de jusante: prioridade sobre a demanda de indústria (15);
- Indústria atendida pelo reservatório de jusante: prioridade 16;
- Reservatório de Jusante (prioridade 17) – manutenção de Volume Meta;
- Reservatório representativo do Portal do PISF (prioridade 18) – manutenção de Volume Meta;

- Dreno do Portal: prioridade 19, sendo, portanto, menos prioritário que o atendimento a todos os usos (abastecimento humano e animal, irrigação e indústria) e manutenção de volume meta. Deste modo, somente após atendidos todos os usos e a manutenção de volume meta, as águas do portal serão direcionadas ao seu "dreno" (seguindo a ordem de prioridades definida).

6.3.3.4 VOLUME META DOS RESERVATÓRIOS DAS BACIAS RECEPTORAS

A operação dos reservatórios é realizada a partir do conceito de volume meta (fração do volume máximo), ao qual se atribui uma prioridade, conforme definido no esquema da Figura 6.4 e da Figura 6.5. Desta forma, sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório armazenará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores. O volume armazenado acima do nível meta é livre para atender a quaisquer demandas por menores que sejam suas prioridades.

Para a modelagem das bacias receptoras, foi admitido o critério de volume meta nos reservatórios receptores do PISF igual ao seu volume mínimo[29]. Tal critério visa a um aproveitamento mais racional das águas locais disponíveis nos reservatórios receptores, mantendo-os com menor acumulação de modo a minimizar as perdas por evaporação e por vertimentos.

Para os reservatórios não receptores do PISF, estabeleceu-se como critério o volume meta igual ao seu volume máximo. Tal premissa seguiu diretriz estabelecida pela ANA no âmbito dos estudos anteriores elaborados no Contrato de Prestação de Serviços OCS nº 425/2018, com o objetivo de maximizar o uso da vazão regularizada por esses reservatórios para atendimento às demandas locais (quais sejam, do próprio reservatório e trechos de jusante perenes), contando-se apenas com seus vertimentos (ou seja, com os excedentes de água a partir do volume máximo) para atendimento aos usos alocados aos reservatórios de jusante.

Acrescenta-se que, para as simulações de balanço hídrico das bacias receptoras, adotou-se como critério de inicialização do modelo o volume inicial de cada reservatório igual ao seu volume meta.

6.3.3.5 PERDAS POR EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS DAS BACIAS RECEPTORAS

A determinação dos vetores de evaporação e precipitação sobre o espelho d'água dos reservatórios das bacias receptoras, que resultam nas respectivas perdas por evaporação, foi tratada nos itens 3.1 e 3.2 deste Tomo II.

6.3.3.6 PERDAS FÍSICAS EM LEITOS NATURAIS

Para as simulações de operação do Sistema PISF, admitiu-se que os trechos de rio receptores das águas do PISF serão perenizados pelas vazões advindas desse Sistema e, portanto, o coeficiente de perda em trânsito ao longo desses trechos de rio, a ser adotado nas simulações de operação do Sistema PISF, é de 0,6% km^{-1}.

[29] Destaca-se que o percentual de 30% para o volume meta dos reservatórios foi adotado apenas para as simulações de diagnóstico, conforme apresentado no Capítulo 5 deste Tomo II. Tais simulações de diagnóstico não consideraram o aporte das águas aduzidas pelo Sistema PISF às bacias receptoras, e, portanto, não interferem nos resultados do presente Capítulo 6.

Este coeficiente corresponde ao já adotado nas simulações de diagnóstico para cursos d'água em substrato cristalino e trechos de rios perenes/perenizados em substrato sedimentar (vide item 5.5.1), tendo sido originalmente proposto em: Ministério da Integração Nacional – MI, Fundação de Ciências, Aplicações e Tecnologias Espaciais – FUNCATE, VBA CONSULTORES, Avaliação das Perdas e Recarga dos Aquíferos – Tomo Único, março de 2000.

Para os trechos de rio não receptores do PISF, o coeficiente de perda em trânsito permanece igual ao estabelecido na etapa de diagnóstico, sendo:

- Cursos d'água em substrato cristalino e trechos de rios perenes/perenizados em substrato sedimentar: 0,6% km^{-1};
- Cursos d'água intermitentes sobre substrato sedimentar: 2,3% km^{-1} (valor originalmente proposto em: SRH, FUNCEME, PROURB-RH – Avaliação de Perdas de Água em Trânsito em Rios Perenizados do Semiárido – Relatório Final – Volume 1, maio de 2002).

Em ambos os casos, a formulação das perdas em trânsito seguiu a mesma equação empregada no diagnóstico, conforme já exposto no item 5.5.1.

6.3.3.7 Construção das Redes de Fluxo das Bacias Receptoras para Modelagem da Operação Integrada com o PISF

As figuras apresentadas a seguir ilustram as redes de fluxo das bacias receptoras que foram construídas para as simulações de operação integrada com o Sistema PISF a partir da rede de fluxo de diagnóstico, incluindo-se os reservatórios representativos dos portais do PISF em cada bacia.

Observa-se que, nas bacias beneficiadas por mais de um portal, a distribuição das entregas entre os portais foi balizada pelas expectativas formalizadas pelos estados e consolidadas no PGA de 2023.

Tal direcionamento foi realizado nas redes de fluxo das bacias receptoras, a partir da definição de prioridades[30] dos volumes metas e dos "drenos"[31] dos reservatórios representativos de cada portal.

[30] Quando um modelo de rede de fluxo é aplicado na análise de sistemas de recursos hídricos, seu algoritmo busca minimizar o "custo total" da rede que representa o problema em estudo. Este "custo" pode ser entendido como um fator de ponderação que representa direitos de água ou prioridades operacionais (um "custo negativo" é tratado como um benefício ou prioridade).

No caso do modelo AcquaNet, o algoritmo trabalha de modo a atender a uma determinada demanda de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99, sendo o valor 1 a maior prioridade. As prioridades são atribuídas às demandas propriamente ditas (atendimento aos diversos usos da água) e à manutenção do volume meta dos reservatórios da rede. Por sua vez, as prioridades "P" e os "custos" "C" estão relacionados no modelo de forma biunívoca (C = 10P – 1000), o que significa que os valores de "C" que representam prioridades são sempre negativos. Portanto, ao atender uma prioridade (seja ela de uma demanda ou de um volume meta), o modelo diminuirá os "custos" da rede de um valor "C" por unidade de vazão fornecida. Quanto mais próxima de 1 for a prioridade estabelecida, maior é a redução dos "custos" da rede que seu atendimento proporciona. Diante dessa lógica, nos casos em que uma entrega pode ser realizada por dois portais do PISF (ou reservatórios) distintos, o algoritmo irá direcionar a entrega ao reservatório com volume meta de menor prioridade, já que o atendimento ao volume meta do outro reservatório representará uma maior redução dos "custos" da rede (melhorando o valor da função objetivo do modelo em direção ao seu ótimo).

[31] Conforme já citado, o "dreno" representa uma demanda fictícia associada a cada portal do PISF, de valor elevado o suficiente para absorver eventuais sobras de água no sistema, garantindo que o portal forneça à bacia apenas as vazões necessárias para suprimento de déficits hídricos dos usos atendidos e manutenção dos volumes meta de seus reservatórios receptores. Sobras de água no sistema ocorrem nas situações em que a oferta hídrica é superior à demanda. A oferta hídrica disponível aos portais do PISF é a advinda das

Merece ainda destaque a bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu, única bacia receptora que abrange mais de uma unidade da federação, para a qual foram compostas duas redes de fluxo, representativas das entregas do PISF nas porções paraibana e potiguar da bacia.

captações dos Eixos Norte e Leste no rio São Francisco que foram representadas por reservatórios de capacidade grande o suficiente para o atendimento a todas as suas demandas, sem representar limitação ao Sistema.

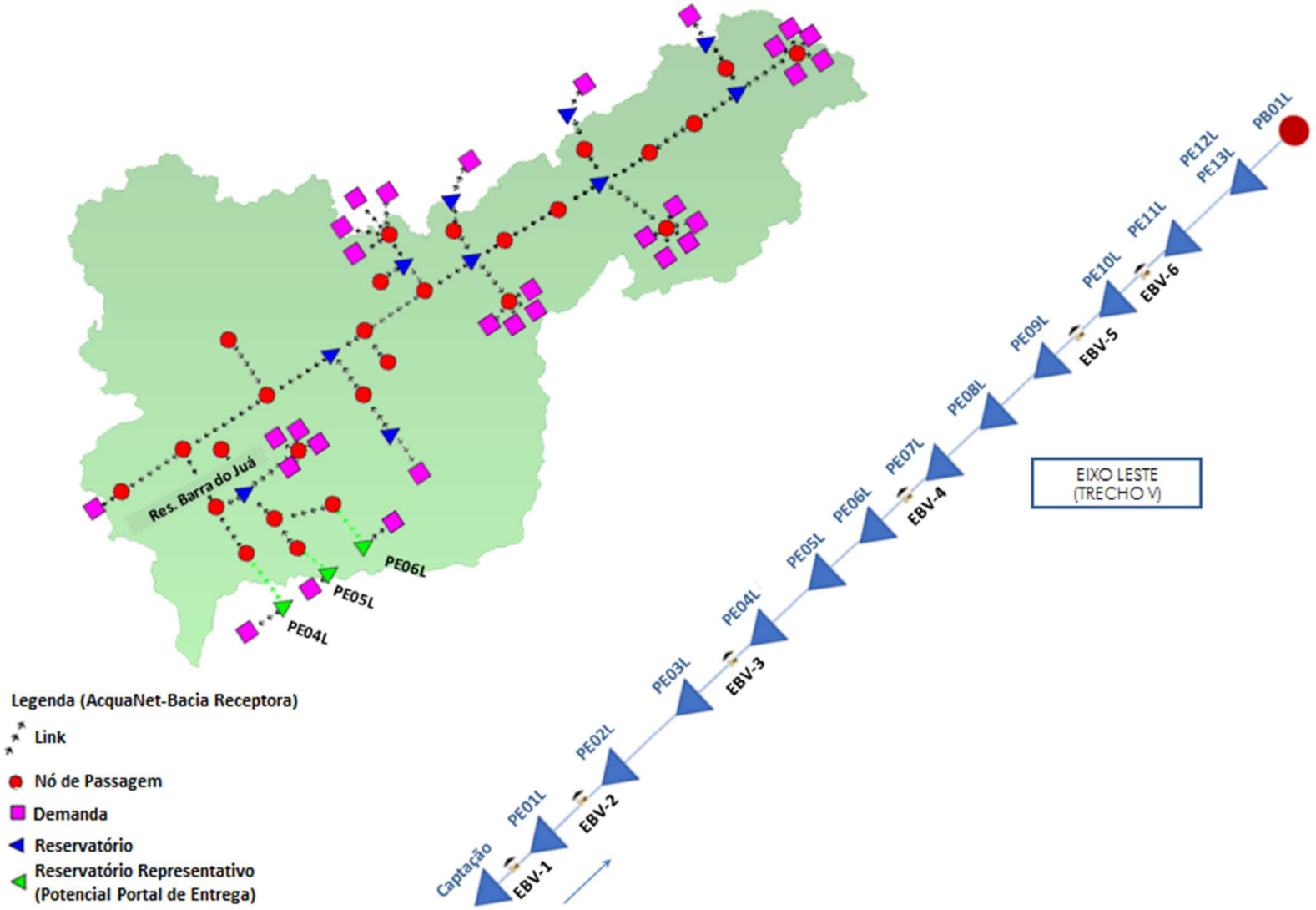


Figura 6.6 –Rede de fluxo da bacia do rio Pajeú para aplicação nas simulações de operação do Eixo Leste do PISF (representação dos portais PE04L, PE05L e PE06L)

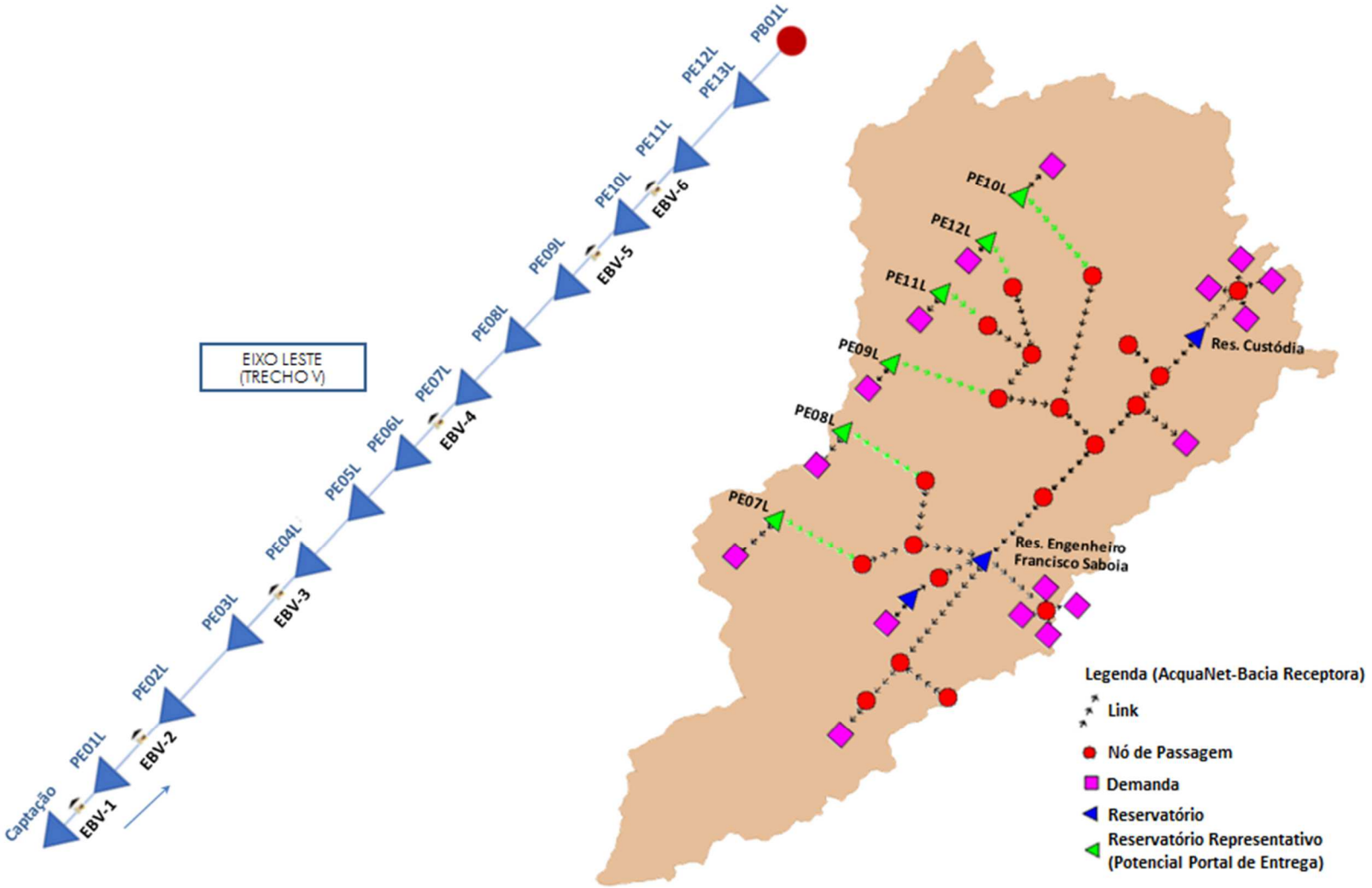


Figura 6.7 – Rede de fluxo da bacia do rio Moxotó para aplicação nas simulações de operação do Eixo Leste do PISF (representação dos portais PE07L a PE12L)

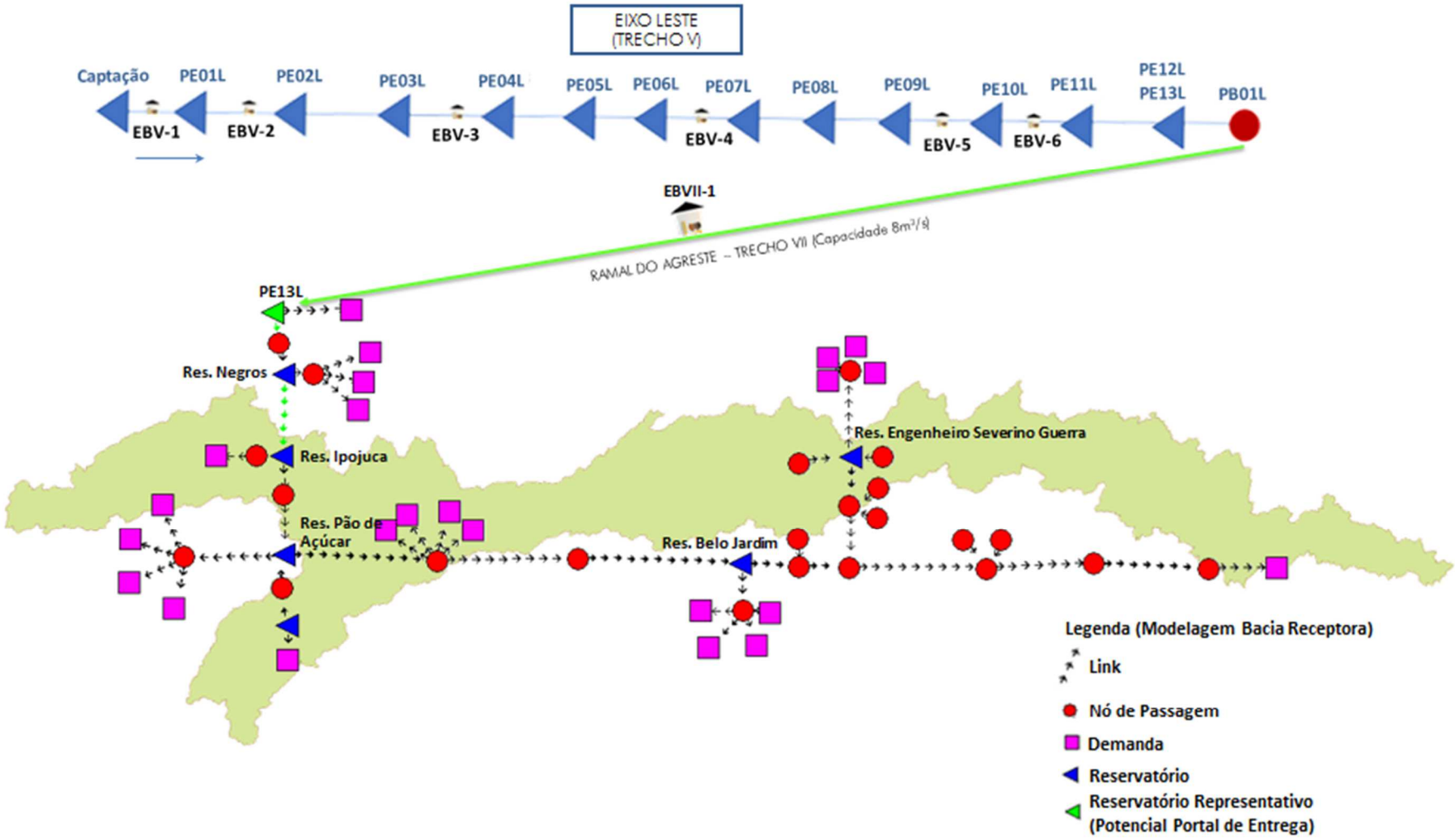


Figura 6.8 – Rede de fluxo da bacia do rio Ipojuca para aplicação nas simulações de operação do Eixo Leste do PISF (representação do portal PE13L – Ramal do Agreste – Trecho VII)

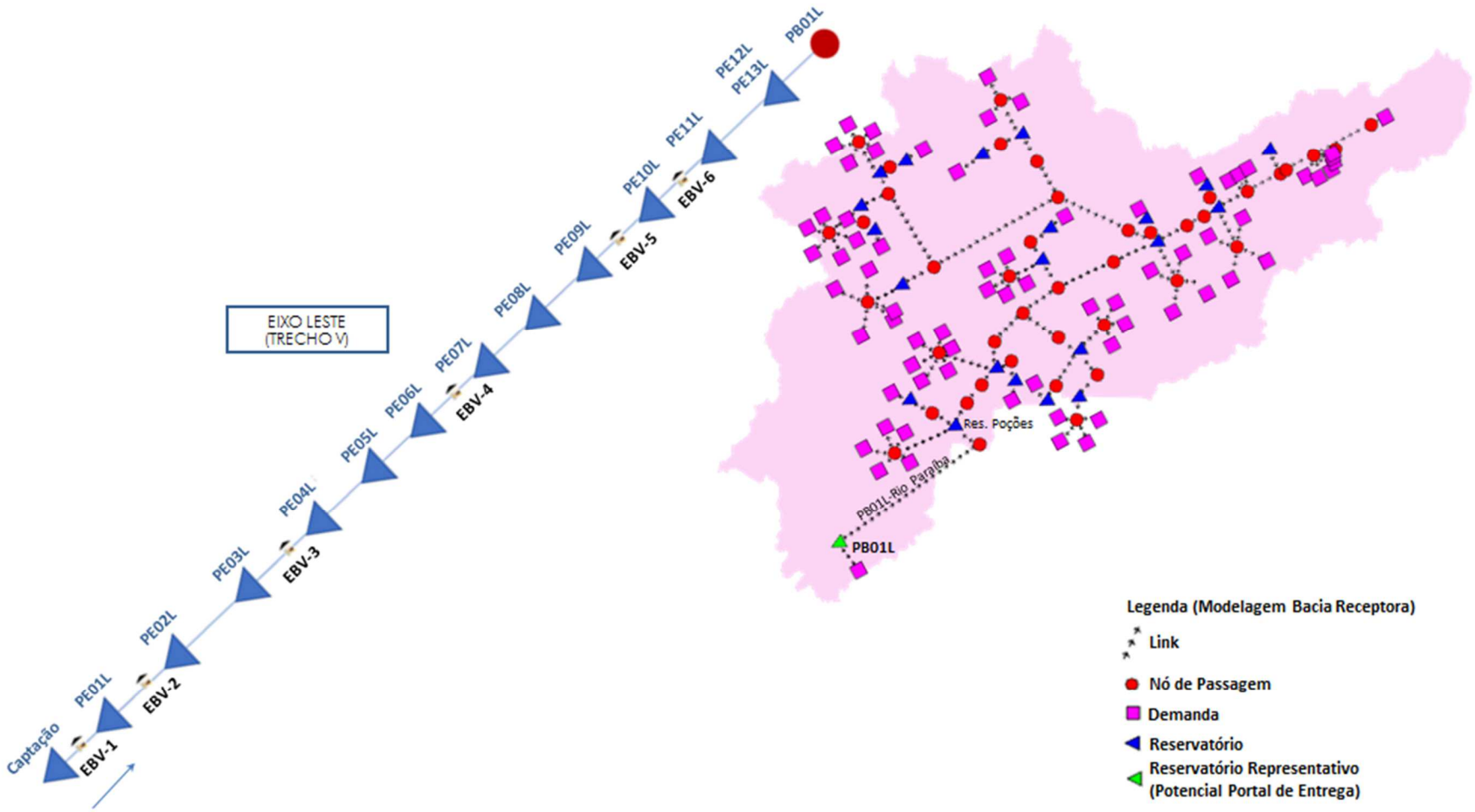


Figura 6.9 – Rede de fluxo da bacia do rio Paraíba para aplicação nas simulações de operação do Eixo Leste do PISF (representação do portal PB01L – Galeria Monteiro)

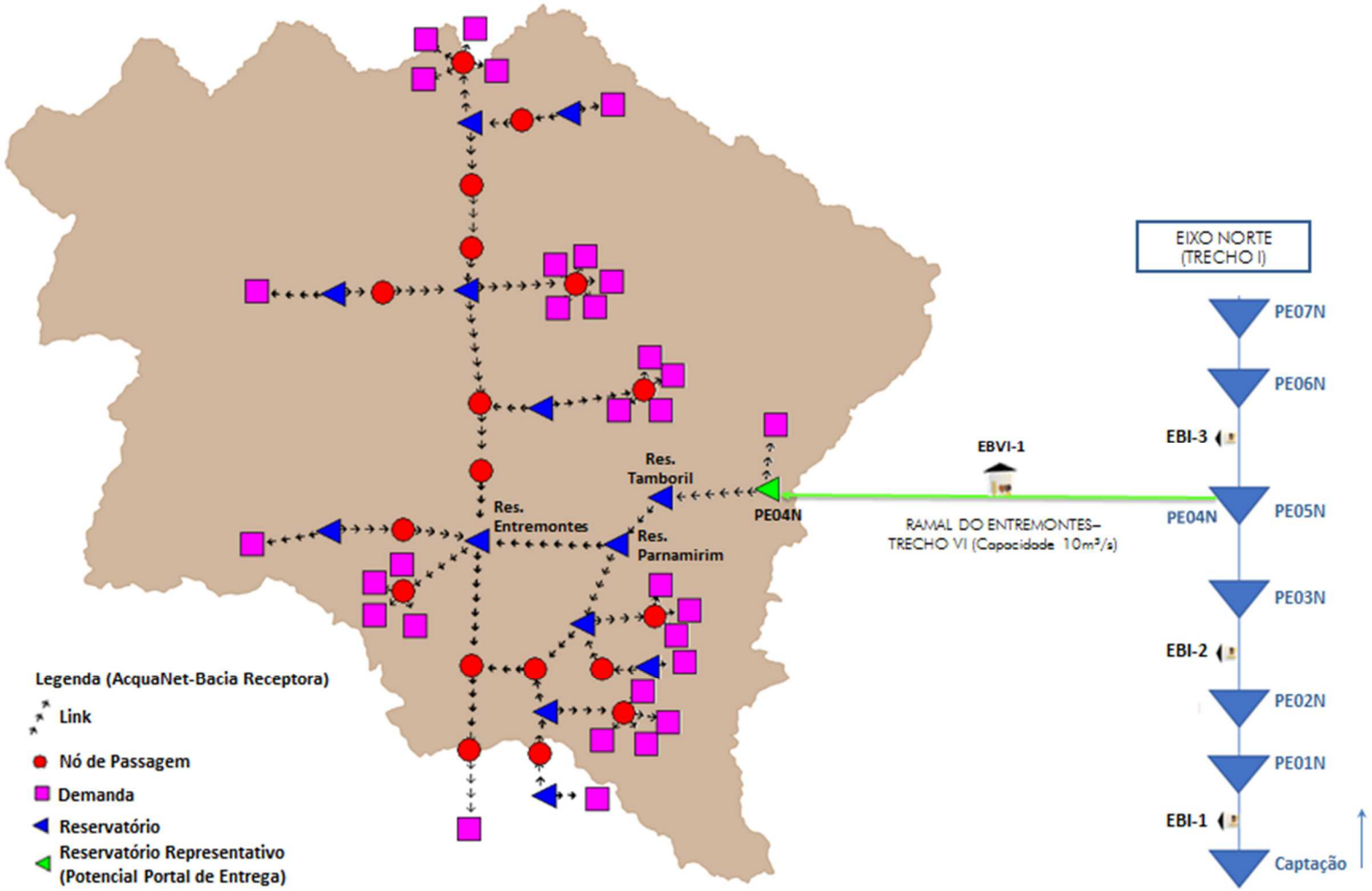


Figura 6.10 – Rede de fluxo da bacia do rio Brígida para aplicação nas simulações de operação do Eixo Norte do PISF (representação do portal PE04N – Ramal do Entremontes – Trecho VI)

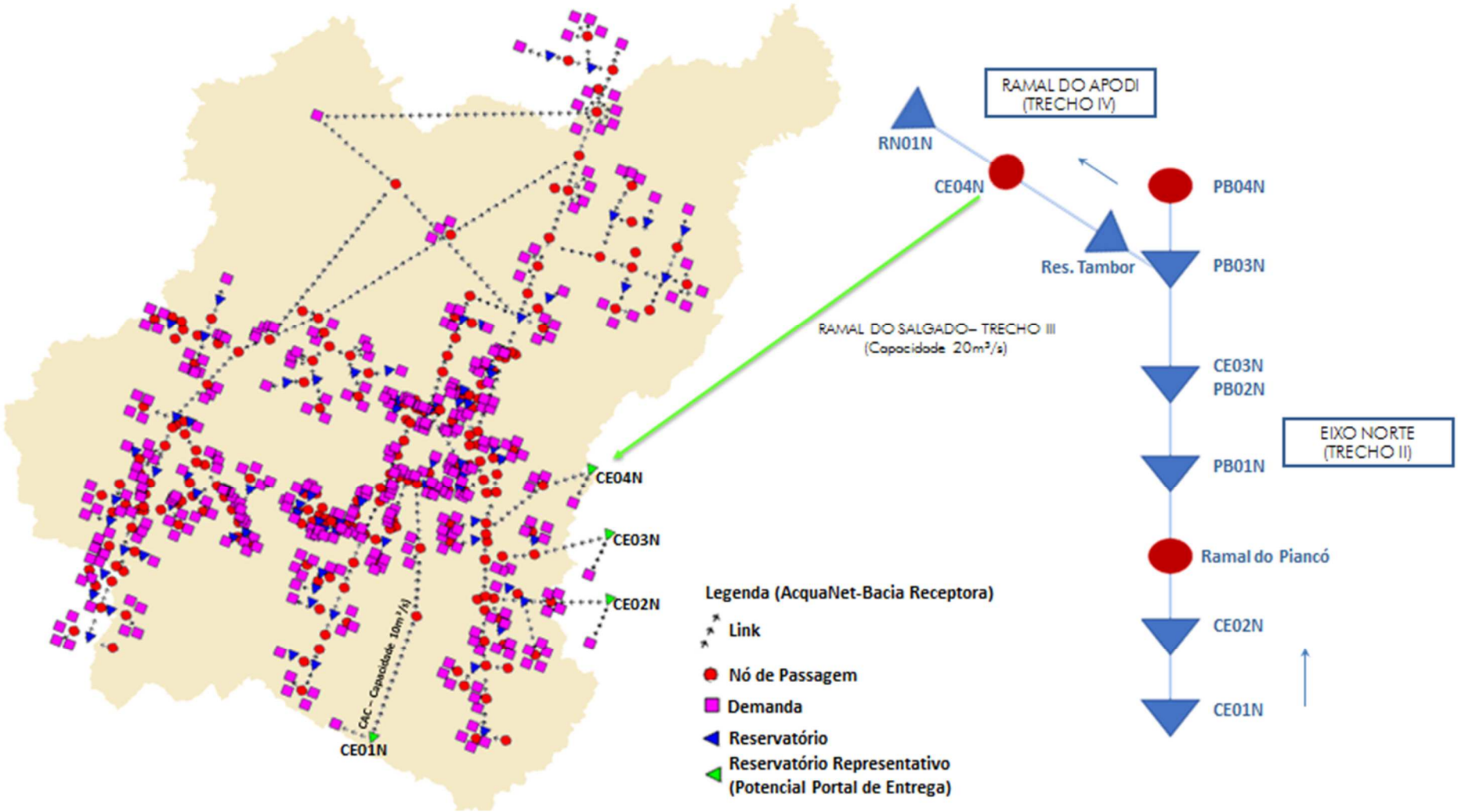


Figura 6.11 – Rede de fluxo da bacia do rio Jaguaribe para aplicação nas simulações de operação do Eixo Norte do PISF (representação dos portais CE01N a CE04N)

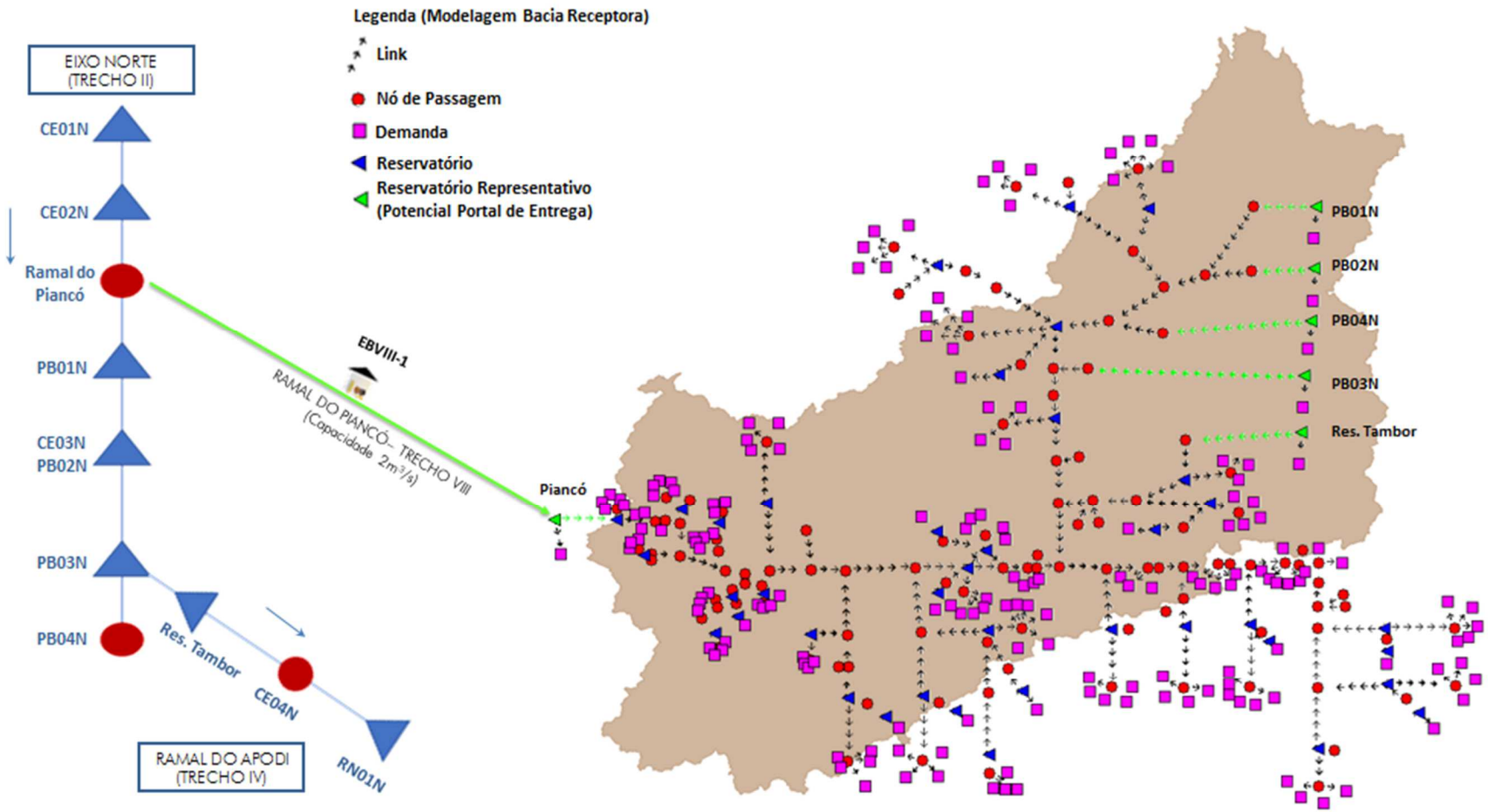


Figura 6.12 – Rede de fluxo da bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu para aplicação nas simulações de operação do Eixo Norte do PISF com entregas na porção paraibana da bacia (representação dos portais PB01N a PB04N e derivação para o Ramal do Piancó, Ramal do Apodi e reservatório Tambor)

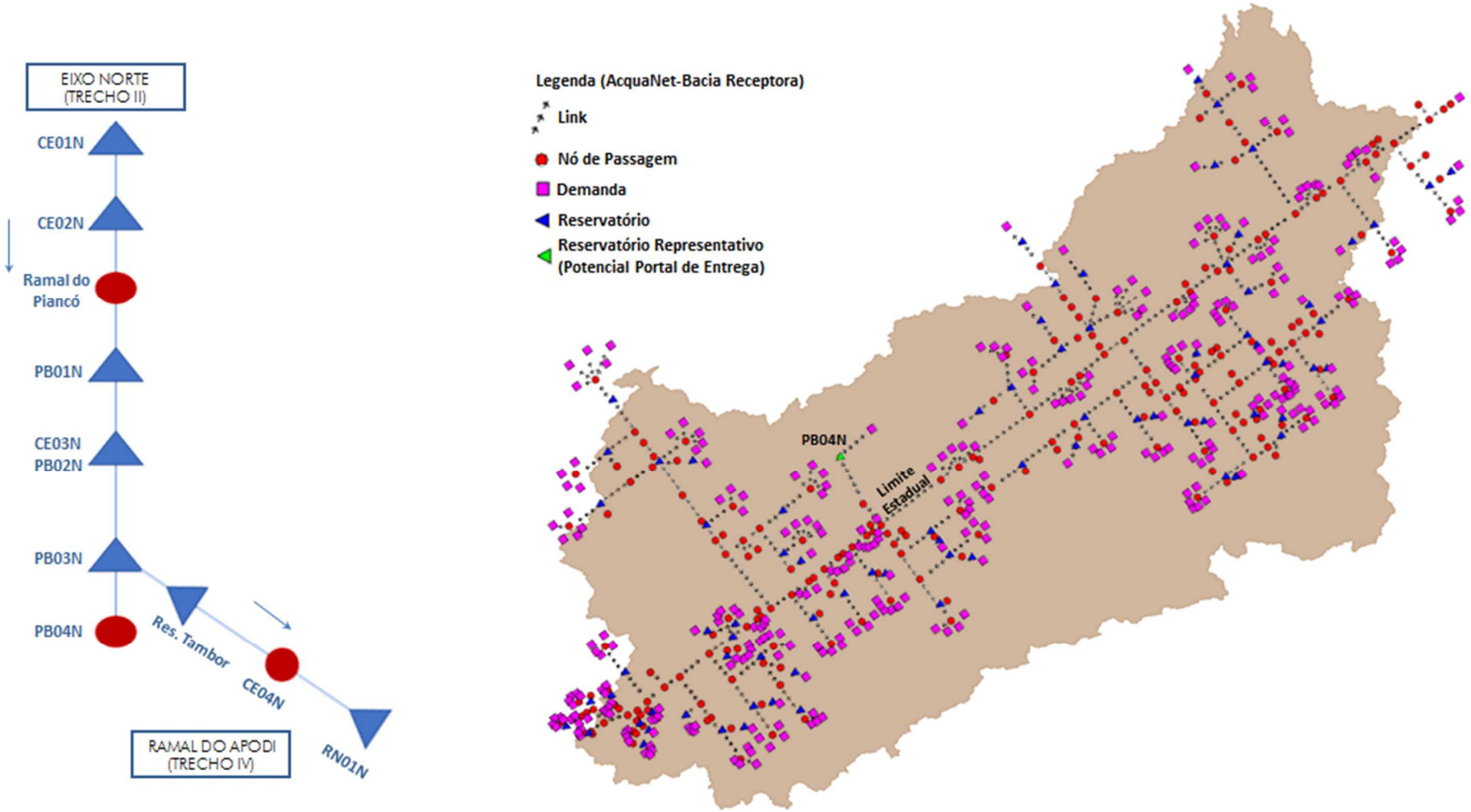


Figura 6.13 – Rede de fluxo da bacia do rio Piranhas-Açu para aplicação nas simulações de operação do Eixo Norte do PISF com entregas na porção potiguar da bacia (representação do portal PB04N)

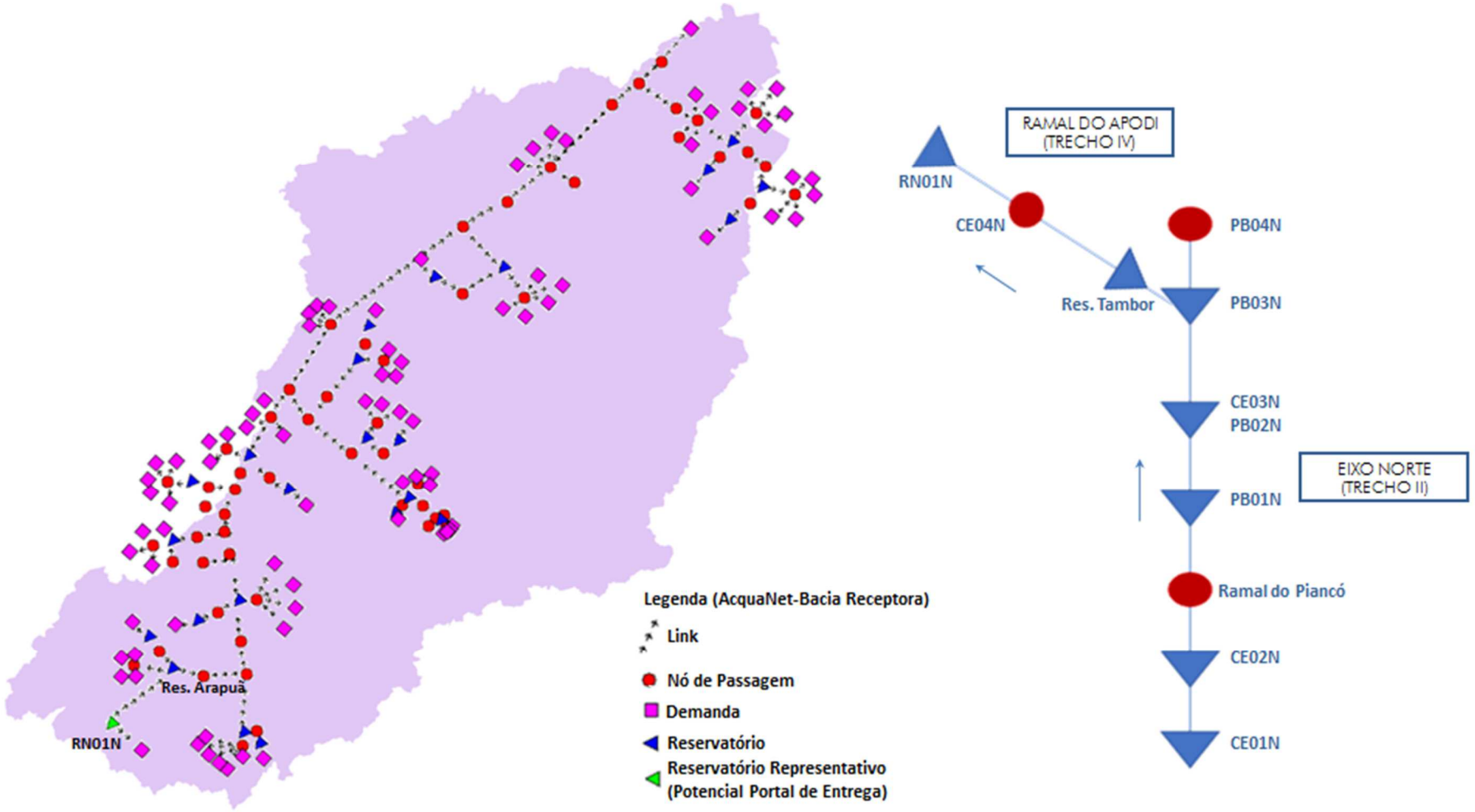


Figura 6.14 – Rede de fluxo da bacia do rio Apodi para aplicação nas simulações de operação do Eixo Norte do PISF (representação do portal RN01N)

6.3.4 MODELAGEM DOS EIXOS DO PISF

6.3.4.1 OFERTA HÍDRICA

A oferta hídrica disponível aos Eixos do PISF é a advinda das captações dos Eixos Norte e Leste no rio São Francisco, representadas nas respectivas redes de fluxo por reservatório de capacidade grande o suficiente para o atendimento a todas as suas demandas, sem representar limitação ao Sistema.

Cumpre destacar que, sob o ponto de vista da operação do PISF, atualmente o atendimento às demandas das bacias receptoras está condicionado pela outorga de direito de uso de recursos hídricos concedida ao então Ministério da Integração Nacional pela ANA, mediante a Resolução nº 411/2005.

Por outro lado, é de se esperar que a modelagem ora conduzida traga subsídios para a avaliação da outorga em vigor e das condições de renovação atualmente em discussão entre MIDR e ANA, apresentando novas estimativas de vazão demandada pelo PISF nas captações de ambos os Eixos durante o período de concessão do empreendimento. Deste modo, faz-se necessário avaliar a expectativa de vazão a ser captada para atendimento às demandas associadas ao Sistema, à luz dos estudos ora em curso.

Por este motivo, nas simulações dos Eixos Norte e Leste do PISF, não se limitou a capacidade máxima do Sistema às regras atuais de outorga de direito de uso de recursos hídricos do empreendimento e às novas condições solicitadas pelo MIDR no pedido de revisão da outorga, de modo a permitir a sinalização de seu extrapolamento. As conclusões dessa análise são apresentadas mais adiante, no item 6.9.

6.3.4.2 PROJEÇÃO DE DEMANDAS HÍDRICAS ASSOCIADAS AOS PORTAIS DE ENTREGA DO PISF

A associação das demandas hídricas aos portais do PISF foi representada na Figura 6.6 à Figura 6.14, que trazem as redes de fluxo de cada bacia receptora e o posicionamento dos respectivos portais de entrega. Diferentemente dos reservatórios das bacias receptoras, aos quais se associam diretamente demandas por município e por tipo de uso da água estimadas no Capítulo 4, aos portais do PISF associam-se as vazões necessárias para suprimento dos déficits hídricos das demandas das bacias receptoras e manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores, devidamente acrescidas das perdas ao longo do sistema natural (perdas por evaporação nos reservatórios receptores e perdas em trânsito nos leitos naturais) por onde escoam as águas do PISF bacia adentro. Tais vazões são fruto da modelagem de balanço hídrico nas bacias receptoras, e agregam toda a parcela de déficits atrelados a todos os mananciais receptores nas bacias, além das perdas que ocorrem bacia adentro associadas ao atendimento desses déficits pelas águas do PISF.

Deste modo, para entrada na rede de fluxo do PISF, foram calculados os valores médios das séries de vazões resultantes da modelagem das bacias receptoras na saída de cada portal. A esses valores médios foi então aplicado o regime de bombeamento mensal baseado no padrão PGA de 2023, conforme tratado na sequência (item 6.3.4.3), resultando nas demandas em cada portal do PISF necessárias para atendimento às bacias receptoras.

Considera-se ainda que os canais do PISF poderão beneficiar os usos difusos dos municípios cruzados pelos canais. Assim, em cada portal do PISF têm-se também demandas que representam esses usos difusos, as quais são associadas aos reservatórios do sistema, onde se preveem as tomadas d'água de uso difuso.

Os quadros apresentados no *Anexo 3: Demandas Hídricas Associadas aos Portais de Entrega do PISF na Situação de Atendimento Referencial* trazem a compilação das demandas hídricas estimadas nos portais de entrega do PISF, necessárias para atendimento às bacias receptoras e aos usos difusos ao longo dos canais (que se mostram pouco representativas quando comparadas às demandas para atendimento às bacias receptoras) no horizonte de planejamento. Nesses quadros, apresentam-se os valores da demanda média em cada portal resultante da modelagem das bacias receptoras e os valores resultantes de sua redistribuição temporal, mês a mês, evidenciando o efeito da aplicação do regime de bombeamento segundo padrão PGA.

Ainda da análise desses quadros, merece também destaque a entrada em operação do Ramal do Salgado, prevista para 2027, o qual incrementa em 20 m^3/s a capacidade de entrega de água pelo Eixo Norte à bacia do rio Jaguaribe e, em contrapartida, reduz em cerca de 30% os volumes demandados ao PISF necessários para atendimento às demandas prioritárias desta bacia, por conta da redução do trânsito das águas do PISF em leitos naturais bacia adentro e das perdas naturais associadas. A entrega de água à bacia do rio Jaguaribe via Ramal do Salgado reduz o trânsito das águas do PISF em leitos naturais em cerca de 150 km quando comparada à entrega no portal CE02N e em cerca de 100 km quando comparada à entrega no portal CE03N (portais que entregam água ao reservatório Castanhão, tal como o Ramal do Salgado).

Destaca-se, por fim, que os valores apresentados no Anexo 3 não estão limitados à capacidade do Sistema PISF (ou seja, à capacidade de bombeamento dos Eixos Norte e Leste e à capacidade de entrega dos portais). Tais restrições serão impostas na sequência, quando da modelagem do Sistema e verificação da capacidade de atendimento às demandas estimadas em seus portais.

6.3.4.3 REGIME DE BOMBEAMENTO NAS ESTAÇÕES DO PISF

O regime de bombeamento estabelecido para a operação das estações dos Eixos Norte e Leste baseia-se na representação das expectativas mais recentes dos estados receptores e da Operadora Federal quanto às vazões a serem fornecidas pelo PISF, considerando as vazões médias formalizadas no Plano de Gestão Anual – PGA de 2023[32].

Deste modo, as simulações de operação dos Eixos Norte e Leste consideraram, preferencialmente, a sazonalização das entregas nos portais segundo os comportamentos estabelecidos nesse instrumento de planejamento. Para tanto, partindo dos resultados das simulações de balanço hídrico realizadas nas bacias receptoras, calculou-se o volume médio anual demandado pelas bacias em cada portal do PISF. Este volume

[32] Em 27/12/2023, a ANA emitiu a Resolução nº 173/2023, que dispõe sobre o PGA 2024. No entanto, conforme informado no Ofício CODEVASF nº 843/2023/PR/GB e Parecer Técnico ANA nº 3/2023/CPISF/SRB, para a elaboração da proposta do PGA 2024, foram consideradas as limitações operacionais atuais do PISF ("para o Eixo Norte, o funcionamento de apenas 1 (uma) bomba na EBI-3 até junho de 2024 e para o Eixo Leste, a limitação de vazão na EBV-2 em 7,64 m^3/s em razão do vazamento do Forebay de jusante e Aquedutos BR-316 e Jacaré"), sendo necessária redução nas vazões solicitadas nos POAs pelos estados entre os meses de janeiro a junho. Deste modo, considerando que o emprego do PGA na modelagem ora realizada visou delinear os perfis de distribuição mensal dos volumes anuais projetados no estudo segundo as expectativas de compra dos estados receptores, e uma vez que o PGA 2024 está atípico, seu emprego na modelagem ficou prejudicado, bem como sua extrapolação no horizonte de planejamento. O PGA 2023 não apresenta esse viés, motivo pelo qual manteve-se esta referência no estudo.

foi redistribuído, mês a mês, seguindo as distribuições de volumes mensais estabelecidas no PGA-2023 para a vazão média.

No entanto, caso os resultados da modelagem tenham indicado que o Sistema PISF não tem capacidade de atender a essa sazonalização, admitiu-se o aproveitamento da capacidade ociosa das bombas nos meses de menor volume de bombeamento das proporções PGA, com flexibilização mensal do regime de bombeamento, mantendo-se o volume anual bombeado para atendimento às demandas das bacias receptoras.

6.3.4.4 PRIORIDADES DE ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS NOS PORTAIS DE ENTREGA DO PISF

A definição das prioridades de atendimento às demandas nos portais do PISF seguiu o esquema da Figura 6.15. O diagrama simplificado apresentado nessa figura contém a identificação das prioridades entre os usos e os reservatórios. Cada triângulo azul representa um reservatório (portal de entrega do PISF), do qual saem setas em direção a quadrados que representam as retiradas para atendimento aos usos da água. O número à frente do texto explicativo do uso demandante corresponde ao índice de prioridade, em que quanto menor o índice maior sua prioridade. Na figura tem-se representados dois portais de entrega em um mesmo eixo do PISF, em que o fluxo ocorre da esquerda para a direita da figura. A sequência apresentada na figura se propaga para os portais a jusante.

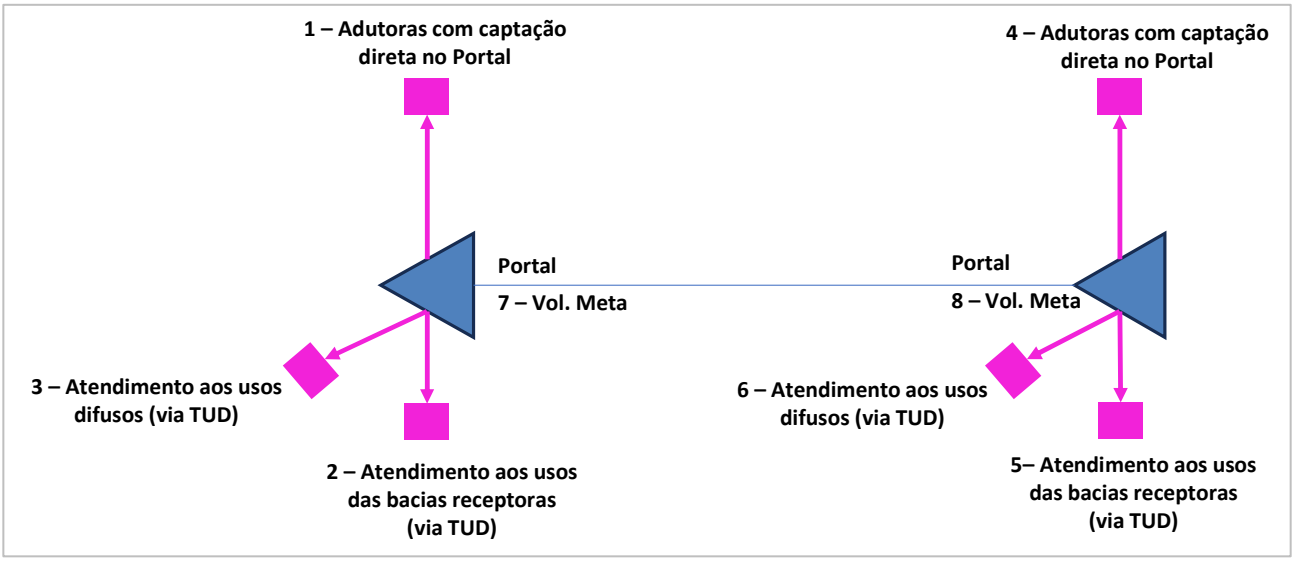


Figura 6.15 – Prioridades para atendimento aos usos nos portais do PISF

Nesse esquema de prioridades, foram adotados os seguintes critérios:

- Adutoras com captação direta no reservatório do portal de montante: prioridade sobre as demais demandas do portal (1);
- Usos atendidos pelo portal de montante, associados ao atendimento das bacias receptoras e aos usos difusos dos municípios cruzados pelo canal: prioridade sobre o portal de jusante (2 e 3, respectivamente);

- Adutoras com captação direta no reservatório do portal de jusante: prioridade sobre as demais demandas do portal (4);
- Usos atendidos pelo portal de jusante, associados ao atendimento das bacias receptoras e aos usos difusos dos municípios cruzados pelo canal: prioridade sobre a manutenção do volume meta de todos os reservatórios do Sistema PISF (5 e 6, respectivamente);
- Portal de Montante (prioridade 7) – Volume Meta igual ao Volume Mínimo;
- Portal de Jusante (prioridade 8) – Volume Meta igual ao Volume Mínimo.

Nos casos em que houve déficit no atendimento, pelo PISF, às demandas solicitadas pelas bacias receptoras, foi realizado um refinamento da simulação, visando balancear os déficits resultantes nos portais, proporcionalmente às suas demandas. Tal procedimento foi realizado dividindo-se, em cada um dos portais, as demandas para atendimento às bacias receptoras em duas parcelas, de modo que a primeira parcela de cada portal seja atendida e a segunda parcela arque com os déficits. As parcelas foram calculadas, caso a caso, de modo que os déficits percentuais (proporcionais às respectivas demandas) ficassem balanceados entre os portais, seguindo o raciocínio abaixo:

A demanda da primeira parcela de cada portal foi obtida pela capacidade operativa da estação de bombeamento mais a jusante do eixo - que é a EB que impõe limitação na capacidade atual de bombeamento do Sistema (EBI-3 no Eixo Norte; e EBV-5 e EBV-6 no Eixo Leste), distribuída entre os portais proporcionalmente às suas demandas. A demanda da segunda parcela corresponde à diferença entre a demanda total no portal e a demanda da primeira parcela, ou seja:

$Q_{total} = \sum Qp_i$

Se Q_{total} > capacidade operativa da EB de jusante (EBI-3 no Eixo Norte e EBV-6 no Eixo Leste):

$$Qp_{i1} = \text{capacidade operativa da EB de jusante} \times (Qp_i / Q_{total})$$

$$Qp_{i2} = Qp_i - Qp_{i1} = \underbrace{(Q_{total} - \text{capacidade operativa da EB de jusante})}_{\text{Déficit total}} \times (Qp_i / Q_{total})$$

Onde:

- Q_{total} = somatória das demandas nos portais localizados a jusante da última estação de bombeamento do eixo - que é a EB que impõe limitação na capacidade atual de bombeamento do Sistema (EBI-3 no Eixo Norte e EBV-6 no Eixo Leste);
- pi = portal "i", no qual houve déficit de atendimento às demandas por limitação da capacidade de bombeamento do Sistema PISF;
- Qp_{i1} = primeira parcela da demanda do portal "i";
- Qp_{i2} = segunda parcela da demanda do portal "i";
- (Q_{total} – capacidade operativa da EB de jusante) = somatória dos déficits nos portais localizados a jusante da última estação de bombeamento do eixo.

O balanceamento é obtido mediante o estabelecimento de prioridades adequadas das parcelas das demandas em cada portal, seguindo o esquema da Figura 6.16.

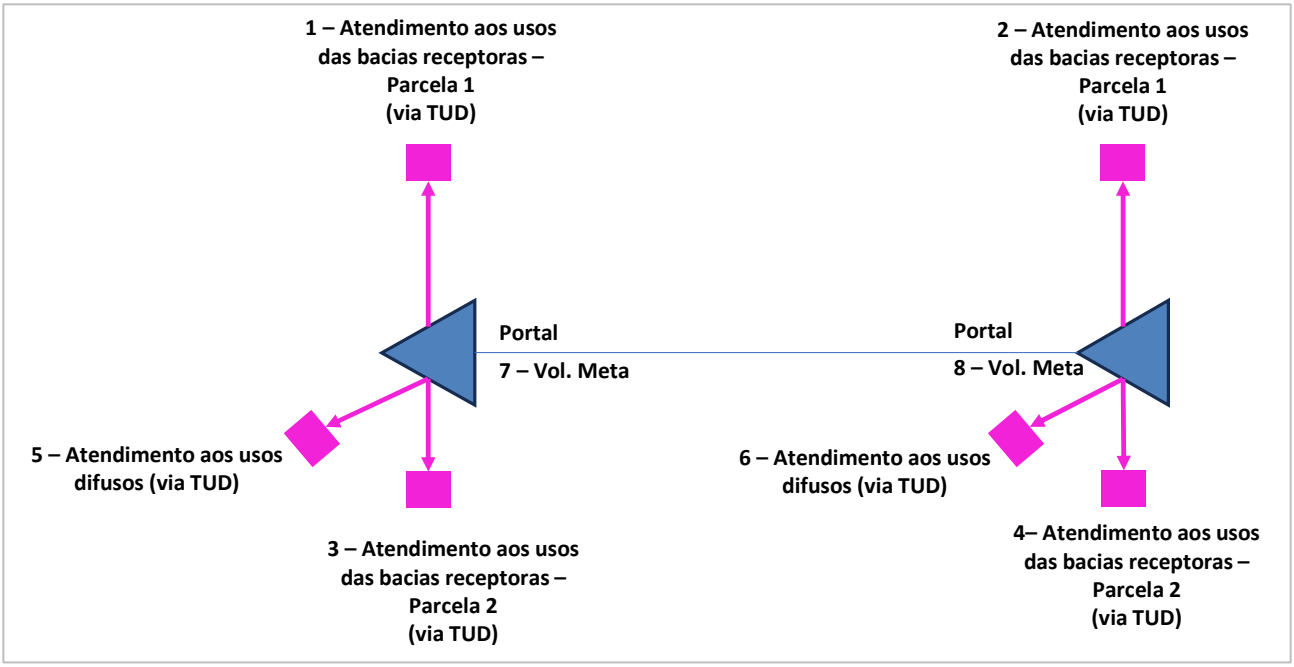


Figura 6.16 – Prioridades para atendimento aos usos nos portais do PISF: Esquema de prioridades para balanceamento de déficits percentuais nos portais

O esquema da Figura 6.16 baseia-se nos seguintes critérios:

- Parcela 1 dos usos atendidos pelo portal de montante associados ao atendimento das bacias receptoras (prioridade 1) – prioridade sobre a Parcela 1 do portal de jusante;
- Parcela 1 dos usos atendidos pelo portal de jusante associados ao atendimento das bacias receptoras (prioridade 2) – prioridade sobre a Parcela 2 do portal de montante;
- Parcela 2 dos usos atendidos pelo portal de montante associados ao atendimento das bacias receptoras (prioridade 3) – prioridade sobre a Parcela 2 do portal de jusante;
- Parcela 2 dos usos atendidos pelo portal de jusante associados ao atendimento das bacias receptoras (prioridade 4) – prioridade sobre o atendimento aos usos difusos no portal de montante;
- Usos difusos dos municípios cruzados pelo canal, associados à TUD do portal de montante (prioridade 5) – prioridade sobre os usos difusos portal de jusante;
- Usos difusos dos municípios cruzados pelo canal, associados à TUD do portal de jusante (prioridade 6) – prioridade sobre a manutenção do volume meta de todos os reservatórios do Sistema PISF;
- Portal de Montante (prioridade 7) – Volume Meta igual ao Volume Mínimo;
- Portal de Jusante (prioridade 8) – Volume Meta igual ao Volume Mínimo.

6.3.4.5 VOLUMES MÍNIMO, MÁXIMO E META NOS RESERVATÓRIOS DO PISF

Os volumes mínimo e máximo dos reservatórios do Sistema PISF foram obtidos a partir de consulta aos projetos de cada componente, sendo apresentados nos quadros a seguir.

Para as simulações de balanço hídrico, admitiu-se como volume meta de cada reservatório do PISF seu volume mínimo, visando a um aproveitamento mais racional das águas aduzidas do rio São Francisco, mantendo os reservatórios do sistema com menor acumulação de modo a minimizar as perdas por evaporação e por vertimentos. Ademais, adotou-se como critério de inicialização do modelo o volume inicial de cada reservatório igual ao seu volume meta.

Quadro 6-4 – Volumes característicos e volume meta dos reservatórios do Eixo Norte do PISF

Reservatório	Volume mínimo (hm³)	Volume máximo (hm³)	Volume Meta (% Vol. Máximo)
Tucutu	17,78	24,03	74%
Terra Nova	5,40	8,43	64%
Serra do Livramento	15,07	18,38	82%
Mangueira	16,47	19,61	84%
Negreiros	19,44	24,00	81%
Milagres	69,01	92,01	75%
Jati (ver Nota)	23,42	27,88	84%
Atalho	79,60	107,57	74%
Porcos	80,80	97,35	83%
Cana Brava	7,51	9,63	78%
Cipó	5,10	6,98	73%
Boi I e II	21,06	26,33	80%
Morros	2,46	4,55	54%
Boa Vista	163,35	214,93	76%
Caiçara	3,69	5,13	72%

Nota: No reservatório Jati foi oi adotado NA mínimo operacional de 483,45 m, conforme estabelecido em MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL/ CONCREMAT ENGENHARIA/ ARCADIS LOGOS (2016). Observa-se que este valor é superior à cota de captação do CAC – Cinturão das Águas do Ceará informada pelo MIDR, de 480,60 m, garantindo assim que o reservatório Jati atinja a cota para liberar águas para este canal.

Quadro 6-5 - Volumes característicos e volume meta dos reservatórios do Eixo Leste do PISF

Reservatórios	Volume mínimo (Mm³)	Volume máximo (Mm³)	Volume Meta (% Vol. Máximo)
Areias	5,16	7,65	68%
Braúnas	13,27	15,17	88%
Mandantes	2,60	3,81	69%
Salgueiro	3,12	4,37	72%
Muquém	2,60	3,08	85%
Cacimba Nova	1,63	2,7	61%
Bagres	1,10	2,25	49%
Copiti	4,19	6,33	67%
Moxotó	0,79	1,42	56%
Barreiro	1,80	2,61	69%
Campos	3,72	4,79	78%
Barro Branco	0,24	0,27	89%

6.3.4.6 PERDAS POR EVAPORAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS DO PISF E PERDAS FÍSICAS NO SISTEMA CONSTRUÍDO

Ainda nas redes de fluxo dos canais do PISF, têm-se como dados de entrada as perdas por evaporação nos reservatórios e as perdas no sistema construído, obtidas de:

- Parecer Técnico ANA 17/2016/SRE - Estimativa de perdas hídricas no PISF Eixo Leste;
- Parecer Técnico ANA 19/2016/SRE - Estimativa de perdas hídricas no PISF Eixo Norte.

Logo, para o cálculo das perdas nos sistemas construídos de cada Eixo do PISF, adota-se um percentual de perda de 5% da vazão captada, distribuído nos diversos trechos entre reservatórios e estações de bombeamento. A formulação para a partição das perdas do sistema construído é:

$$Lti = Ltotal * \frac{Wi}{\sum wi} \qquad \textit{(XVIII)}$$

Onde Lti é a perda no trecho i do sistema construído, Ltotal é a perda total do sistema construído (5% da vazão captada) e [Wi / ΣWi] é um ponderador calculado a partir da relação entre a extensão do trecho i e a extensão total do sistema construído.

Para a quantificação da perda por evaporação nos reservatórios do Sistema PISF, consideraram-se os vetores de evaporação líquida[33] fornecidos nos estudos de ANA (2017) para diversos reservatórios existentes nas bacias receptoras. O Quadro 6-6 apresenta a associação, feita por proximidade geográfica, dos reservatórios dos estudos de ANA (2017) com os reservatórios do Sistema PISF. Observa-se que um mesmo reservatório do estudo de ANA (2017) foi utilizado como referência para um conjunto de reservatórios do PISF. Por exemplo, o vetor de evaporação líquida do reservatório existente Chapéu foi empregado como representativo dos reservatórios Tucutu, Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira e Negreiros do PISF.

[33] Evaporação líquida é a diferença entre a evaporação total e precipitação total sobre o espelho d'água do reservatório. Valores negativos de evaporação líquida representam precipitação total superior à evaporação total.

Na simulação do balanço hídrico, a cada intervalo de tempo de cálculo (ou seja, a cada mês), a evaporação em cada reservatório é calculada através da multiplicação entre o valor do mês no vetor de evaporação e a área do espelho d'água naquele mês. A área do espelho d'água, por sua vez, varia mensalmente ao longo da simulação, como resultado do balanço hídrico do reservatório.

Quadro 6-6 - Evaporação líquida no espelho d'água dos reservatórios dos Eixos Norte e Leste do PISF

Eixo do PISF	Reservatórios do PISF	Reservatório existente mais próximo *	Evaporação (mm/mês) *												Evaporação
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual (mm) *
Eixo Norte	Tucutu, Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros	Chapéu	131	68	16	64	151	197	237	303	320	327	295	214	2.322
	Milagres, Jati, Atalho, Porcos	Atalho	44	-48	-85	-40	87	134	173	236	260	248	208	152	1.368
	Cana Brava, Cipó, Boi	Quixabinha	67	-46	-113	-69	66	114	161	214	235	242	206	167	1.243
	Morros, Boa Vista	Média São José I e Prazeres	69	-46	-153	-60	60	118	174	224	240	243	212	178	1.258
	Caiçara	Eng. Ávidos	73	-46	-153	-60	61	116	171	220	237	242	212	179	1.251
Eixo Leste	Areias, Braúnas, Mandantes, Salgueiro, Muquém, Cacimba Nova	Barra do Juá	41	-43	-106	-69	5	45	62	111	139	158	128	89	560
	Bagres, Copiti	Francisco Saboia	65	-22	-84	-55	10	50	65	120	146	178	152	115	740
	Moxotó, Barreiro	Custódia	103	4	-71	-44	18	65	91	158	182	211	194	157	1.067
	Campos	Rosário	188	88	22	7	59	97	132	203	219	252	261	235	1.762
	Barro Branco	Santo Antônio	208	128	63	23	27	29	55	131	191	234	258	230	1.577

*ANA (2017). Nota: Valores negativos de evaporação líquida representam precipitação sobre o espelho d'água superior à evaporação.

6.3.4.7 CAPACIDADE DOS CANAIS E DAS ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DO PISF

As capacidades de cada trecho de canal do PISF foram obtidas a partir de consulta aos respectivos projetos. Ademais, consideraram-se as capacidades das estações de bombeamento, também definidas em projeto, e influenciadas pelas condições de operação e manutenção das bombas, expostas a seguir, no item 6.3.4.8.

6.3.4.8 CRITÉRIO DE DISPONIBILIDADE DOS CONJUNTOS MOTOBOMBA DO PISF

As condições de projeto do Sistema PISF consideraram a disponibilidade para o bombeamento contínuo durante 21 horas diárias, de segunda a sexta-feira, prevendo-se a paralisação do sistema durante 3 horas diárias. Durante os finais de semana, o projeto considerou a possibilidade do bombeamento contínuo durante as 24 horas diárias. Essas premissas resultam em um fator de disponibilidade dos conjuntos motobomba de 91% = [(21 x 5 + 24 x 2) / (24 x 7)].

Além disso, também devem ser consideradas na modelagem da operação do PISF um critério de planejamento que incorpore, nesse fator de disponibilidade, as horas adicionais de parada obrigatória para manutenção programada dos conjuntos motobomba.

Para tanto, computaram-se as horas paradas devido à ocorrência de manutenções diárias, semanais, mensais, trimestrais, anuais e a cada 5 e 15 anos em cada conjunto motobomba de cada estação de bombeamento. Para esse critério supõe-se, por exemplo, que a manutenção do conjunto 1 na EBV-5 ocorrerá simultaneamente à manutenção do conjunto 1 na EBV-6, de maneira a que a perda proporcional da disponibilidade de bombeamento na EB de montante permita a manutenção equivalente na EB de jusante, e assim por diante. Isso significa supor um esforço concentrado de manutenção, que privilegia o aumento de disponibilidade da capacidade de bombeamento, mas que pode não refletir exatamente o que se dará na prática, uma vez que o futuro concessionário pode optar por realizar as manutenções de forma defasada, de maneira a economizar recursos e balancear os serviços de manutenção, a depender de como sejam contratados e executados por ele. Analogamente, é razoável supor que o concessionário defasará os anos de manutenção de cada conjunto, de maneira que a manutenção quinquenal (semi *overhaul*) do 1º conjunto de uma EB não coincida com a manutenção de seu par.

Assim, no cronograma de manutenção considerado, as manutenções estão previstas para ocorrer de maneira intercalada entre o conjunto 1 e 2 em cada EB, e de forma serial e simultânea nas EB de cada eixo.

Com essas considerações, estima-se que, durante o período de 35 anos de estudo, a disponibilidade média de cada conjunto motobomba será da ordem de 78%. Essa porcentagem é obtida segundo a média da disponibilidade diária de todos os meses nos 35 anos do horizonte de planejamento (2026-2060). A depender do ano de referência, essa disponibilidade pode variar de 65% (para os anos de manutenção mais prolongada, com as manutenções gerais de 15 anos dos conjuntos a ocorrer nos anos 15 e 30) até 80% na maioria dos anos típicos do período, em que não ocorrem as manutenções de desmonte parcial previstas a cada 5 anos.

Nas simulações de operação das EBs com mais de 2 bombas, mantém-se a disponibilidade média de 78% resultante para a operação com 2 bombas nos 35 anos do horizonte de planejamento, admitindo que:

- As manutenções de desmontagem parcial (que duram 2 meses) ocorrerão em anos defasados entre as bombas;
- As bombas existentes têm previsão de revisão geral ("overhaul") para o início do período de concessão, com repetição a cada 15 anos, de maneira a tratar a necessidade de manutenção pesada do equipamento recebido pelo novo Concessionário;
- As novas bombas também seguirão a regra de defasagem de um ano entre elas;
- Os meses preferíveis para manutenção parcial e "overhaul" são setembro e outubro e, em seguida agosto e novembro (ou seja, de agosto a novembro poderão se ter as mínimas de disponibilidade em um ano tipo).

Deste modo, considerando o fator de disponibilidade dos conjuntos motobomba de 78%, resultam as capacidades operativas de cada estação de bombeamento do Sistema apresentadas no Quadro 6-7.

Quadro 6-7 – Capacidade operativa das estações de bombeamento considerando fator de disponibilidade de 78%

Eixo	Estação de Bombeamento	Capacidade Nominal (m^3/s)	Capacidade Operativa (m^3/s)				
		01 bomba	01 bomba	02 bombas	04 bombas	06 bombas	08 bombas
Norte	EBI-1	12,37	9,65	19,30	38,59	57,89	77,19
	EBI-2	12,37	9,65	19,30	38,59	57,89	77,19
	EBI-3	11,12	8,67	17,35	34,69	52,04	69,39
Leste	EBV-1	7,00	5,46	10,92	21,84	n/a	n/a
	EBV-2	7,00	5,46	10,92	21,84	n/a	n/a
	EBV-3	7,00	5,46	10,92	21,84	n/a	n/a
	EBV-4	7,00	5,46	10,92	21,84	n/a	n/a
	EBV-5	4,50	3,51	7,02	14,04	n/a	n/a
	EBV-6	4,50	3,51	7,02	14,04	n/a	n/a

Adicionalmente, admite-se bombeamento nas 24 horas diárias em todos os dias da semana, a critério do futuro concessionário, como forma de maior aproveitamento da capacidade instalada nas EBs, desde que mantidas as paradas obrigatórias para manutenção. Nessa hipótese, estima-se que, durante o período de 35 anos de estudo, a disponibilidade média de cada conjunto motobomba será da ordem de 87%.

Deste modo, considerando a hipótese em que o fator de disponibilidade dos conjuntos motobomba é de 87%, as capacidades operativas de cada estação de bombeamento do Sistema são incrementadas, conforme disposto no Quadro 6-8.

Quadro 6-8 – Capacidade operativa das estações de bombeamento considerando fator de disponibilidade de 87%

Eixo	Estação de Bombeamento	Capacidade Nominal (m^3/s)	Capacidade Operativa (m^3/s)				
		01 bomba	01 bomba	02 bombas	04 bombas	06 bombas	08 bombas
Norte	EBI-1	12,37	10,76	21,52	43,05	64,57	86,10
	EBI-2	12,37	10,76	21,52	43,05	64,57	86,10
	EBI-3	11,12	9,67	19,35	38,70	58,05	77,40
Leste	EBV-1	7,00	6,09	12,18	24,36	n/a	n/a
	EBV-2	7,00	6,09	12,18	24,36	n/a	n/a
	EBV-3	7,00	6,09	12,18	24,36	n/a	n/a
	EBV-4	7,00	6,09	12,18	24,36	n/a	n/a
	EBV-5	4,50	3,92	7,83	15,66	n/a	n/a
	EBV-6	4,50	3,92	7,83	15,66	n/a	n/a

6.3.4.9 PROJEÇÃO DAS VAZÕES BOMBEADAS PELO SISTEMA PISF

A modelagem de balanço hídrico das bacias receptoras e dos Eixos do PISF, realizada considerando as estratégias, premissas e critérios antes expostos, obterá como resultado principal as séries projetadas de vazão bombeada, mês a mês, em cada estação de bombeamento dos Eixos Norte e Leste ao longo do horizonte de planejamento, resultantes da projeção das demandas hídricas nas bacias receptoras e nos portais de entrega do PISF no horizonte 2026-2060.

Tais séries serão *input* para o cálculo do consumo de energia elétrica demandada para bombeamento dessas vazões, conforme será apresentado em Tomo específico deste relatório.

6.4 COMPILAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA, CRITÉRIOS E PREMISSAS DE MODELAGEM

Nos itens anteriores deste Capítulo, discorreu-se em detalhes sobre todos os critérios, premissas e dados de entrada das simulações de balanço hídrico realizadas nas bacias receptoras e nos Eixos Norte e Leste do PISF, incluindo período simulado nas bacias receptoras, demandas alocadas aos mananciais modelados nas bacias receptoras, demandas estimadas nos portais do PISF para atendimentos às bacias receptoras e aos usos difusos ao longo dos canais, dentre outros, com o objetivo de subsidiar a modelagem para projeção das vazões bombeadas no Sistema.

Tais informações são compiladas no quadro resumo que se apresenta na sequência.

Quadro 6-9 – Compilação dos dados de entrada, critérios e premissas de modelagem

Pressuposto básico	Como pressuposto básico, admitiu-se que os Estados receptores encomendarão, nos portais de entrega do PISF, os volumes de água (ou vazões) necessários para suprimento dos déficits hídricos associados às demandas das bacias receptoras (ou seja, da parcela das demandas não atendida pela oferta hídrica endógena) e para manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores, devidamente acrescidos das perdas ao longo do sistema natural (perdas por evaporação nos reservatórios receptores e perdas em trânsito nos leitos naturais) por onde escoam as águas do PISF bacia adentro, e, preferencialmente, redistribuídos temporalmente respeitando o regime de bombeamento mensal considerado para operação das estações dos Eixos Norte e Leste, seguindo as expectativas mais recentes dos estados receptores quanto à temporalização dos aportes advindos do PISF, traduzidas no PGA de 2023.
Metodologia	Confronto entre a oferta hídrica endógena das bacias receptoras adicionada à oferta garantida pelo Sistema PISF e as demandas estimadas para cada uso da água ao longo do horizonte de planejamento (2026 a 2060), caracterizando o balanço hídrico futuro das bacias receptoras integrado à operação dos eixos de adução do PISF.
Sistema de Suporte à Decisão empregado	AcquaNet, modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Estratégia de Modelagem	Traçada à luz dos limites de responsabilidade de cada ente - Federal e Estaduais - na operação e gestão dos recursos hídricos do PISF e das bacias receptoras: • Operadoras estaduais: responsável por analisar as demandas e as ofertas hídricas de cada bacia hidrográfica do seu estado. O balanço hídrico, à luz das estratégias próprias de cada Estado, indicará os aportes desejáveis em cada portal do PISF, para o atendimento de suas necessidades, cujos pedidos são formalizados à operadora federal via Plano Operativo Anual; • Operadora federal do PISF: responsável pela operação do sistema de obras implantadas, devendo garantir a adução até os portais de entrega localizados ao longo do sistema e em suas extremidades, a partir de onde a responsabilidade de adução e distribuição da água transposta é transferida aos estados receptores. Representa a integração entre as modelagens dos Eixos do PISF (esfera Federal) e das bacias receptoras (esfera Estadual): as vazões resultantes da modelagem das bacias receptoras na saída de cada portal fornecem as demandas ao Sistema PISF naquele portal, segundo o regime de bombeamento definido.
Situação de Atendimento Referencial do PISF	Consideradas as infraestruturas de adução existentes e aquelas habilitadas pelo PNSH (ANA, 2019b atualizado em MIDR/IICA, 2023) que se encontram em estágio de obras, além dos ramais do PISF e infraestruturas associadas, seja em estágio de obras, projeto ou estudo.

Quadro 6-9 – Compilação dos dados de entrada, critérios e premissas de modelagem

Modelagem das bacias receptoras	**Bacias Modeladas**	Bacias hidrográficas receptoras do PISF, definidas na Nota Técnica da ANA nº 390 (ANA, 2005b), sendo: • Eixo Leste: Bacia hidrográfica do rio Paraíba; bacia hidrográfica do rio Ipojuca; bacia hidrográfica do rio Moxotó; bacia hidrográfica do rio Pajeú e Navio; • Eixo Norte: Bacia hidrográfica do rio Apodi; bacia hidrográfica do rio Jaguaribe; bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu e bacia hidrográfica do rio Terra Nova - Brígida.
	Período simulado (oferta hídrica endógena)	Período histórico de vazões naturais afluentes médias mensais aos reservatórios situados nas bacias receptoras: • Bacias receptoras do Eixo Leste: janeiro de 1917 a dezembro de 1990 – período limitado pela disponibilidade de dados históricos de vazões afluentes na bacia do rio Paraíba - 74 anos de dados; • Bacias receptoras do Eixo Norte: janeiro de 1913 a dezembro de 2012 - 100 anos de dados.
	Demandas hídricas consideradas na modelagem	Demandas de abastecimento humano urbano e rural, dessedentação animal, irrigação e industrial, projetadas para os horizontes temporais de 2026 (início do horizonte de planejamento e ano de entrada em operação do Ramal do Apodi), 2027 (ano de entrada em operação da 1ª etapa do Ramal Piancó e do Ramal Salgado), 2031 (prévio à entrada em operação do Ramal Entremontes), 2032 (ano de entrada em operação do Ramal Entremontes), 2041 (representativo da máxima demanda de abastecimento humano), 2049, 2050 e 2060 (horizonte final de plano). As demandas são apresentadas no Anexo 2.
	Prioridades de atendimento às demandas nas bacias receptora	Esquemas de prioridades definidos de modo a representar duas condições de atendimento pelo PISF: (i) atendimento apenas às demandas prioritárias das bacias receptoras (abastecimento humano e dessedentação animal) e à manutenção de volume meta nos reservatórios receptores; e (ii) atendimento às demandas totais das bacias receptoras (acrescem-se à condição anterior as demandas de irrigação e indústria) e à manutenção de volume meta nos reservatórios receptores.
	Volume meta dos reservatórios das bacias receptoras	• Reservatórios receptores do PISF: volume meta igual ao seu volume mínimo, visando prover um aproveitamento mais racional das águas locais disponíveis nos reservatórios receptores, mantendo-os com menor acumulação de modo a minimizar as perdas por evaporação e por vertimentos; • Reservatórios não receptores do PISF: volume meta igual ao seu volume máximo, de modo que toda a vazão regularizada por esses reservatórios seja utilizada para atendimento aos usos locais, contando-se apenas com seus vertimentos para atendimento aos usos de jusante.
	Perdas por evaporação nos reservatórios das bacias receptoras	Obtidas a partir dos vetores de evaporação e precipitação sobre o espelho d'água, conforme determinado nos itens 1.1 e 1.2 deste Tomo II.

Quadro 6-9 – Compilação dos dados de entrada, critérios e premissas de modelagem

Modelagem das bacias receptoras	**Perdas físicas em leitos naturais**	Admitiu-se que os trechos de rio receptores do PISF serão perenizados pelas vazões advindas desse Sistema e, portanto, o coeficiente de perda em trânsito ao longo desses trechos de rio, a ser adotado nas simulações de operação do Sistema PISF, é de 0,6% km^{-1}. Para os trechos de rio não receptores do PISF, o coeficiente de perda em trânsito é: • Cursos d'água em substrato cristalino e trechos de rios perenes/perenizados em substrato sedimentar: 0,6% km^{-1}; • Cursos d'água intermitentes sobre substrato sedimentar: 2,3% km^{-1}.
	Integração com a modelagem dos Eixos do PISF	As séries de vazões resultantes na modelagem das bacias receptoras na saída de cada portal fornecem as vazões médias nos portais necessárias para atendimento às bacias receptoras, a serem consideradas como demandas na modelagem dos Eixos do PISF, após a devida redistribuição temporal segundo, preferencialmente, o regime de bombeamento mensal definido com base no PGA de 2023.
Modelagem dos Eixos do PISF	**Oferta hídrica**	Advinda das captações dos Eixos Norte e Leste no rio São Francisco, representadas nas respectivas redes de fluxo por reservatório de capacidade grande o suficiente para o atendimento a todas as suas demandas, sem representar limitação ao Sistema.
	Projeção das demandas hídricas associadas aos portais de entrega do PISF	Vazões médias resultantes do balanço hídrico das bacias receptoras para os horizontes temporais de 2026, 2027, 2031, 2032, 2041, 2049, 2050 e 2060, preferencialmente redistribuídas mês a mês segundo o regime de bombeamento mensal estabelecido para a operação das estações dos Eixos Norte e Leste. As demandas nos portais de entrega são apresentadas no Anexo 3. A modelagem dos eixos do PISF considerando tais demandas fornecerão as projeções mensais de vazão bombeada em cada estação de bombeamento do Sistema PISF.
	Prioridades de atendimento às demandas nos portais de entrega do PISF	Esquema de prioridades definido na Figura 6.15.
	Regime de bombeamento para operação das estações dos Eixos Norte e Leste	Considera, preferencialmente, a representação das expectativas mais recentes dos estados receptores e da Operadora Federal quanto às vazões a serem fornecidas mensalmente pelo PISF, com base na sazonalização das entregas nos portais segundo os comportamentos estabelecidos no Plano de Gestão Anual – PGA de 2023. Caso os resultados da modelagem tenham indicado que o Sistema PISF não tem capacidade de atender a essa sazonalização, admitiu-se flexibilização mensal do regime de bombeamento, mantendo-se o volume anual bombeado para atendimento às demandas das bacias receptoras.

Quadro 6-9 – Compilação dos dados de entrada, critérios e premissas de modelagem

Modelagem dos Eixos do PISF	**Volumes mínimo, máximo e meta nos reservatórios do PISF**	Obtidos a partir de consulta aos projetos de cada componente. Admitiu-se como volume meta de cada reservatório do PISF seu volume mínimo, visando a um aproveitamento mais racional das águas aduzidas do rio São Francisco. Os volumes característicos dos reservatórios do PISF são apresentados no Quadro 6-4 (Eixo Norte) e no Quadro 6-5(Eixo Leste).
	Perdas por evaporação nos reservatórios do PISF e perdas físicas no sistema construído	Obtidas de: • Parecer Técnico ANA 17/2016/SRE - Estimativa de perdas hídricas no PISF Eixo Leste; • Parecer Técnico ANA 19/2016/SRE - Estimativa de perdas hídricas no PISF Eixo Norte.
	Capacidade dos canais e das estações de bombeamento do PISF	Obtidas a partir de consulta aos projetos de cada componente. As capacidades nominais das estações de bombeamento são influenciadas pelas condições de operação e manutenção das bombas.
	Critério de Disponibilidade dos Conjuntos Motobomba	Seguindo os critérios de projeto do PISF, considera a disponibilidade para o bombeamento contínuo durante 21 horas diárias, de segunda a sexta-feira, e durante as 24 horas diárias nos finais de semana. Adicionalmente, considera as horas de parada obrigatória para manutenção programada dos conjuntos motobomba, resultando em uma disponibilidade média de cada conjunto motobomba da ordem de 78%. A critério do futuro concessionário, admite-se bombeamento nas 24 horas diárias em todos os dias da semana, como forma de maior aproveitamento da capacidade instalada nas EBs, desde que mantidas as paradas obrigatórias para manutenção, resultando em uma disponibilidade média de cada conjunto motobomba da ordem de 87%.
Resultados a serem gerados		Projeção de vazão mensal bombeada em cada estação de bombeamento dos Eixos Norte e Leste ao longo do horizonte de planejamento, resultantes da projeção das demandas hídricas nas bacias receptoras e nos portais de entrega do PISF no horizonte 2026-2060. Tais séries serão *input* para o cálculo do consumo de energia elétrica demandada para bombeamento dessas vazões.

6.5 MODELAGEM DE CENÁRIOS DE INVESTIMENTOS E OPERAÇÃO DO SISTEMA PISF

Neste Capítulo serão abordados os cenários de investimentos e custos de operação e manutenção do Sistema PISF, fruto da modelagem de diferentes critérios plausíveis associados às condições de operação das infraestruturas hídricas que compõem o Sistema, em termos de capacidades e regimes de operação das estações de bombeamento; e demandas aos portais de entrega advindas de diferentes condições de atendimento ofertado pelo PISF às bacias receptoras.

A criação de diferentes cenários tem como objetivo explorar a gama de situações que possam alterar, especialmente, os custos de implantação associados à ampliação da capacidade operativa de ambos os Eixos, bem como aos custos operacionais associados ao consumo de energia elétrica nas estações de bombeamento do PISF decorrente de diferentes combinações possíveis dos critérios assinalados.

6.5.1 PREMISSAS PARA DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

As premissas para definição dos cenários de operação do Sistema PISF são fruto das orientações recebidas ao longo de diversas reuniões realizadas com o MIDR/SEPPI, na quais estabeleceu-se:

i. O atendimento somente às demandas prioritárias ou o atendimento às demandas totais (prioritárias + não prioritárias) nas bacias receptoras do PISF;

ii. O fator de utilização das bombas máximo anual recomendado de 95% nas estações de bombeamento dos Eixos Norte e Leste, sob risco de falha no atendimento;

iii. O atendimento, sempre que possível, da sazonalização mensal das demandas nos portais do PISF conforme as proporções estabelecidas no Plano de Gestão Anual (PGA) de 2023;

iv. Caso o Sistema PISF não tenha capacidade de atender a essa sazonalização, admite-se o aproveitamento, ao máximo, da capacidade ociosa das bombas em meses de menor volume de bombeamento nas proporções PGA (flexibilização operativa mensal), postergando investimento em ampliação de capacidade;

v. Adicionalmente, admite-se bombeamento nas 24 horas diárias em todos os dias da semana (flexibilização operativa horária), a critério do futuro concessionário, como forma de maior aproveitamento da capacidade instalada nas estações de bombeamento, desde que mantidas as paradas obrigatórias para manutenção; e

vi. O atendimento, sempre que possível, aos limites do Contrato CCVE – 030 / 2022 de compra e venda de energia elétrica firmado entre CHESF e CODEVASF, que estabelece que a energia mensal contratada para o Sistema PISF esteja no intervalo entre 42,5 MW médio e 127,5 MW médio,

devendo ser respeitado o montante anual de 85 MW médio no período contratual (01/01/2023 a 31/12/2042)[34].

Ademais, estabeleceu-se a verificação das seguintes situações de contorno, especificamente quando do atendimento, pelo PISF, às demandas prioritárias nas bacias receptoras:

vii. Operação em situação de intercorrência, determinando-se o tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, de metade dos conjuntos motobombas, por estação de bombeamento, sem prejudicar o volume anual projetado para bombeamento;

viii. Garantia máxima de atendimento, em %, aos déficits nas bacias receptoras proporcionada pelo PISF[35].

À luz dessas premissas e considerações, foram concebidos e analisados três cenários de operação do PISF, representados na figura abaixo e detalhados nos itens subsequentes.

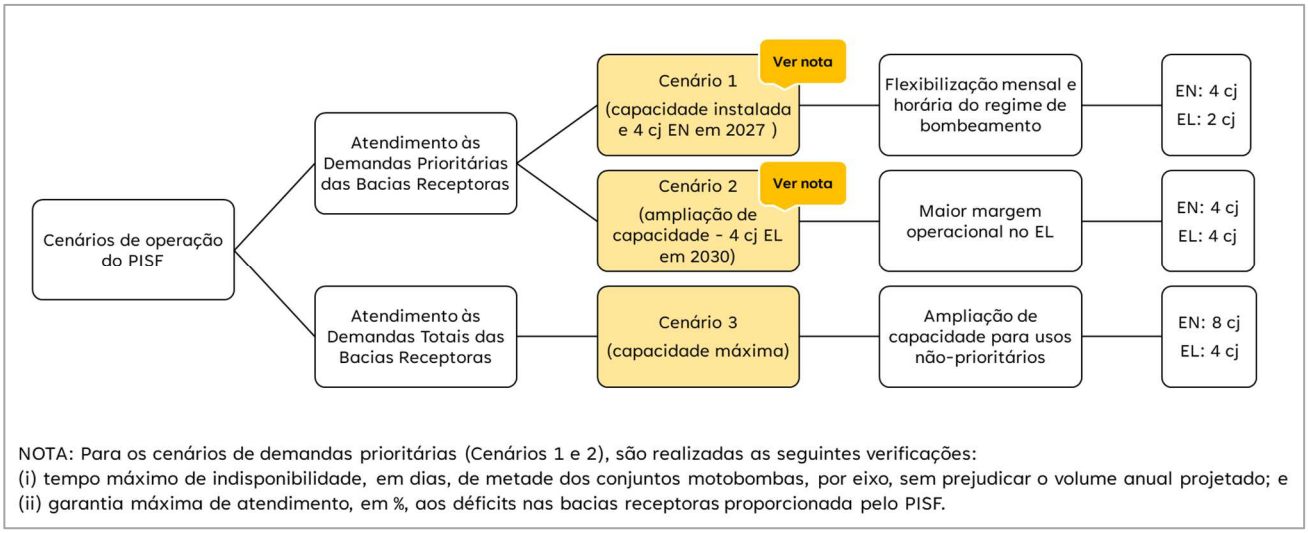


Figura 6.17 – Matriz de Critérios para Definição dos Cenários
(EN: Eixo Norte; EL: Eixo Leste; cj: conjunto motobomba)

[34] O cálculo do consumo de energia elétrica demandada para bombeamento das vazões projetadas no Sistema PISF será apresentado em Tomo específico deste relatório.

[35] Essa verificação visa particularmente trazer subsídios às análises complementares solicitadas pelo MIDR, em resposta às recomendações do CMAP quanto à avaliação da capacidade do Sistema em atender às demandas máximas previstas. CMAP - Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas (2021). Relatório de Avaliação Projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF. Ciclo 2021. 311p. Disponível em https://www.gov.br/economia/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/politicas/2021/gastos-diretos/pisf-relatorio-de-avaliacao.pdf. Acesso em outubro/2023.

6.5.2 CENÁRIO 1: DEMANDAS PRIORITÁRIAS, MÍNIMA CAPACIDADE OCIOSA E MÍNIMOS INVESTIMENTOS

O primeiro cenário de planejamento avaliado considera o atendimento às demandas prioritárias nas bacias receptoras. Como capacidade instalada do Sistema PISF, prevê a operação do Eixo Norte com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (25% da capacidade) até 2026 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) a partir de 2027; e a operação do Eixo Leste com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) até o final do horizonte de planejamento.

Como se verá mais adiante ao longo do item 6.6, a adoção das premissas antes expostas implicou a necessidade de ajuste do regime de bombeamento e da disponibilidade dos conjuntos motobomba no Eixo Leste para o Cenário 1, com flexibilização da operação em base mensal (aproveitamento da capacidade ociosa das bombas nos meses de menor volume de bombeamento das proporções PGA) em todo o horizonte de planejamento e horária (bombeamento contínuo nas 24 horas diárias em todos os dias da semana) a partir de 2050, para garantir o atendimento aos volumes anuais demandados nos portais de entrega deste Eixo. Tais configurações caracterizam, portanto, o Cenário 1 como sendo um cenário de mínima ociosidade[36] na operação das bombas e mínimos investimentos em ampliação de capacidade do sistema.

Complementarmente, foi verificado o efeito de se antecipar a flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste para desde o início do horizonte de estudo (2026), mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 1, configurando-se assim o doravante denominado Cenário 1'.

É importante considerar, no entanto, que os Cenários 1 e 1' requerem um regime de entregas no Eixo Leste praticamente constante ao longo do ano e muito próximo à capacidade máxima do sistema. Isso vai diretamente contra a lógica de entregas sazonais adotada nos PGAs já publicados, indicando que o Cenários 1 e 1' podem não se adequar às necessidades reais da operação vinculada a entregas em leito natural, que dependem da janela ideal do período úmido para minimizar as perdas em trânsito a níveis que não comprometam a viabilidade do transporte da água.

Portanto, apesar de ser a situação de partida no Eixo Leste, a viabilidade técnica do Cenário 1 no médio e longo prazos deve ser considerada com cautela, uma vez que pode resultar na necessidade de entregas significativamente maiores fora da janela ideal, reduzindo a quantidade de água efetivamente utilizada para cada metro cúbico captado, ou limitando o volume que os Estados podem vir a solicitar no Eixo Leste àquele proporcionado pelo Sistema durante a janela ideal, que é substancialmente menor que o déficit hídrico médio a ser atendido, conforme demonstrado pelas simulações realizadas.

O impacto dessas limitações na frustração das expectativas relacionadas ao planejamento dos Estados deve ser avaliado com bastante cuidado, especialmente no que se refere ao risco de potenciais conflitos entre os Estados e o Poder Concedente, bem como suas consequências para o arranjo que sustenta o modelo de negócios.

Quanto ao Eixo Norte, como se verá também no item 6.6, projeta-se para os Cenários 1 e 1' a possibilidade de operação sem necessidade de flexibilização, seja mensal ou horária, em todo o horizonte de planejamento. Ou seja, o Eixo Norte operando a 50% da capacidade desde 2027 apresenta disponibilidade

[36] Como ficará mais claro adiante, essa ociosidade pode ser interpretada como resultado da adoção de uma abordagem mais ou menos conservadora na operação do PISF, ou seja, diz respeito a qual fator de segurança se deseja para o Projeto.

para atendimento ao regime mensal de bombeamento nas proporções PGA e disponibilidade para parada de 3 horas diárias no bombeamento de segunda a sexta-feira.

6.5.3 CENÁRIO 2: DEMANDAS PRIORITÁRIAS, MAIOR CAPACIDADE OCIOSA E MENORES RISCOS OPERACIONAIS

O Cenário 2 diferencia-se do Cenário 1 por considerar, para o Eixo Leste, operação com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) até 2029 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (100% da capacidade) a partir de 2030. É, portanto, um cenário de maior capacidade ociosa no Eixo Leste, acarretando maior margem operacional e menores riscos operacionais quando comparado ao Cenário 1.

A adoção das premissas antes expostas implicou a necessidade de ajuste do regime de bombeamento no Eixo Leste para o Cenário 2, com flexibilização mensal somente até 2029, para garantir o atendimento aos volumes anuais demandados nos portais de entrega deste Eixo. A partir de 2030, com a ampliação para 100% da capacidade instalada no Eixo Leste, projeta-se a possibilidade de sua operação sem necessidade de flexibilização, seja mensal ou horária, até o final do horizonte de planejamento.

Adicionalmente, em função das taxas de ociosidade resultantes nas estações de bombeamento EBV-1 a EBV-4 do Eixo Leste após a ampliação para 4 bombas, foi verificado o efeito da expansão apenas das EBV-5 e EBV-6, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas (50% da capacidade) em todo o horizonte de planejamento, configurando-se assim o doravante denominado Cenário 2'.

Ainda, com o objetivo de se avaliar o efeito da flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste desde o início do horizonte de estudo (2026), foi concebido o Cenário 2'', que deriva do Cenário 2' mantendo todas as demais premissas antes estabelecidas para esse Cenário.

Em relação ao Eixo Norte, mantêm-se nos Cenários 2, 2' e 2'' as mesmas condições do Cenário 1, ou seja, operação com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (25% da capacidade) até 2026 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) a partir de 2027, sem necessidade de flexibilização, seja mensal ou horária, em todo o horizonte de planejamento.

6.5.4 CENÁRIO 3: DEMANDAS TOTAIS, MÁXIMA CAPACIDADE INSTALADA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO NOS EIXOS NORTE E LESTE

O terceiro cenário de planejamento avaliado considera o atendimento às demandas totais (prioritárias e não-prioritárias) nas bacias receptoras.

Como capacidade instalada do Sistema PISF, prevê-se a operação do Eixo Norte com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (25% da capacidade) até 2026, sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) a partir de 2027 e, finalmente, ampliação para 08 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (100% da capacidade) a partir de 2030.

Para o Eixo Leste, prevê-se operação com 02 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (50% da capacidade) até 2029 e sua ampliação para 04 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento (100% da capacidade) a partir de 2030.

Caracteriza-se, portanto, por ser um cenário de investimentos impulsionado por demandas não-prioritárias (sobretudo irrigação), com ampliação para 100% da capacidade instalada em todas as estações de bombeamento dos Eixos Norte e Leste.

Como se verá mais adiante ao longo do item 6.6, projeta-se para o Cenário 3 a possibilidade de operação dos Eixos Norte e Leste sem necessidade de flexibilização, seja mensal ou horária, em todo o horizonte de planejamento, para atendimento ao déficit hídrico médio resultante das simulações em que o PISF pode fornecer água para as demandas totais nas bacias receptoras.

6.6 PROJEÇÃO DE VAZÕES BOMBEADAS PELO SISTEMA PISF NOS CENÁRIOS AVALIADOS

Ao longo deste item são compilados os resultados obtidos na projeção das vazões bombeadas pelo Sistema PISF em cada cenário analisado, fruto da modelagem realizada conforme metodologias, critérios e premissas expostos ao longo dos itens anteriores deste Capítulo 6. Em Tomo específico deste relatório, apresenta-se o cálculo do consumo de energia elétrica demandada para bombeamento dessas vazões.

Os gráficos dos subitens a seguir trazem, para cada cenário, as projeções de vazões anuais e mensais bombeadas em cada estação de bombeamento dos Eixos Norte e Leste, necessárias para atendimento às demandas projetadas em seus portais de entrega ao longo do horizonte 2026-2060. Tais resultados são também apresentados em formato digital no *Anexo 4: Vazões Bombeadas nos Eixos Norte e Leste nos Cenários Avaliados* deste Tomo II. No *Anexo 5: Vazões Entregues nos Portais dos Eixos Norte e Leste nos Cenários Avaliados*, apresentam-se as vazões entregues nos portais do Sistema, totalizadas por eixo, resultantes desses bombeamentos.

Nos gráficos dos subitens a seguir, são também apresentadas as séries correspondentes ao fator de utilização das bombas, calculado em base anual, a partir da relação entre o volume total bombeado no ano e o volume máximo anual passível de bombeamento na estação, função de sua capacidade operativa conforme apresentado no item 6.3.4.8.

6.6.1 CENÁRIO 1: DEMANDAS PRIORITÁRIAS, MÍNIMA CAPACIDADE OCIOSA E MÍNIMOS INVESTIMENTOS

Os gráficos da Figura 6.18 à Figura 6.20 apresentam as projeções de vazões anuais e mensais bombeadas em cada estação de bombeamento dos Eixos Norte e Leste para o Cenário 1, necessárias para atendimento às demandas projetadas em seus portais de entrega ao longo do horizonte 2026-2060.

Considerando as condições de contorno estabelecidas no Eixo Norte para o Cenário 1 observa-se que, com a ampliação de capacidade do Eixo para 4 bombas a partir de 2027, atender-se-ia ao **déficit hídrico médio das demandas prioritárias**[37] em todo o horizonte de planejamento, com fator de utilização das bombas inferior

[37] Na realidade, mais precisamente, trata-se do déficit hídrico médio resultante do atendimento, pelo PISF, das demandas prioritárias e dos volumes-meta dos reservatórios receptores. Essa observação é importante para esclarecer, como demonstrado no item sobre a modelagem da simulação de balanço hídrico, que, nessas circunstâncias, embora o PISF não atenda aos usos não-prioritários, eles estão incluídos no balanço, afetando os saldos de armazenamento dos reservatórios a cada passo da simulação.

ao máximo anual recomendado de 95%. O fator de utilização das bombas da EBI-3 (ponto crítico de todas as estações de bombeamento do Eixo Norte[38]) varia entre 82% (em 2026, com o Eixo Norte ainda operando com 2 conjuntos motobomba em cada EB) caindo para 53% (em 2027, com a duplicação da capacidade instalada) e atingindo 60% (em 2060).

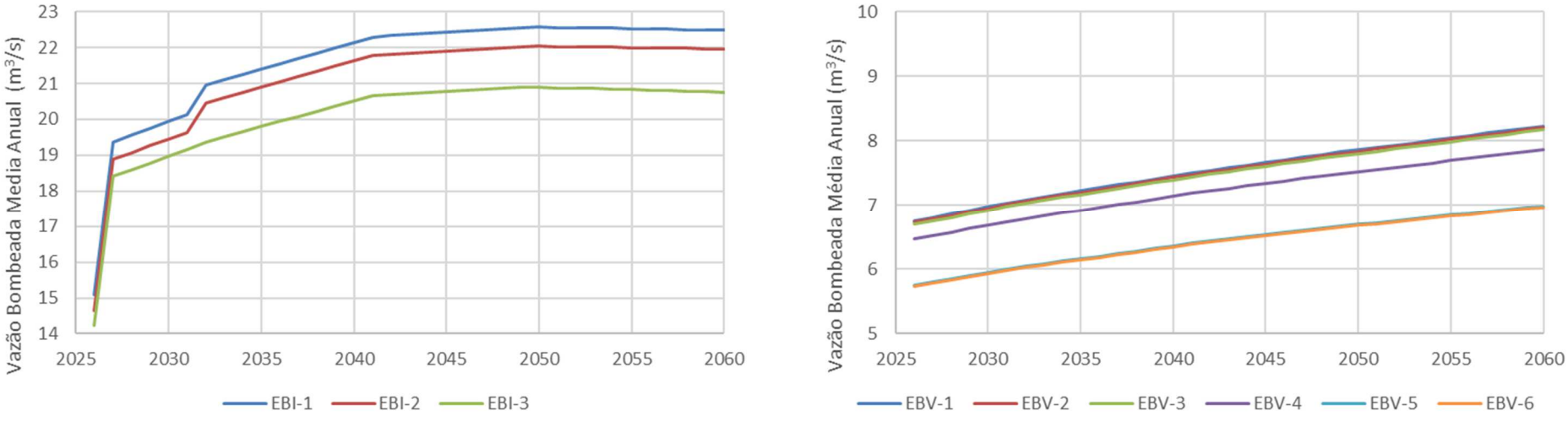
Ainda, com a duplicação das bombas verifica-se a possibilidade de operação do Eixo Norte sem necessidade de flexibilização, mensal ou horária, em todo o horizonte de planejamento. Ou seja, neste Cenário, o Eixo Norte apresenta disponibilidade para atendimento ao regime mensal de bombeamento nas proporções PGA e disponibilidade para parada de 3 horas diárias no bombeamento de segunda a sexta-feira, caso seja necessária.

Já no caso do Eixo Leste, a operação com 2 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento não atende às necessidades de entrega para suprimento do **déficit hídrico médio das demandas prioritárias**, uma vez que exigiria flexibilização do regime de entrega formatado pelo PGA em todo o período de estudo visando atingir o volume anual projetado nos portais. Ainda, exigiria adotar flexibilização do horário de bombeamento (bombeamento contínuo nas 24 horas diárias em todos os dias da semana) a partir de 2050, de modo a garantir folgas superiores a 5% da capacidade disponível.

O fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 no Cenário 1 (pontos críticos de todas as estações de bombeamento do Eixo Leste) varia entre 82% (em 2026) e o máximo de 95% (em 2049), caindo para 86% (em 2050, ano limite para a adoção da flexibilização do horário de bombeamento) e chegando a 89% (em 2060). O fator de utilização das bombas das EBV-1 a EBV-4 varia entre 59% (em 2026) e o máximo de 72% (em 2049), caindo para 62% (em 2050) e chegando a 68% (em 2060), evidenciando maior folga operativa quando comparadas às duas estações de bombeamento de jusante.

No Eixo Leste, apesar de as estações de bombeamento estarem bem distribuídas ao longo do canal, os portais com as maiores demandas estimadas são os que atendem às bacias dos rios Paraíba (PB01L) e Ipojuca (PE13L – Ramal do Agreste), ambos localizados a jusante das duas últimas estações de bombeamento do trecho (EBV-5 e EBV-6), que apresentam capacidade inferior às quatro estações de montante (EBV-1 a EBV-4). Tal condição influencia diretamente nos resultados de bombeamento das EBs de montante para o Cenário 1, que têm suas vazões bombeadas limitadas pela capacidade das duas EBs de jusante, não atingindo sua capacidade operativa. Dado que as condições de operação das seis estações de bombeamento do Eixo Leste estão diretamente relacionadas, as vazões bombeadas nas quatro EBs de montante apresentam comportamento bastante similar ao das duas EBs de jusante (“gargalos” do Eixo Leste), conforme se evidencia nos resultados expostos de forma gráfica na Figura 6.20.

[38] Os portais de entrega mais demandados no Eixo Norte são os que atendem às bacias dos rios Jaguaribe, Piancó-Piranhas-Açu e Apodi. Esses portais estão localizados a jusante da última estação de bombeamento do trecho (EBI-3), que apresenta capacidade inferior à das duas EBs de montante.



(a) **(b)**

Figura 6.18 – Vazões anuais bombeadas nos Eixos Norte (a) e Leste (b) no horizonte 2026-2060 - Cenário 1

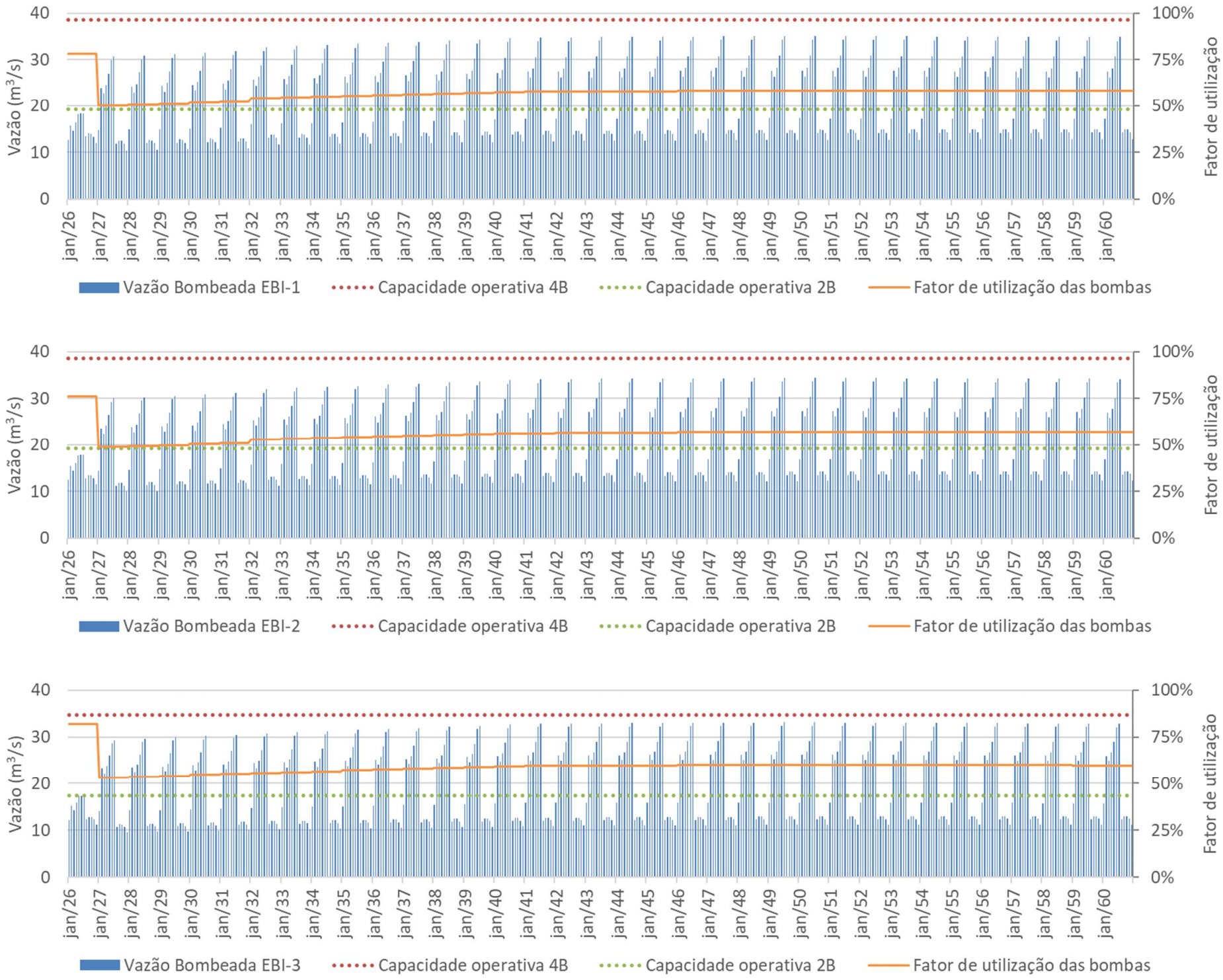


Figura 6.19 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Norte no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 1

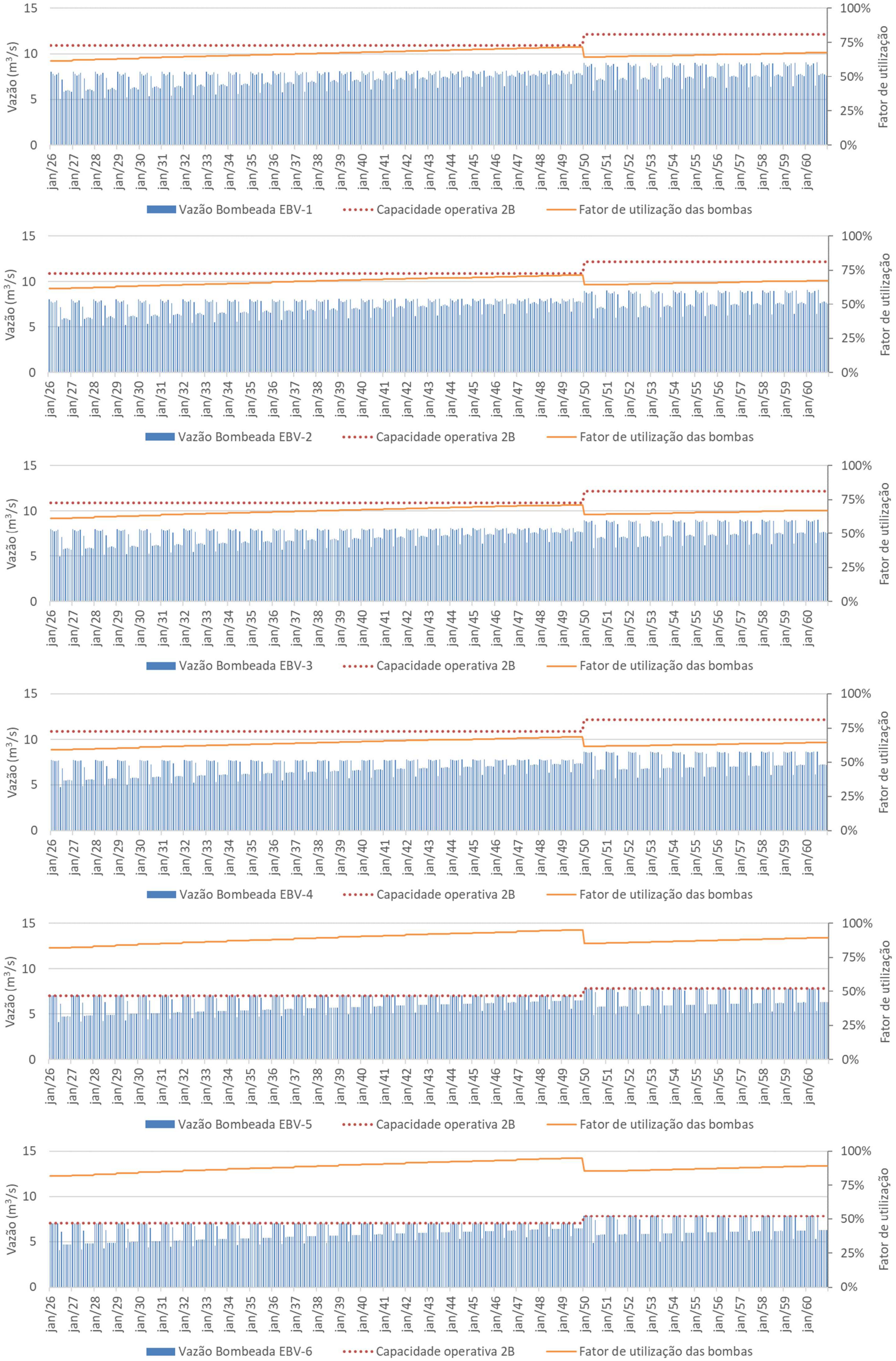


Figura 6.20 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 1

Complementarmente, foi verificado o efeito de se antecipar a flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste (bombeamento contínuo nas 24 horas diárias em todos os dias da semana) para desde o início do horizonte de estudo (ou seja, já em 2026), mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 1.

As projeções mensais de bombeamento no Eixo Leste e o fator de utilização das bombas resultantes desta verificação, denominada Cenário 1', constam da Figura 6.21. Os valores anuais das vazões bombeadas permanecem iguais aos resultantes no Cenário 1, tendo sido apresentados na Figura 6.18. As folgas operativas, por sua vez, são superiores às verificadas no Cenário 1, o que é proporcionado pela antecipação da flexibilização do horário de bombeamento.

O fator de utilização das bombas varia entre 73% (em 2026) e 89% (em 2060) para as EBV-5 e EBV-6, e entre 53% (em 2026) e 68% (em 2060) para as EBV-1 a EBV-4 no Cenário 1', evidenciando maior folga operativa em todas as estações de bombeamento quando comparadas às condições iniciais do Cenário 1.

No entanto, tal como se observou no Cenário 1, a condição operativa estabelecida para o Cenário 1' não atende às necessidades de entrega do Eixo Leste para suprimento do **déficit hídrico médio das demandas prioritárias**, uma vez que exigiria flexibilização do regime de entrega formatado pelo PGA em todo o período de estudo, com entregas significativamente maiores fora da janela ideal para a condução da água nos leitos naturais nas bacias receptoras.

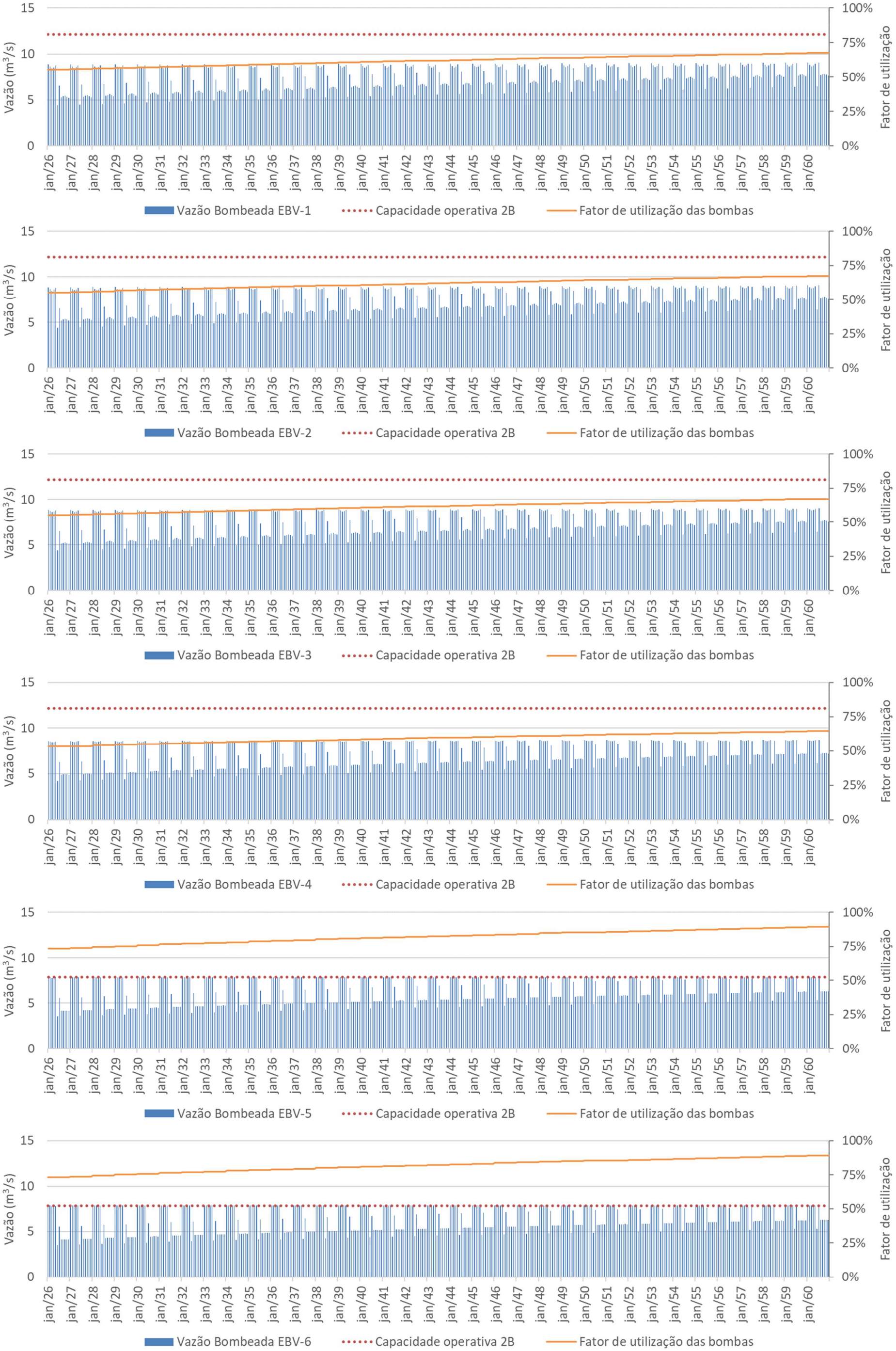


Figura 6.21 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 1': antecipação da flexibilização do horário de bombeamento para desde o início do horizonte de planejamento

6.6.2 CENÁRIO 2: DEMANDAS PRIORITÁRIAS, MAIOR CAPACIDADE OCIOSA E MENORES RISCOS OPERACIONAIS

Conforme já mencionado, no caso de Eixo Norte, são mantidas no Cenário 2 todas as condições de contorno antes estabelecidas para o Cenário 1. Deste modo, as projeções de vazões anuais e mensais bombeadas no Eixo Norte que foram apresentadas no item 6.6.1 (Cenário 1) permanecem válidas para o Cenário 2. Para o Eixo Leste, as projeções de bombeamento do Cenário 2 constam da Figura 6.22 e da Figura 6.23 a seguir.

Considerando as condições estabelecidas para o Eixo Leste no Cenário 2 verifica-se que, com a ampliação de capacidade do Eixo para 4 bombas a partir de 2030, atender-se-ia ao **déficit hídrico médio das demandas prioritárias** em todo o horizonte de planejamento, com folgas superiores a 5% da capacidade disponível, inclusive no regime de bombeamento PGA a partir de 2030 (ou seja, sem necessidade de flexibilização mensal, o que é proporcionado pela ampliação de capacidade), e ainda sem necessidade de flexibilização do horário de bombeamento (ou seja, haveria disponibilidade para parada de 3 horas diárias no bombeamento de segunda a sexta-feira).

Tais configurações operativas resultariam em volumes anuais bombeados no Eixo Leste equivalentes aos verificados no Cenário 1. Deste modo, em comparação ao Cenário 1, em que pese o custo de investimento adicional com a duplicação do Eixo Leste, o montante anual referente ao custo operacional com energia elétrica não deverá se alterar significativamente, uma vez que os volumes totais anuais entregues nos portais dos Eixos Norte e Leste são mantidos.

No Cenário 2, o fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 (críticas no Eixo Leste) variaria de 82% a 84% entre 2026 e 2029 (operação com 2 bombas), caindo para 42% em 2030 (com a duplicação da capacidade instalada), e atingindo 50% em 2060. Ou seja, a ociosidade das bombas na operação com 4 bombas ficaria entre 58% (em 2030) e 50% (em 2060). Nas EBV-1 a EBV-4, o fator de utilização das bombas variaria de 59% a 63% entre 2026 e 2029, caindo para 32% em 2030 e atingindo 38% em 2060, configurando ociosidade entre 68% (em 2030) e 62% (em 2060) na operação com 4 bombas. Logo, **considerando o déficit hídrico médio das demandas prioritárias**, após a ampliação a ocorrer em 2030, verifica-se que o Eixo Leste passaria a operar com capacidade ociosa acima de 50% até o final de plano, configurando menores riscos à continuidade da prestação do serviço pelo Eixo Leste e/ou capacidades de entrega maiores que as exigidas pelo déficit hídrico médio das demandas prioritárias.

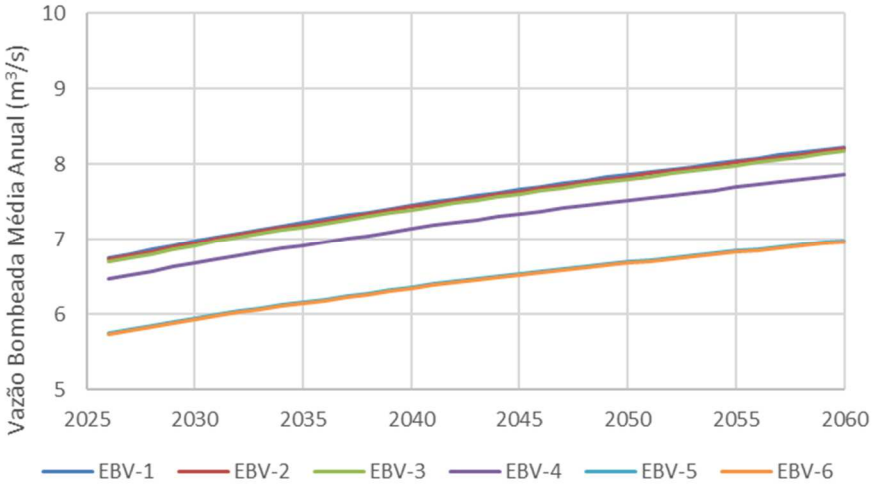


Figura 6.22 – Vazões anuais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 - Cenário 2

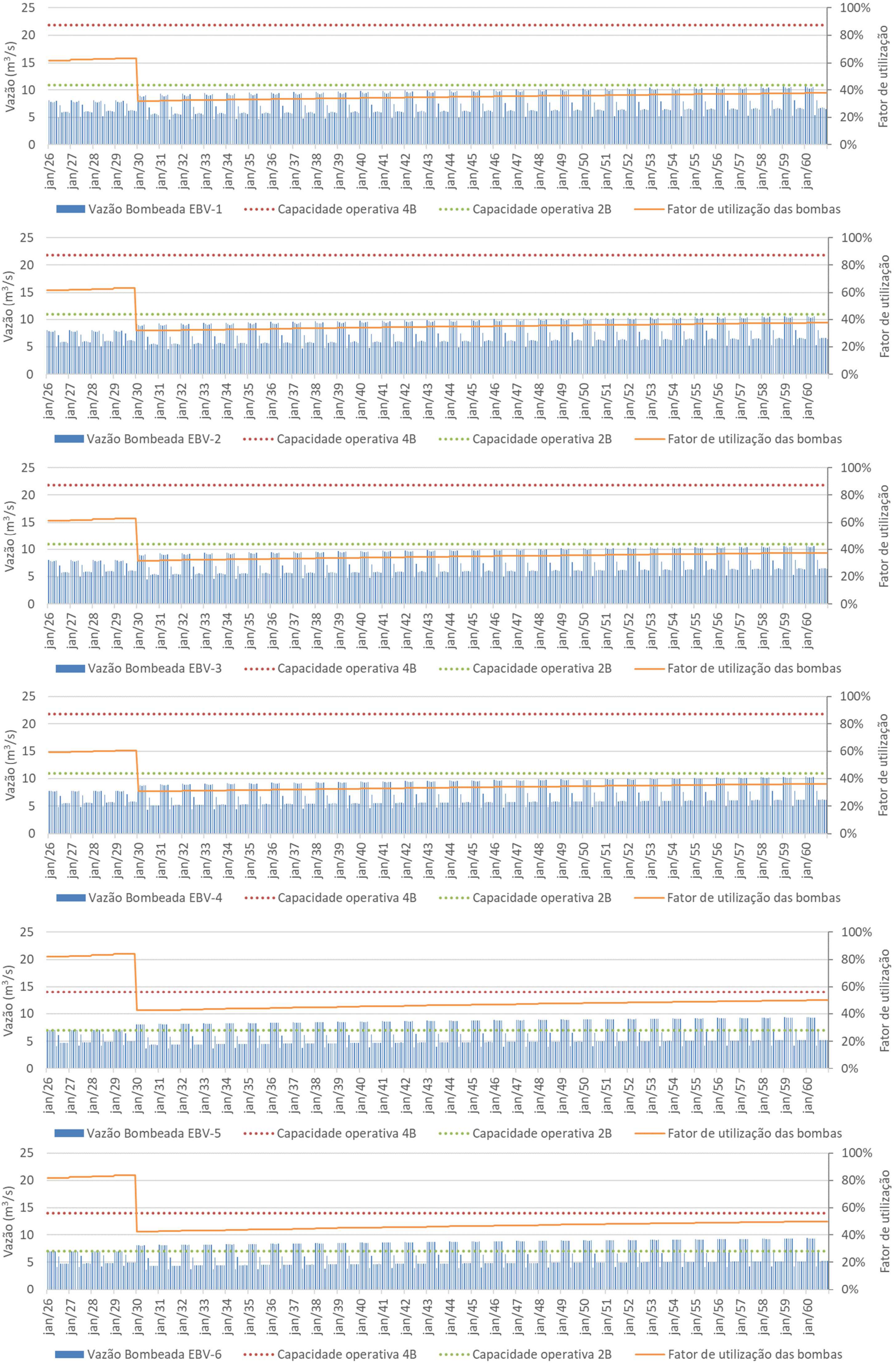


Figura 6.23 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 2

Adicionalmente, em função das taxas de ociosidade resultantes nas EBs de montante (EBV-1 a EBV-4, de maior capacidade) após a ampliação para 4 bombas, foi verificado o efeito da expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 para 4 bombas, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas em todo o horizonte de planejamento.

Nesse ponto, cumpre observar que as vazões de projeto do Eixo Leste foram definidas a partir dos Estudos de Inserção Regional do PISF e das otimizações realizadas nos respectivos Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental[39], em que se estabeleceu a evolução das demandas hídricas ao longo do traçado e nos portais de entrega do sistema, resultando nas seguintes vazões de projeto: 28 m^3/s desde a captação até o reservatório de derivação Copiti (trecho em que se localizam as EBV-1 a EBV-4); e 18 m^3/s a partir deste reservatório (trecho em que se localizam as EVB-5 e EBV-6).

No reservatório Copiti, situado entre as estações de bombeamento EBV-4 e EBV-5, ocorre a derivação para o reservatório Eng. Francisco Saboia ou Poço da Cruz visando ao atendimento das demandas da bacia do Rio Moxotó (PE) - portal PE08L, com vazão máxima de 18 m^3/s, conforme Resolução ANA nº 1.133/2016.

Os Estudos de Inserção Regional do PISF projetaram, para a bacia do rio Moxotó, no horizonte 2025, uma área irrigada de 22,50 mil ha e demanda hídrica total para irrigação de 10,50 m^3/s, considerando fornecimento de água a 100% da área irrigada. Essa demanda compôs-se, em grande parte, pelo atendimento ao Perímetro Irrigado do Moxotó (projeto de Irrigação do DNOCS cuja operação iniciou em 1977, que se desenvolve ao longo das margens do rio Moxotó nos municípios de Ibimirim e Inajá, imediatamente a jusante do reservatório Poço da Cruz, contando com 8,6 mil ha de solos potencialmente irrigáveis) e ao Projeto Arco Íris (à época em estudo pela CODEVASF, que buscava identificar áreas propícias para a exploração agrícola intensiva sob irrigação, trazendo a perspectiva de ampliação da área irrigada na região do baixo Moxotó em cerca de 13,5 mil ha), ambos com suprimento previsto pelo reservatório Poço da Cruz.

Deste modo, considerando as premissas tomadas à época e as projeções de demandas então realizadas, justificava-se a redução da vazão de projeto do Eixo Leste a partir do reservatório Copiti (incluindo, portanto, as estações de bombeamento EVB-5 e EBV-6), dada a derivação ao reservatório Poço da Cruz para abastecimento da bacia do rio Moxotó.

No entanto, tais premissas não se concretizaram, de modo que as projeções mais atuais de demandas refletem condições diversas das previstas anteriormente.

Nesta linha, a Resolução ANA nº 54, de 06 de agosto de 2018[40], que estabeleceu o marco regulatório para uso dos recursos hídricos no sistema Poço da Cruz e rio Moxotó, identificou em seu Anexo II os usos e demandas associadas ao reservatório Poço da Cruz, totalizando uma demanda consuntiva de 1,598 m^3/s (abastecimento público, irrigação e demais usos consuntivos; descontados os usos não consuntivos de geração hidrelétrica e perenização do rio), dos quais 1,418 m^3/s refere-se à demanda do Perímetro Irrigado Moxotó, sendo este identificado como o maior usuário das águas do reservatório.

[39] Os Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental do PISF foram realizados entre 1998 e meados de 2000 e incluíram os respectivos Estudos de Inserção Regional, executados pela VBA Consultores, com a seguinte abrangência: estudos de cenários de apoio; análise prospectiva de demanda de águas das bacias; estudo das disponibilidades hídricas das bacias; montagem de cenários de demanda hídrica; e identificação das oportunidades de investimento.

[40] Disponível em https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/alocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/marcos-regulatorios/marcos-regulatorios-pe. Acesso em fevereiro/2024.

Segundo a Nota Técnica ANA nº 27/2018/COMAR/SRE[41], a área irrigada do Perímetro Moxotó foi sendo alterada durante os anos em função da disponibilidade hídrica, tendo superado 5.200 ha na década de 1980, de acordo com o DNOCS, e reduzido progressivamente até a primeira grande paralisação, em 1996, por dificuldades na infraestrutura e falta de água no reservatório. Segundo o DNOCS, em 2012, a área irrigada totalizava 1.470 ha; já em 2013, a área total irrigada em produção era de 1.095 ha, segundo a UNIVALE.

Tais valores se mostram bastante inferiores aos projetados tanto pela VBA nos Estudos de Inserção Regional como pela ANA na análise do pedido de outorga do PISF, evidenciando que as projeções então realizadas foram otimistas com relação ao crescimento das áreas irrigadas já implantadas, conservadoras quanto às lâminas de irrigação praticadas, ou ainda consideraram demandas potenciais que não se efetivaram, a exemplo do Projeto de Irrigação Arco Íris.

Ainda, tomando-se as referências governamentais oficiais de planejamento do setor, com seus documentos vigentes e em sua versão mais atualizada (as quais foram empregadas para projeção das demandas hídricas no presente estudo), verifica-se que o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019a) projeta, para o horizonte 2040, demandas totais de irrigação na bacia do rio Moxotó de 1,33 m^3/s, valor correspondente a 13% das demandas projetadas nos Estudos de Inserção Regional do PISF para o horizonte 2025.

Importante destacar que ambas as publicações de referência vigentes (ANA, 2019a e ANA, 2021a) consideram a evolução **tendencial** das variáveis projetadas - áreas irrigadas e demandas hídricas -, ou seja, baseiam-se nas tendências observadas no passado e na análise da conjuntura atual para realizar as projeções no horizonte futuro, no qual o ritmo das tendências já observadas é, então, continuado. Ademais, trabalham com o conceito de demandas hídricas **efetivas**, ou seja, demandas já existentes ou projetadas nos cenários de usos da água, portanto sem considerar o potencial de indução do desenvolvimento (e de novas demandas, especialmente no caso da irrigação) a partir do incremento da oferta de água proporcionado pelo PISF.

Deste modo, dadas as projeções atuais de demandas hídricas nas bacias receptoras e nos portais de entrega do Eixo Leste, justifica-se a hipótese de expansão apenas das EVB-5 e EBV-6 para 100% da capacidade instalada (4 bombas), mantendo-se a capacidade atual nas EBV-1 a EBV-4 (2 bombas) em todo o horizonte de planejamento.

Tais configurações operativas, que compõem o denominado Cenário 2', resultariam em vazões mensais bombeadas nas estações do Eixo Leste e vazões mensais entregues em seus portais iguais às verificadas no Cenário 2. Deste modo, o Eixo Leste continuaria atendendo ao **déficit hídrico médio das demandas prioritárias** em todo o horizonte de planejamento, inclusive no regime de bombeamento PGA a partir de 2030, e ainda sem necessidade de flexibilização horária em todo o horizonte.

O fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 também permanece igual ao verificado no Cenário 2 ao longo do horizonte de estudo, ou seja, a ociosidade das bombas da EBV-5 e EBV-6 na operação com 4 bombas ficaria entre 58% (em 2030) e 50% (em 2060). As EBV-1 a EBV-4, cuja operação seria mantida com 2 bombas, passariam a configurar os pontos críticos dentre as estações de bombeamento do Eixo Leste, com fator de

[41] Disponível no sítio. Acesso em fevereiro/2024.

utilização variando de 59% (em 2026) a 75% (em 2060), ou ainda, ociosidade variando entre 41% (em 2026) e 25% (em 2060), caracterizando diminuição das folgas operativas do Eixo Leste.

As projeções de bombeamento e o fator de utilização das bombas resultantes da operação do Eixo Leste no Cenário 2', com expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 a partir de 2030, constam da Figura 6.24. Os valores anuais das vazões bombeadas no Eixo Leste permanecem os mesmos já apresentados na Figura 6.22, para o Cenário 2.

Por fim, visando avaliar o efeito da flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste desde o início do horizonte de estudo (2026), foi concebido o Cenário 2'', que deriva do Cenário 2' mantendo todas as demais premissas antes estabelecidas para esse Cenário.

As projeções de bombeamento e o fator de utilização das bombas resultantes da operação do Eixo Leste no Cenário 2'' constam da Figura 6.25. Os valores anuais das vazões bombeadas no Eixo Leste permanecem os mesmos resultantes para os Cenários 2 e 2', já apresentados na Figura 6.22.

Observa-se que, com a ampliação das EBV-5 e EBV-6 do Eixo Leste para 04 bombas, prevista no Cenário 2'' para ocorrer em 2030, a flexibilização horária não se faz necessária, podendo ser seguido o regime de bombeamento PGA até o final do horizonte de estudo, mesmo sem tal flexibilização.

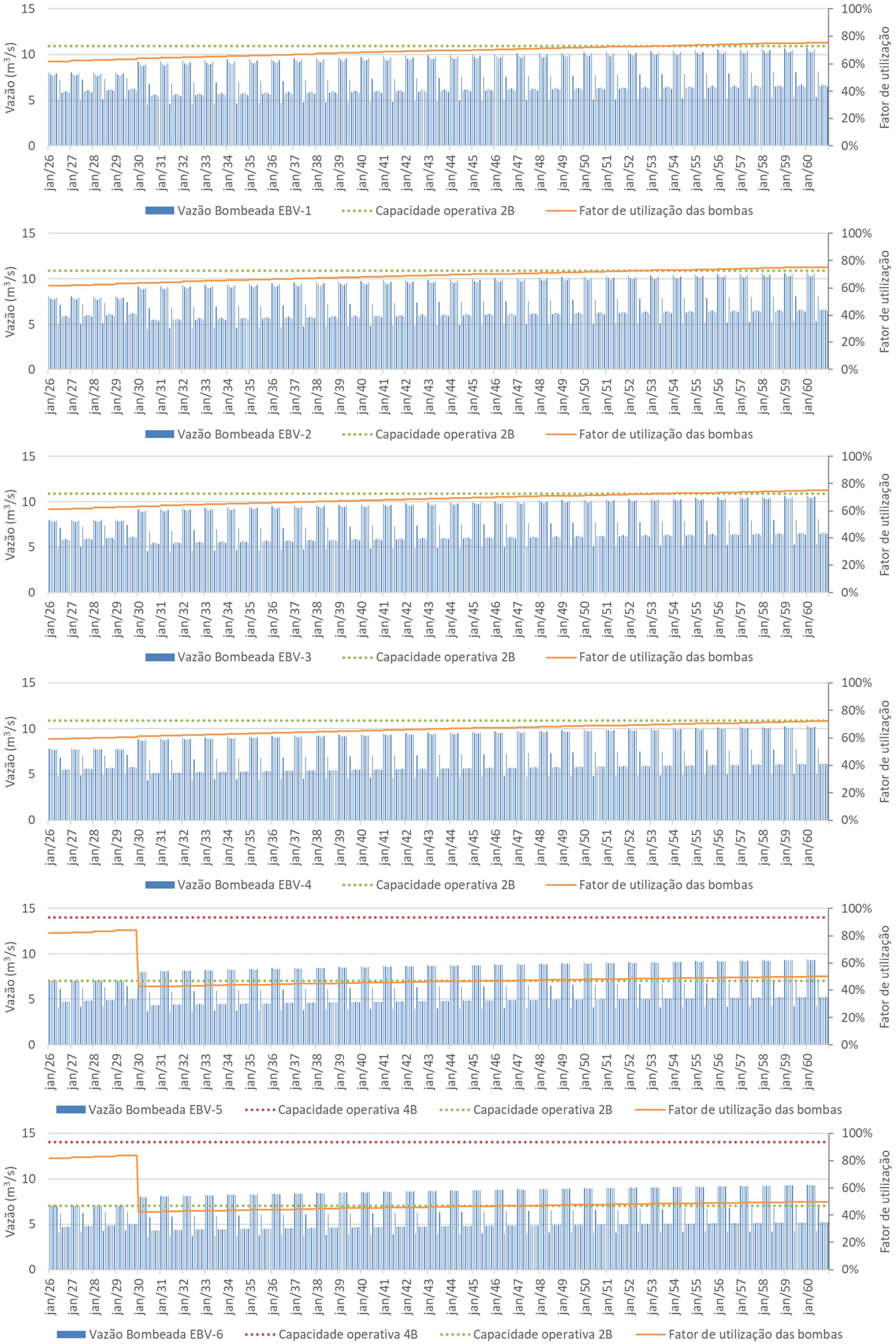


Figura 6.24 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 2': Expansão das EBV-5 e EBV-6 para 4 bombas em 2030, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas em todo o horizonte de planejamento

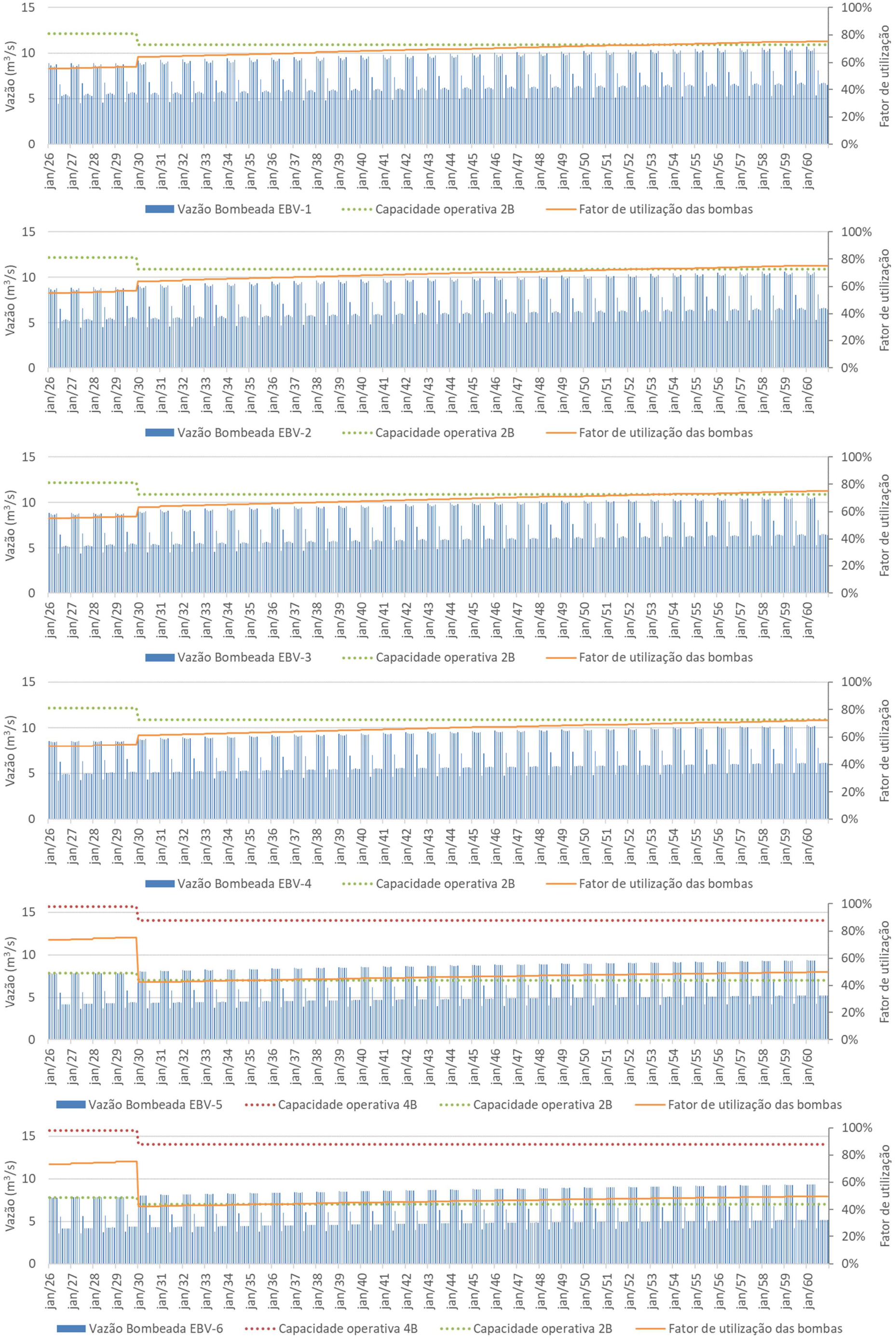


Figura 6.25 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 2'': Expansão das EBV-5 e EBV-6 para 4 bombas em 2030, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas em todo o horizonte de planejamento | Flexibilização horária do regime de bombeamento de 2026 a 2029

6.6.3 CENÁRIO 3: DEMANDAS TOTAIS, MÁXIMA CAPACIDADE INSTALADA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO NOS EIXOS NORTE E LESTE

Os gráficos da Figura 6.26 à Figura 6.28 apresentam as projeções de vazões anuais e mensais bombeadas nos Eixos Norte e Leste no Cenário 3, necessárias para atendimento às demandas projetadas em seus portais de entrega ao longo do horizonte 2026-2060, que, neste cenário, refletem o atendimento ao **déficit hídrico médio relacionado às demandas totais** (prioritárias e não-prioritárias) nas bacias receptoras, puxando os investimentos em ampliação das estações de bombeamento de ambos os eixos para sua capacidade máxima em 2030.

Observa-se que, para atendimento às demandas totais, o Eixo Norte necessitaria operar com 8 bombas (condição admitida a partir de 2030), mas ainda haveria falha no atendimento ao déficit hídrico médio das demandas totais na bacia do rio Jaguaribe em todo o horizonte de planejamento, decorrente de limitação de capacidade dos portais de entrega que atendem a essa bacia. Até 2029, com o Eixo Norte operando com 2 ou 4 bombas, evidencia-se falha no atendimento a todas as bacias receptoras do Eixo Norte, decorrente de limitação de capacidade instalada em suas estações de bombeamento.

O fator de utilização das bombas da EBI-3 (“gargalo” do Eixo Norte) é de 100% de 2026 a 2029 (operação com 2 ou 4 bombas), caindo para 83% em 2030 (com a ampliação da capacidade instalada para 8 bombas) e atingindo 92% (em 2060).

No caso do Eixo Leste, com a ampliação de todas as estações de bombeamento para 4 bombas a partir de 2030, atender-se-ia **ao déficit hídrico médio das demandas totais estimadas** em todo o horizonte de planejamento, inclusive no regime de bombeamento PGA, com folgas superiores a 5% da capacidade disponível.

Neste cenário, o fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 (“gargalos” para o Eixo Leste) variaria de 78% a 79% entre 2026 e 2029 (operação com 2 bombas), caindo para 44% em 2030 (com a duplicação da capacidade instalada), e atingindo 52% em 2060. Ou seja, a ociosidade das bombas na operação com 4 bombas ficaria entre 56% (em 2030) e 48% (em 2060) para atendimento aos déficits hídricos médios. O fator de utilização das bombas das EBV-1 a EBV-4 variaria de 59% a 64% entre 2026 e 2029, caindo para 35% (em 2030), e atingindo 42% (em 2060), novamente evidenciando maior folga operativa quando comparadas às duas estações de bombeamento de jusante.

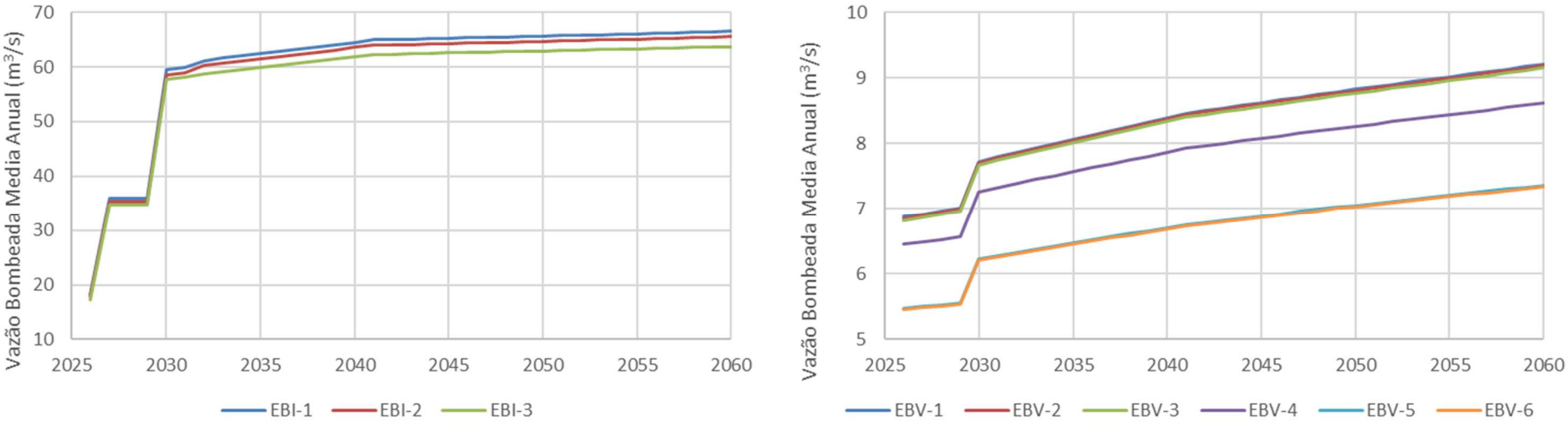


Figura 6.26 – Vazões anuais bombeadas nos Eixos Norte (a) e Leste (b) no horizonte 2026-2060 - Cenário 3

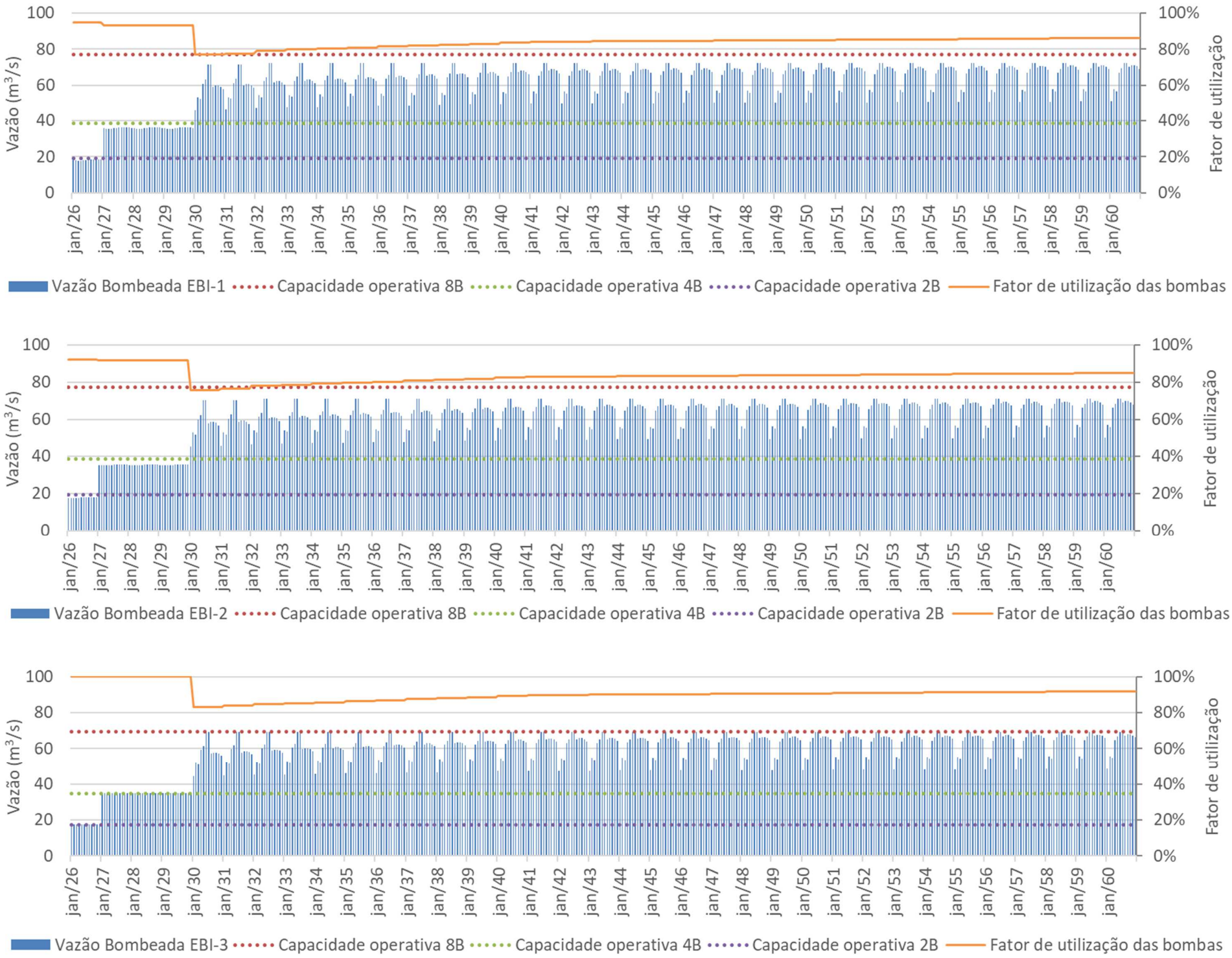


Figura 6.27 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Norte no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 3

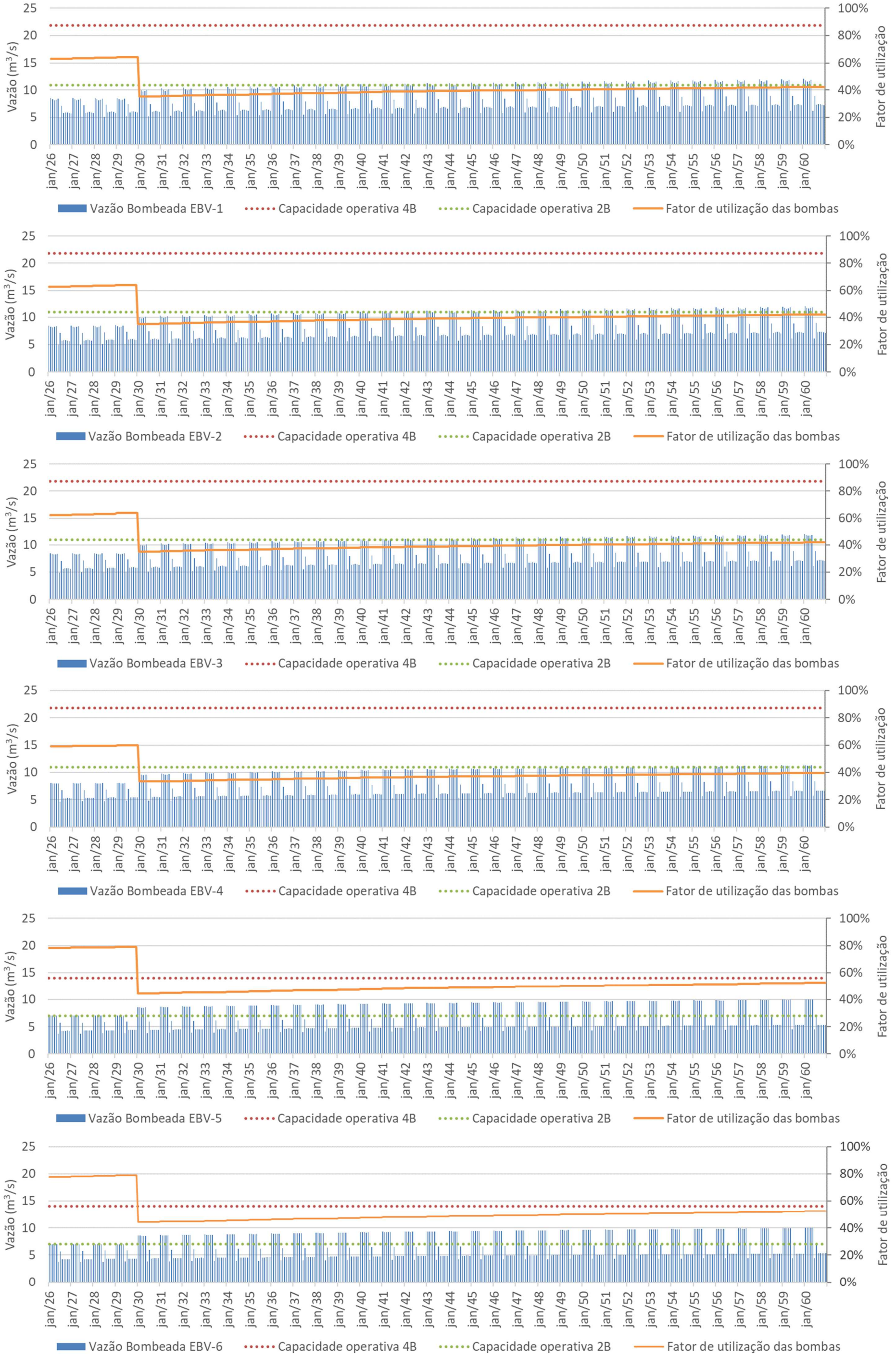


Figura 6.28 – Vazões mensais bombeadas no Eixo Leste no horizonte 2026-2060 e fator de utilização das bombas - Cenário 3

6.7 VERIFICAÇÃO DA OPERAÇÃO EM SITUAÇÃO DE INTERCORRÊNCIA NO ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS PRIORITÁRIAS

Atendendo às premissas antes estabelecidas para definição dos cenários de operação do PISF e às orientações recebidas do MIDR e da SEPPI, o presente item tem por objetivo apresentar uma verificação de situação de estresse na operação do Sistema, através da simulação de eventual ocorrência de acidente ou qualquer outro evento inesperado em algum componente do sistema de adução (motor, bomba, conduto, válvulas, etc.) que inabilite 50% da capacidade operativa em cada estação de bombeamento, em qualquer um dos Eixos, demandando paradas para manutenção não programada e intensificando a utilização dos conjuntos motobomba remanescentes.

Como resultado dessas simulações, obteve-se o tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias (adicionais aos dias de paradas programadas), possível de ser admitido em cada estação de bombeamento (afetando 50% da capacidade operativa) de modo a não prejudicar o volume anual projetado para entrega nos portais, mantendo-se assim o atendimento ao déficit hídrico médio das demandas prioritárias.

Tais resultados evidenciam o ganho de margem operacional obtido na ampliação de capacidade planejada nos dois Eixos (de 25% para 50% de capacidade no Eixo Norte em 2027, e de 50% para 100% de capacidade no Eixo Leste em 2030, segundo premissa do Cenário 2), conforme se observa nos quadros a seguir.

Para o Eixo Leste, as regras operacionais adotadas no Cenário 1 descontam 22% do tempo total para paradas programadas (80 dias/ano) entre 2026 e 2049 e 13% do tempo total (47 dias/ano) entre 2050 e 2060. Esta redução seria necessária para aumentar o aproveitamento da capacidade instalada no Eixo a partir de 2050, quando se prevê atingir limite estipulado de 95% de utilização das bombas. Deste modo, restam como tempo disponível para operação 285 dias/ano entre 2026 e 2049 e 318 dias/ano a partir de 2050.

Na verificação apresentada no Quadro 6.10, conclui-se que a EBV-5 é a estação crítica do Eixo Leste no Cenário 1, com limite de tempo para paradas não programadas de 28 dias em 2049 (que equivale ao período necessário para realização de manutenção anual programada de um conjunto motobomba) e 68 dias em 2060 (aproximadamente 90% do tempo requerido para a realização de manutenção quinquenal de um conjunto motobomba). Com esses critérios, identifica-se que não há redundância em todo o período analisado, configurando-se em um risco operacional previsto na operação do Eixo Leste com 2 conjuntos motobomba em todas as estações de bombeamento até o final do horizonte de planejamento.

Quando se avalia a antecipação da flexibilização do horário de bombeamento no Eixo Leste para desde o início da operação (Cenário 1'), observam-se maiores folgas operativas, com aumento nos limites de tempo para paradas não programadas em todas as estações de bombeamento, proporcionado por esta flexibilização já em 2026 (Quadro 6.11).

Já no Cenário 2, as regras operacionais adotadas para o Eixo Leste descontam 22% (80 dias/ano) do tempo total para paradas programadas em todo o período estudado, possibilitado pelo aumento de capacidade a ocorrer em 2030, restando como tempo disponível para operação 285 dias/ano.

A EBV-5 continua se mostrando a estação crítica do Eixo Leste no Cenário 2 (vide Quadro 6.12), com limite de tempo para paradas não programadas de 99 dias em 2029 (que equivale ao período necessário para

realização de manutenção de 15 anos programada de um conjunto motobomba) e 285 dias em 2060 (configurando-se praticamente como bomba reserva). Conforme esses critérios, com o atendimento do déficit hídrico médio e após a ampliação a ocorrer em 2030, verifica-se que o Eixo Leste passaria a operar com capacidade ociosa acima de 50% em todas as estações de bombeamento, configurando redundância operacional.

Por outro lado, quando se avalia o Cenário 2', que pressupõe a expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 para 4 bombas em 2030, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas em todo o horizonte de planejamento, observa-se maior utilização da capacidade já instalada no Eixo, em prejuízo do limite de tempo para paradas não programadas, que se reduz nas estações de bombeamento de montante. Neste cenário, a estação crítica do Eixo Leste passa a ser a EBV-1, conforme se evidencia no Quadro 6.13. Novamente, quando se avalia o efeito da flexibilização do horário de bombeamento no Eixo Leste no período inicial da operação (2026-2029), em que EBV-5 e EBV-6 operam com 2 bombas (Cenário 2''), observam-se maiores folgas operativas, com aumento nos limites de tempo para paradas não programadas em todas as estações de bombeamento, proporcionado por esta flexibilização (Quadro 6.14).

Para o Eixo Norte, as regras operacionais adotadas nos Cenários 1, 1', 2, 2' e 2'' descontam os mesmos 22% (80 dias/ano) para paradas programadas em todo o período, possibilitado pelo aumento de capacidade a ocorrer em 2027, restando como tempo disponível para operação os mesmos 285 dias/ano. A EBI-3 constitui-se no ponto crítico de todas as estações de bombeamento desse eixo (vide Quadro 6.15), com limite de tempo para paradas não programadas de 103 dias em 2026 (que equivale ao período necessário para realização de manutenção de 15 anos programada de um conjunto motobomba) e 229 dias em 2060 (configurando-se praticamente como bomba reserva em 80% do tempo).

Quadro 6.10 - Tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, em 50% da capacidade operativa das EBs do Eixo Leste no Cenário 1 (2 bombas de 2026 a 2060). Em destaque a EBV-5, crítica do Eixo Leste neste cenário

Horizonte	2026	2027	2031	2032	2041	2049	2050	2060
EBV-1	217	214	203	200	178	161	225	206
EBV-2	218	216	204	201	179	162	226	207
EBV-3	220	218	206	203	181	164	228	209
EBV-4	232	229	218	215	195	179	243	225
EBV-5	103	99	83	79	50	28	92	68
EBV-6	104	100	84	81	52	30	93	70

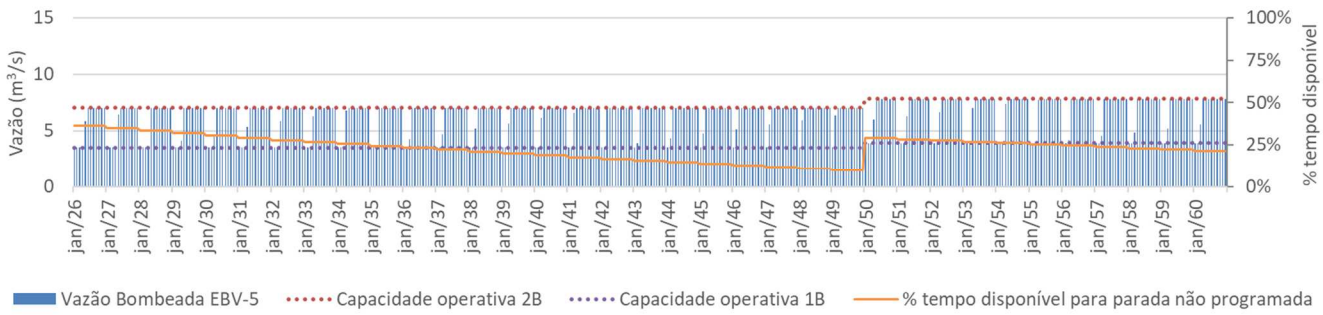


Figura 6.29 – Operação da EBV-5 com intercorrência em 50% da capacidade operativa no Cenário 1 (2 bombas de 2026 a 2060)

Quadro 6.11 - Tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, em 50% da capacidade operativa das EBs do Eixo Leste no Cenário 1' (2 bombas de 2026 a 2060, flexibilização horária antecipada para 2026). Em destaque a EBV-5, crítica do Eixo Leste neste cenário

Horizonte	2026	2027	2031	2032	2041	2049	2050	2060
EBV-1	283	280	268	266	244	227	225	206
EBV-2	284	281	270	267	245	228	226	207
EBV-3	286	283	271	269	247	230	228	209
EBV-4	297	295	284	281	260	245	243	225
EBV-5	168	165	148	145	116	94	92	68
EBV-6	170	166	150	146	117	96	93	70

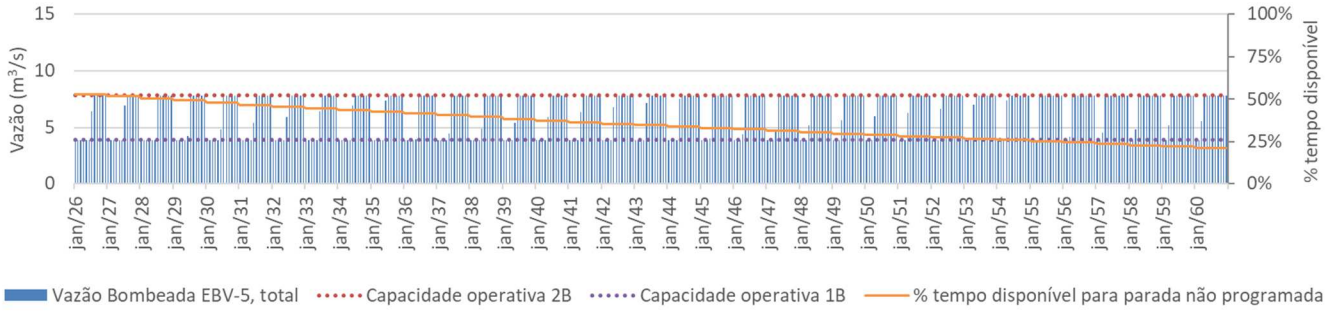


Figura 6.30 – Operação da EBV-5 com intercorrência em 50% da capacidade operativa no Cenário 1' (2 bombas de 2026 a 2060, flexibilização horária antecipada para 2026)

Quadro 6.12 - Tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, em 50% da capacidade operativa das EBs do Eixo Leste no Cenário 2 (2 bombas de 2026 a 2029; 4 bombas a partir de 2030). Em destaque a EBV-5, crítica do Eixo Leste neste cenário

Horizonte	2026	2027	2031	2032	2041	2049	2050	2060
EBV-1	217	214	285	285	285	285	285	285
EBV-2	218	216	285	285	285	285	285	285
EBV-3	220	218	285	285	285	285	285	285
EBV-4	232	229	285	285	285	285	285	285
EBV-5	103	99	285	285	285	285	285	285
EBV-6	104	100	285	285	285	285	285	285

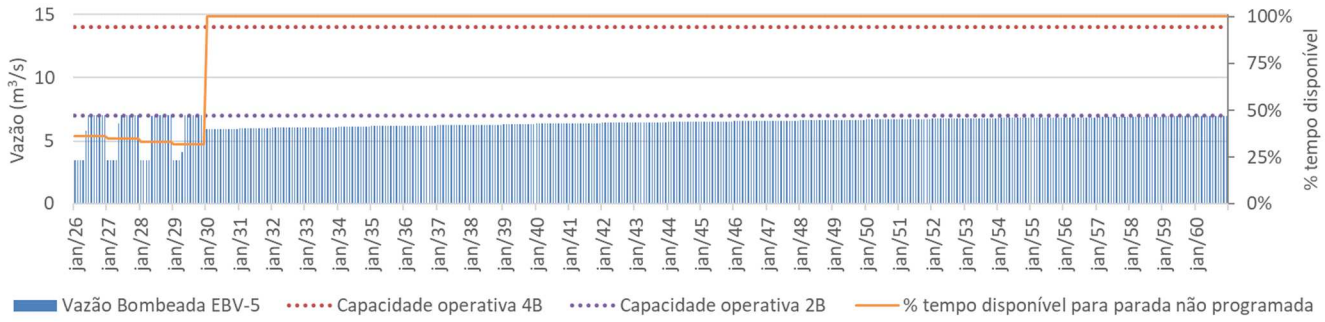


Figura 6.31 – Operação da EBV-5 com intercorrência em 50% da capacidade operativa no Cenário 2 (2 bombas de 2026 a 2029; 4 bombas a partir de 2030)

Quadro 6.13 - Tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, em 50% da capacidade operativa das EBs do Eixo Leste no Cenário 2' (2 bombas de 2026 a 2029; 4 bombas apenas nas EBV-5 e EBV-6 a partir de 2030). Em destaque a EBV-1, crítica do Eixo Leste neste cenário

Horizonte	2026	2027	2031	2032	2041	2049	2050	2060
EBV-1	217	214	202	199	178	161	159	140
EBV-2	218	216	203	201	179	162	160	141
EBV-3	220	218	205	202	181	164	162	143
EBV-4	232	229	217	215	194	178	177	159
EBV-5	103	99	285	285	285	285	285	285
EBV-6	104	100	285	285	285	285	285	285

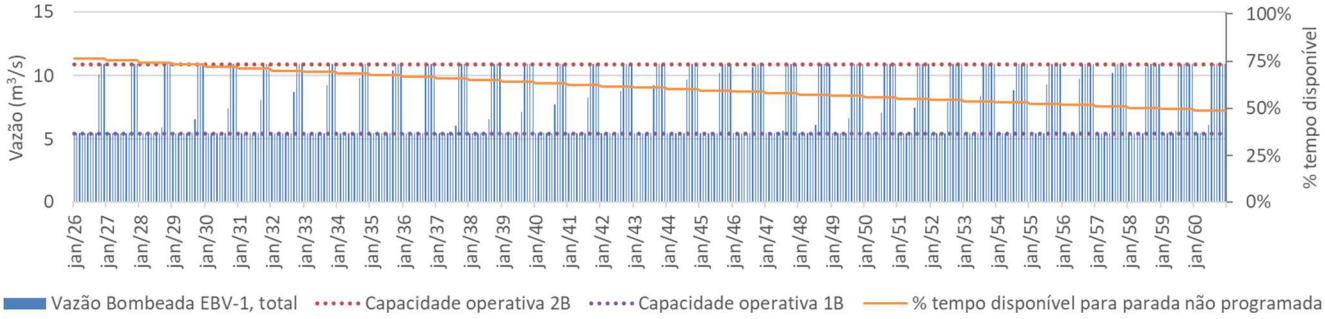


Figura 6.32 – Operação da EBV-1 com intercorrência em 50% da capacidade operativa no Cenário 2'

Quadro 6.14 - Tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, em 50% da capacidade operativa das EBs do Eixo Leste no Cenário 2'' (2 bombas e regime horário flexibilizado de 2026 a 2029; 4 bombas apenas nas EBV-5 e EBV-6 a partir de 2030). Em destaque a EBV-1, crítica do Eixo Leste neste cenário

Horizonte	2026	2027	2031	2032	2041	2049	2050	2060
EBV-1	283	280	202	199	178	161	159	140
EBV-2	284	281	203	201	179	162	160	141
EBV-3	286	283	205	202	181	164	162	143
EBV-4	297	295	217	215	194	178	177	159
EBV-5	168	165	285	285	285	285	285	285
EBV-6	170	166	285	285	285	285	285	285

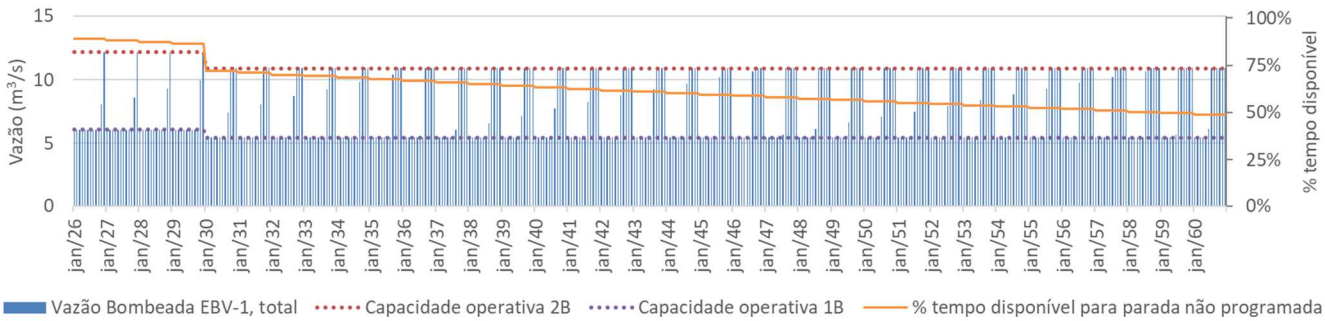


Figura 6.33 – Operação da EBV-1 com intercorrência em 50% da capacidade operativa no Cenário 2''

Quadro 6.15 - Tempo máximo de indisponibilidade não programada, em dias, em 50% da capacidade operativa das EBs do Eixo Norte nos Cenários 1, 1', 2, 2' e 2'' (2 bombas em 2026; 4 bombas a partir de 2027) Em destaque a EBI-3, crítica do Eixo Norte

Horizonte	2026	2027	2031	2032	2041	2049	2050	2060
EBI-1	124	284	272	260	240	237	237	238
EBI-2	137	285	280	268	248	244	244	245
EBI-3	103	267	255	252	230	227	227	229

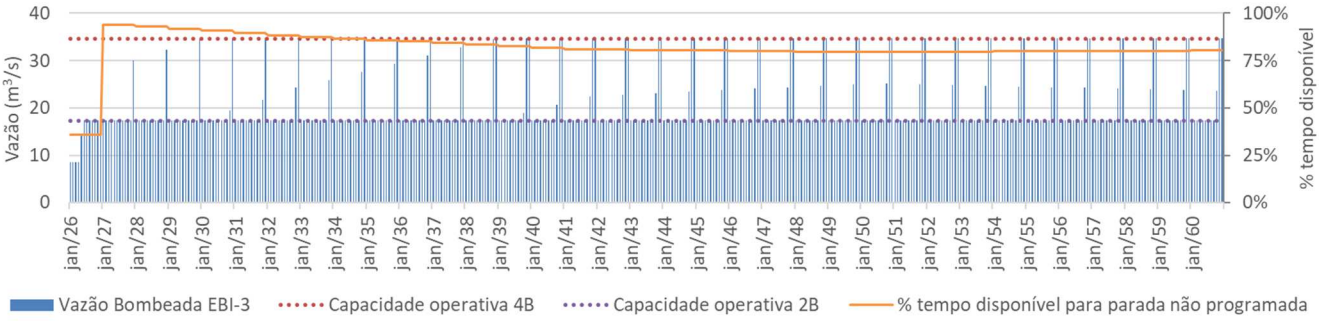


Figura 6.34 – Operação da EBI-3 (crítica do Eixo Norte) com intercorrência em 50% da capacidade operativa nos Cenários 1, 1', 2, 2' e 2'' (2 bombas em 2026; 4 bombas a partir de 2027)

6.8 VERIFICAÇÃO DA GARANTIA DE ATENDIMENTO AOS DÉFICITS HÍDRICOS DAS DEMANDAS PRIORITÁRIAS NAS BACIAS RECEPTORAS SEGUNDO CAPACIDADE INSTALADA DO PISF

O presente item tem por objetivo apresentar uma verificação da garantia máxima de atendimento aos déficits hídricos das demandas prioritárias nas bacias receptoras, possível de ser proporcionada pelo PISF, em suas diversas etapas de implantação da capacidade instalada, a saber: 25%, 50%, 75% e 100% no Eixo Norte, equivalendo à operação com 2, 4, 6 ou 8 bombas; e 50% e 100% no Eixo Leste, equivalendo à operação com 2 e 4 bombas. Para o Eixo Leste, a verificação abrange também a condição operativa resultante da expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 para 4 bombas, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas em todo o horizonte de planejamento.

Tal verificação é fruto das orientações recebidas do MIDR/SEPPI, e busca trazer subsídios às análises complementares solicitadas em resposta às recomendações do CMAP, para avaliação da capacidade do Sistema em atender às suas demandas máximas previstas[42].

Como explicado anteriormente, as vazões demandadas ao PISF previstas ao longo do horizonte de planejamento resultaram da modelagem de balanço hídrico nas bacias receptoras, que consiste no confronto

[42] A Recomendação Complementar nº 3 do relatório de avaliação do PISF realizado pelo CMAP estabelece o seguinte: *"Recomenda-se ao MDR que apresente análises complementares às apresentadas nos estudos de modelagem do PISF, com a adoção de novos cenários, contemplando os possíveis déficits da infraestrutura hídrica voltada para atendimento da demanda e que considerem as consequências e respectivas ações mitigadoras."*

entre a disponibilidade (ou oferta) de água local nos reservatórios e as demandas a eles associadas, tendo sido realizada segundo critérios antes expostos ao longo do item 6.3.

Como pressuposto da modelagem, admitiu-se que as vazões demandadas pelas bacias receptoras nos portais do PISF, mês a mês, seriam aquelas necessárias para suprimento dos déficits hídricos e manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores, devidamente acrescidas das perdas ao longo do sistema natural (perdas por evaporação nos reservatórios receptores e perdas em trânsito nos leitos naturais) por onde escoam as águas do PISF bacia adentro.

De especial interesse para a presente verificação é a análise das demandas prioritárias, quais sejam, abastecimento humano e dessedentação animal, que estarão associadas aos reservatórios receptores do PISF nos horizontes futuros. Nessa situação, são os déficits das demandas prioritárias nos reservatórios receptores (ou seja, a parcela dessas demandas que não é atendida pela oferta hídrica local e a manutenção dos volumes-meta) que irão gerar as demandas nos portais do PISF e, consequentemente, os bombeamentos pelo Sistema.

A oferta hídrica local (ou endógena) nos reservatórios é representada pelas séries históricas de vazões naturais mensais afluentes aos mesmos, resultado de estudo hidrológico baseado na análise e modelagem de dados históricos de chuva e vazão nas bacias contribuintes a cada reservatório, conforme tratado no Capítulo 1.

Para o cômputo da oferta hídrica local, trabalhou-se com séries históricas de chuva e vazão o mais extensas possível, de modo a refletir adequadamente o comportamento dos processos hidrológicos em sua bacia contribuinte e o regime fluviométrico local. A premissa é de que os estudos hidrológicos considerem séries suficientemente longas - preferencialmente englobando a maior diversidade possível de eventos hidrológicos (secas e cheias) - e, portanto, estatisticamente representativas, o que lhes confere, nesse quesito, adequabilidade técnica. Não se trata, portanto, de projeções de vazões futuras, mas sim da reprodução do comportamento hidrológico da bacia com base em seu histórico o mais extenso e representativo possível. Nas bacias receptoras do Eixo Norte, os estudos de oferta hídrica obtiveram séries históricas mensais de afluência natural aos reservatórios que se estendem de janeiro/1913 a dezembro/2012, totalizando 100 anos de dados (ou 1.200 meses, considerando que a modelagem do balanço hídrico é realizada em base mensal). Nas bacias receptoras do Eixo Leste, as séries de afluência natural se estendem de janeiro/1917 a dezembro/1990, perfazendo 74 anos (ou 888 meses) de dados.

Deste modo, para a avaliação dos déficits hídricos das demandas prioritárias nos mananciais receptores do PISF, e consequentemente das vazões demandadas pelas bacias nos portais do PISF, realizou-se a modelagem do balanço hídrico considerando todo o período com disponibilidade de dados históricos, e seu confronto com as demandas projetadas no horizonte do estudo (2026-2060).

A partir dos resultados assim obtidos, puderam ser traçadas as curvas de permanência das vazões demandadas ao PISF, por Eixo, em cada horizonte futuro simulado. Os gráficos da Figura 6.35 e na Figura 6.36 apresentam tais curvas, sendo compostas dos déficits hídricos das demandas prioritárias devidamente acrescidos das perdas hídricas ao longo do sistema natural, acumuladas desde a saída dos portais.

A curva de permanência é uma forma de expressão da frequência de ocorrência no tempo de determinadas vazões, relacionando as vazões e a porcentagem do tempo em que determinado valor de vazão é igualado

ou excedido sobre todo o período histórico utilizado para sua construção. Deste modo, o valor de vazão com permanência 0% em cada uma das curvas abaixo representa a demanda máxima prevista ao PISF no horizonte do estudo (2026-2060), cujo atendimento pleno equivaleria a uma garantia de 100%.

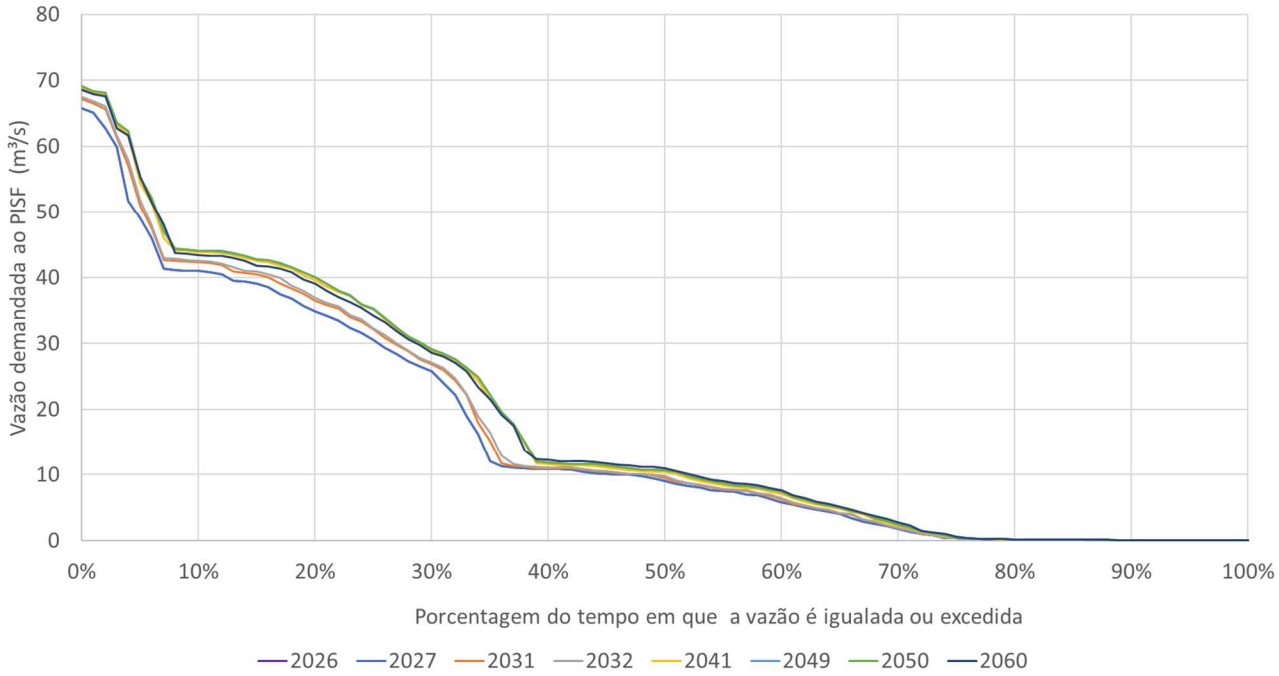


Figura 6.35 – Curva de permanência das vazões demandadas nos portais do Eixo Norte no horizonte do estudo (2026-2060)

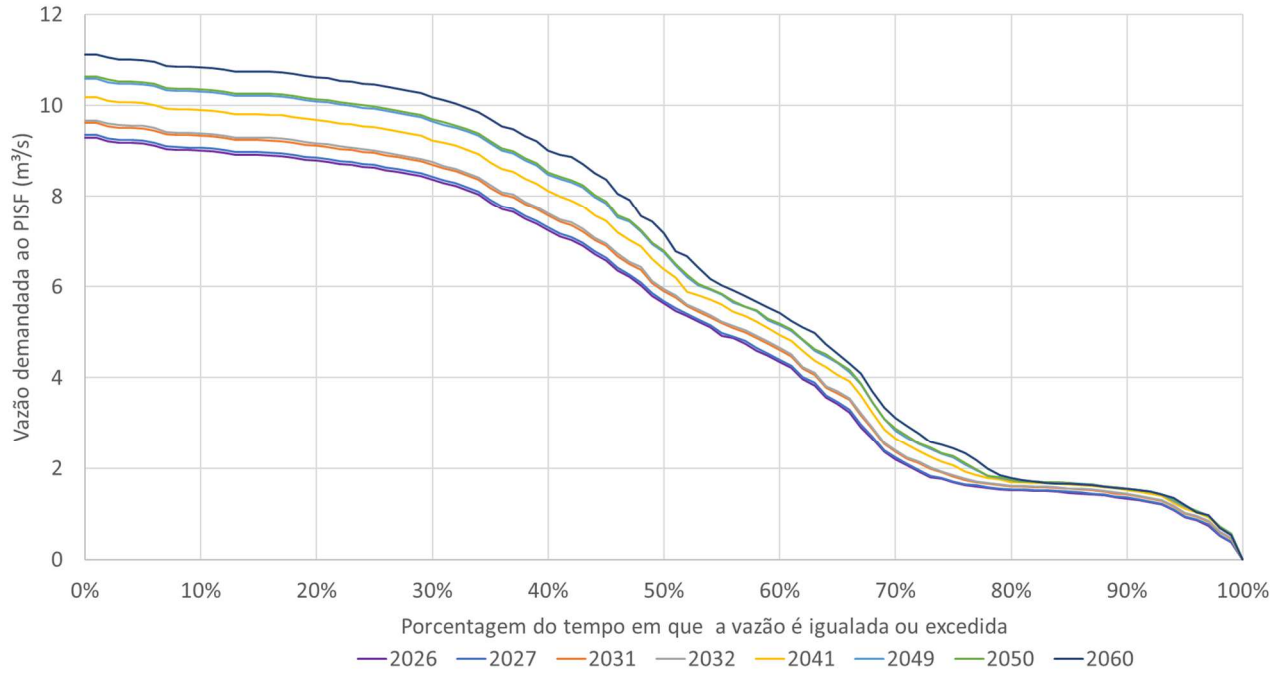


Figura 6.36 – Curva de permanência das vazões demandadas nos portais do Eixo Leste no horizonte do estudo (2026-2060)

A garantia de atendimento proporcionada pelo PISF resulta, assim, do cruzamento entre a vazão máxima possível de ser entregue pelo Sistema (que varia conforme sua capacidade instalada) e as curvas de permanência das vazões demandadas em seus portais.

Os resultados desse cruzamento são apresentados nos gráficos da Figura 6.37 e da Figura 6.38. A título comparativo, na porção inferior dos gráficos são também apresentados os valores médios das séries de vazões demandadas nos portais e suas respectivas garantias, evidenciando a garantia ofertada pelo PISF quando do atendimento ao déficit hídrico médio das demandas prioritárias.

Para verificação da vazão máxima possível de ser entregue, admitiu-se aproveitamento máximo da capacidade do Sistema, com flexibilização mensal e horária do regime de bombeamento em todo o horizonte avaliado.

Evidentemente, com o aumento da capacidade instalada, aumenta-se diretamente a garantia de atendimento às demandas prioritárias dos estados receptores. No Eixo Norte, a garantia de 100% de atendimento à demanda projetada somente seria atingida com 100% de capacidade instalada (8 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento); com 75% de capacidade (6 conjuntos motobomba), supera-se o patamar de 90% de garantia[43] em todo o período de estudo; com 50% de capacidade (4 conjuntos motobomba), garante-se de 78% a 74% da demanda prioritária projetada entre 2026 e 2060; e finalmente com 25% de capacidade (2 conjuntos motobomba, equivalente à capacidade atual do Eixo), prevê-se o atendimento de 66% a 62% demanda prioritária projetada.

As vazões garantidas pelo Eixo Norte em fim de plano são de 14 m^3/s na operação com 2 bombas, 34 m^3/s na operação com 4 bombas, 52 m^3/s na operação com 6 bombas e 69 m^3/s (atendimento ao déficit hídrico máximo) na operação com 8 bombas.

[43] Patamar considerado na análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (ANA, 2005b).

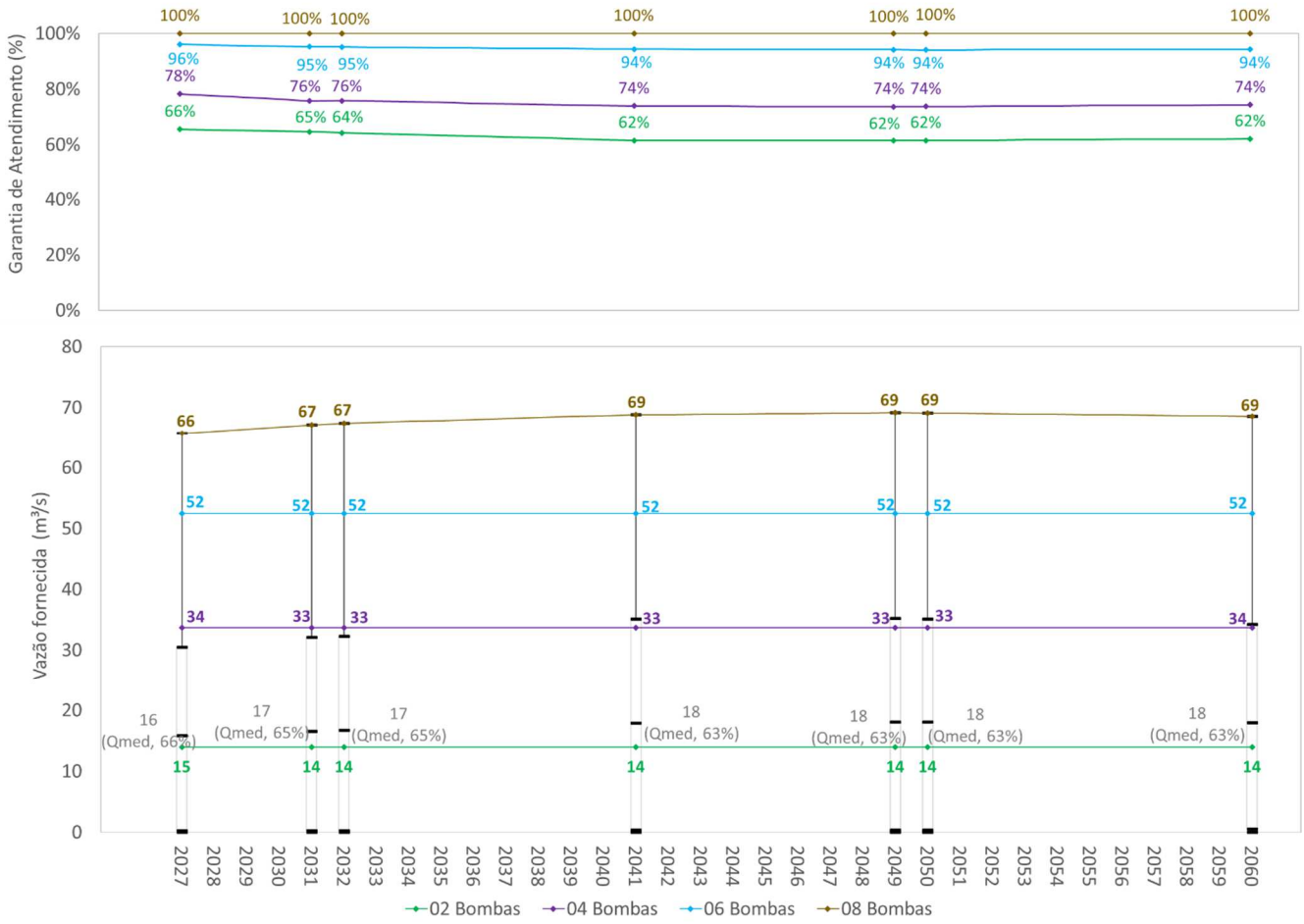


Figura 6.37 – Eixo Norte: garantia de atendimento às demandas prioritárias com 25%, 50%, 75% e 100% de capacidade (2, 4, 6 e 8 bombas)

No Eixo Leste, a garantia de 100% de atendimento à demanda projetada em todo o horizonte de planejamento também seria atingida somente com 100% de capacidade instalada (4 conjuntos motobomba em cada estação de bombeamento); com 50% de capacidade (2 conjuntos motobomba, equivalente à capacidade atual do Eixo), garante-se de 61% a 51% da demanda prioritária entre 2026 e 2060. Na situação intermediária resultante da operação com 100% de capacidade apenas nas EBV-5 e EBV-6, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 50% de capacidade em todo o horizonte de planejamento, também se garantiria atendimento a 100% da demanda prioritária até o horizonte 2032, percentual que se reduz para 93% em 2041 (mantendo-se acima do patamar de 90% de garantia no período 2026-2042), e atingindo 67% em fim de plano.

As vazões garantidas pelo Eixo Leste em fim de plano são de 7,3 m^3/s na operação com 2 bombas, 10,0 m^3/s na operação intermediária (4 bombas apenas das EBV-5 e EBV-6) e 11,1 m^3/s (atendimento ao déficit hídrico máximo) na operação com 4 bombas em todas as estações de bombeamento.

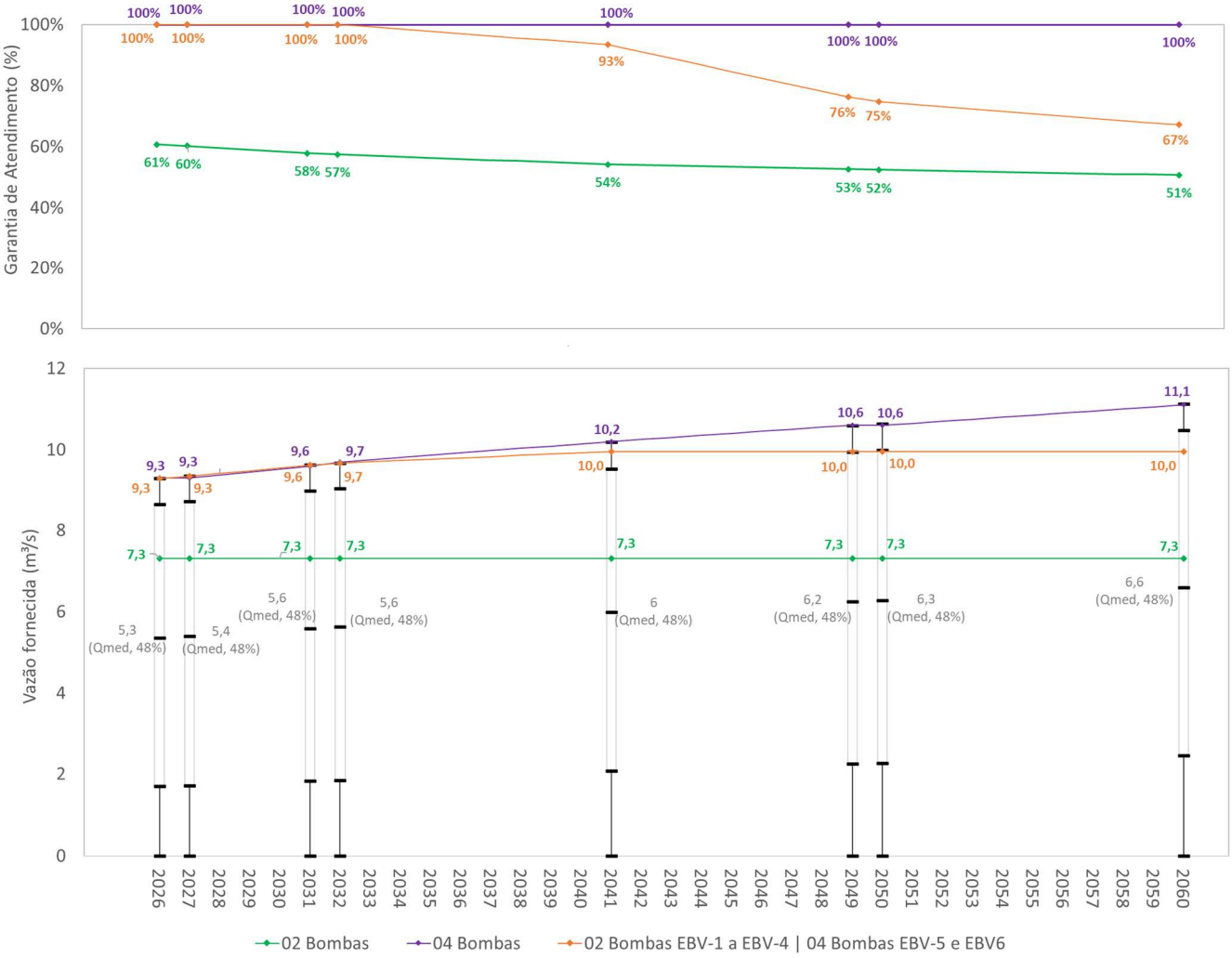


Figura 6.38 – Eixo Leste: garantia de atendimento às demandas prioritárias com 50% e 100% de capacidade (2 e 4 bombas)

6.9 ESTIMATIVAS DE VALORES DE CAPTAÇÃO NOS CENÁRIOS AVALIADOS E CONFRONTO COM A VAZÃO FIRME OUTORGADA

6.9.1 HISTÓRICO DA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA O PISF

Em 19 de maio de 2003, a Agência Nacional de Águas – ANA emitiu a Nota Técnica nº 123/2003, em que analisava a disponibilidade hídrica da bacia do rio São Francisco com o objetivo de emissão da outorga preventiva para o hoje denominado Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF. Nesta nota, é sugerido o condicionamento da operação do Projeto aos níveis de armazenamento no reservatório da barragem de Sobradinho. Em 16 de dezembro do mesmo ano, uma Nota Técnica Complementar (nº 526/2003) sugere a incorporação de recomendações do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF.

A Outorga Preventiva, cuja validade foi de três anos, foi expedida pela ANA em 24 de janeiro de 2005, mediante a Resolução nº 29, após a realização de amplos estudos de simulação hidrológica, considerando os dados do PBHSF e mantendo as condições de operação do Projeto de conformidade com o armazenamento de Sobradinho. A vazão firme de 26,4 m³/s, correspondente à demanda projetada à época para o ano 2025 relativa ao consumo humano e à dessedentação animal foi reservada para o PISF, além da permissão de captação de uma vazão média máxima diária de 114,3 m³/s e instantânea de 127 m³/s quando o nível d'água de Sobradinho estiver acima do nível correspondente a 94% de volume útil ou do nível correspondente ao volume de espera para controle de cheias, o que for menor.

Foi ainda determinada na Outorga Preventiva que a demanda projetada de 26,4 m³/s poderia ser direcionada para o atendimento de usos múltiplos nas bacias, enquanto a demanda real fosse inferior a ela.

Ainda na emissão desse documento, ficou condicionada a obtenção da Outorga "Definitiva" à apresentação, pelo então Ministério da Integração Nacional, de estudos que comprovassem a sustentabilidade institucional e administrativa e a viabilidade técnica, operacional e financeira do empreendimento.

Em 22 de setembro de 2005, a ANA, pela Resolução nº 411, concedeu ao Ministério da Integração Nacional a outorga de direito de uso dos recursos hídricos do rio São Francisco para a execução do PISF.

A Resolução ANA nº 411/2005 estabeleceu ainda as condições de outorga, com diretrizes básicas a serem seguidas e relacionadas com: as condições de captação no rio São Francisco; a repartição das vazões captadas entre os setores usuários e os estados beneficiados, que deve ser definida no Plano de Gestão Anual do projeto; e a obrigatoriedade de implantar e manter em funcionamento equipamentos de monitoramento de níveis d'água e vazões.

Em 19 de setembro de 2016, a Resolução ANA nº 1.133 promoveu alterações na Resolução nº 411/2005, modificando algumas das condições relacionadas aos termos originais da outorga de direito de uso dos recursos hídricos do PISF, porém mantendo a vazão firme disponível para o empreendimento de 26,4 m³/s para as captações de ambos os eixos. Entre as alterações, está a informação de que a outorga contempla também os 28 barramentos localizados nos dois eixos do sistema adutor principal, assim como as estruturas associadas. Adicionalmente, o normativo ressalta que somente estarão autorizadas as retiradas de água nos

30 portais ou pontos de entrega (anteriormente, eram 13 pontos) que constarem da Resolução de outorga ou outros locais previstos no Plano de Gestão Anual, após sua aprovação pela ANA.

6.9.2 ESTIMATIVAS DE VALORES DE CAPTAÇÃO

Sob o ponto de vista da operação do PISF, atualmente, o atendimento às demandas das bacias receptoras está condicionado pela Resolução ANA nº 411/2005.

Em que pesem as novas condições recentemente solicitadas pelo MIDR à ANA no pedido de revisão da outorga, relativas à outorga preventiva adicional no valor de 5,365 m^3/s (equivalente ao adicional necessário para se atingir a demanda hídrica estimada para os usos prioritários em 2045), faz-se necessário avaliar a expectativa de vazão a ser captada para atendimento às demandas associadas ao Sistema, à luz dos estudos ora em andamento.

Durante a elaboração dos presentes estudos, foi realizada uma abrangente atualização das demandas hídricas nas bacias receptoras do PISF, fruto da recente publicação de projeções populacionais do Censo 2022, bem como das recentes definições de métodos e consolidação de bases de dados de estimativas de usos consuntivos da água para todos os municípios brasileiros realizadas pela ANA, acompanhada da evolução das projeções das demandas até o horizonte 2060.

Ademais, foram incorporadas às estimativas dos déficits hídricos nas bacias receptoras os estudos recentes da ANA para definição das condições de reservação, oferta hídrica local e perdas naturais nessas bacias, realizados com grande nível de detalhamento técnico, sendo intitulados "Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação" (ANA, 2017), que não estavam disponíveis à época da análise do pedido e concessão da outorga atual para o PISF (Nota Técnica ANA n°390/2005/SOC).

Sob essas condições, é de se esperar que a modelagem ora conduzida possa oferecer subsídios para a atualização da outorga de direito de uso atualmente em vigor para o empreendimento, apresentando novas estimativas de vazão necessária nas captações de ambos os Eixos.

Nessas estimativas, assume-se que a vazão a ser captada poderia ser tal que permitisse assegurar o atendimento às vazões demandadas ao PISF ao longo do horizonte de planejamento, vazões estas resultantes da modelagem realizada no Capítulo 6 deste Tomo II, sob a premissa de atendimento aos déficits hídricos médios nas bacias receptoras e manutenção de volumes meta nos reservatórios receptores[44].

Tal como exposto no item 6.3.4.1, considerou-se nessa modelagem que a oferta hídrica disponível aos Eixos do PISF advinda das captações no rio São Francisco tem capacidade grande o suficiente para o atendimento

[44] Cumpre destacar que, de acordo com a Nota Técnica ANA nº 390/2005/SOC, as demandas consideradas pela ANA quando da análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o PISF seriam atendidas pelo Projeto, com garantia, para cerca de 90% do valor total indicado. Já no presente estudo, o critério adotado foi o de atendimento, pelo PISF, aos déficits hídricos médios associados às demandas das bacias receptoras (ou seja, da parcela das demandas não atendida pela oferta hídrica endógena) e para manutenção dos volumes meta nos reservatórios receptores, devidamente acrescidos das perdas ao longo do sistema natural (perdas por evaporação nos reservatórios receptores e perdas em trânsito nos leitos naturais) por onde escoam as águas do PISF bacia adentro. Conforme constatado em ANA (2017), as perdas decorrentes do trânsito das águas nos leitos naturais dos rios são significativas, elevando as demandas nos portais do PISF.

a todas as suas demandas, sem representar limitação ao Sistema. Ou seja, não se limitou a capacidade máxima do Sistema às regras da outorga vigente, de modo a permitir a sinalização de seu extrapolamento.

Os resultados da modelagem realizada devem, portanto, ser avaliados em relação às regras atuais de outorga de direito de uso de recursos hídricos do empreendimento e às novas condições solicitadas pelo MIDR no pedido de revisão da outorga. Caso o modelo de negócios implique em condições de captação diferentes das discutidas atualmente, o estudo poderá subsidiar a fundamentação de novo pedido.

Os resultados obtidos nessa avaliação são apresentados na Figura 6.39 à Figura 6.43, que trazem as projeções de vazão captada no Sistema (Eixo Norte e Eixo Leste), expressas em valores mensais e médios anuais, associadas à vazão bombeada projetada (ou seja, considerando o atendimento às demandas projetadas ao longo do horizonte de planejamento) em cada cenário analisado, bem como seu confronto com a restrição da outorga atual de 26,4 m³/s de vazão firme disponível para bombeamento, nos dois eixos, a qualquer tempo[45], e da outorga preventiva adicional de 5,365 m^3/s solicitada pelo MIDR.

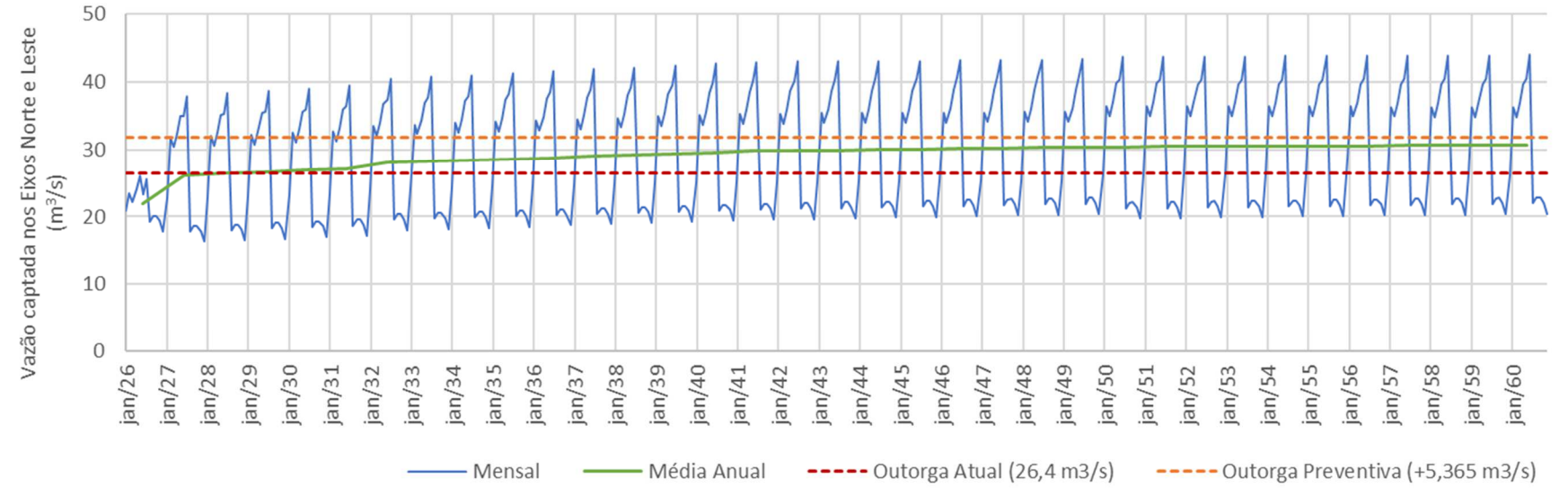
Tais resultados são também apresentadas em formato digital no *Anexo 6: Estimativas de Valores de Captação* deste Tomo II.

Observa-se, para o Cenário 1 (Figura 6.39), Cenário 1' (Figura 6.40), Cenários 2 e 2' (Figura 6.41)[46] e Cenário 2'' (Figura 6.42), que já no horizonte 2027 - com a ampliação do Eixo Norte para 50% da capacidade instalada - a vazão firme atualmente outorgada, mesmo quando acrescida da outorga preventiva adicional, é superada pelas vazões de captação projetadas nos meses de maior bombeamento. As vazões captadas médias anuais, por sua vez, são inferiores às restrições da outorga em todo o horizonte de planejamento, atendendo-se assim a restrição da outorga em escala anual, em consonância com o entendimento da ANA expresso no Ofício nº 1.737/2017/SRE-ANA, de 1º de agosto de 2017.

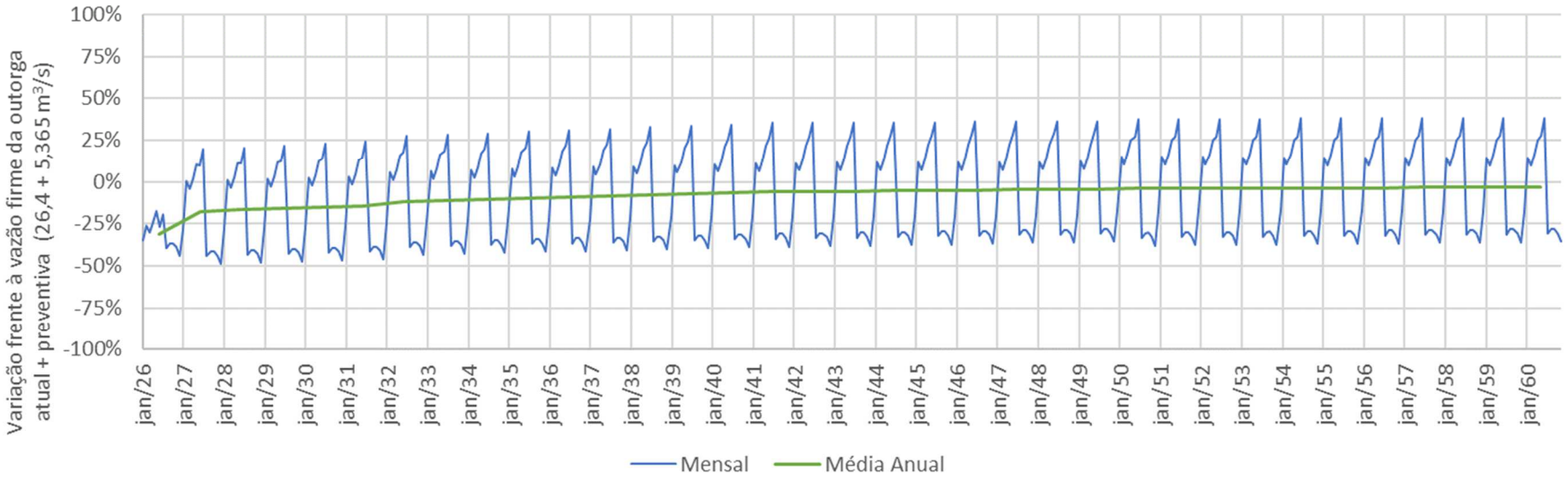
Já para o Cenário 3 (Figura 6.43), em que se considera também o atendimento, pelo PISF, aos déficits das demandas não prioritárias das bacias receptoras, a vazão firme atualmente outorgada, mesmo quando acrescida da outorga preventiva adicional, é superada pelas vazões captadas em todos os meses a partir de 2027, com a ampliação do Eixo Norte para 50% da capacidade instalada. Um segundo salto nas vazões captadas é observado em 2030, com a ampliação do Eixo Norte para 100% da capacidade. As vazões captadas médias anuais também são superiores às restrições da outorga a partir do ano de 2027, indicando necessidade de revisão da outorga caso se considerem as premissas de atendimento desse cenário na operação do Sistema.

[45] Há de se ressaltar que, de acordo com a outorga vigente, captações superiores a esse limite poderão ser realizadas, a depender das condições de armazenamento do reservatório de Sobradinho.

[46] As vazões captadas nos Eixos Norte e Leste para o Cenário 2' são iguais às do Cenário 2.

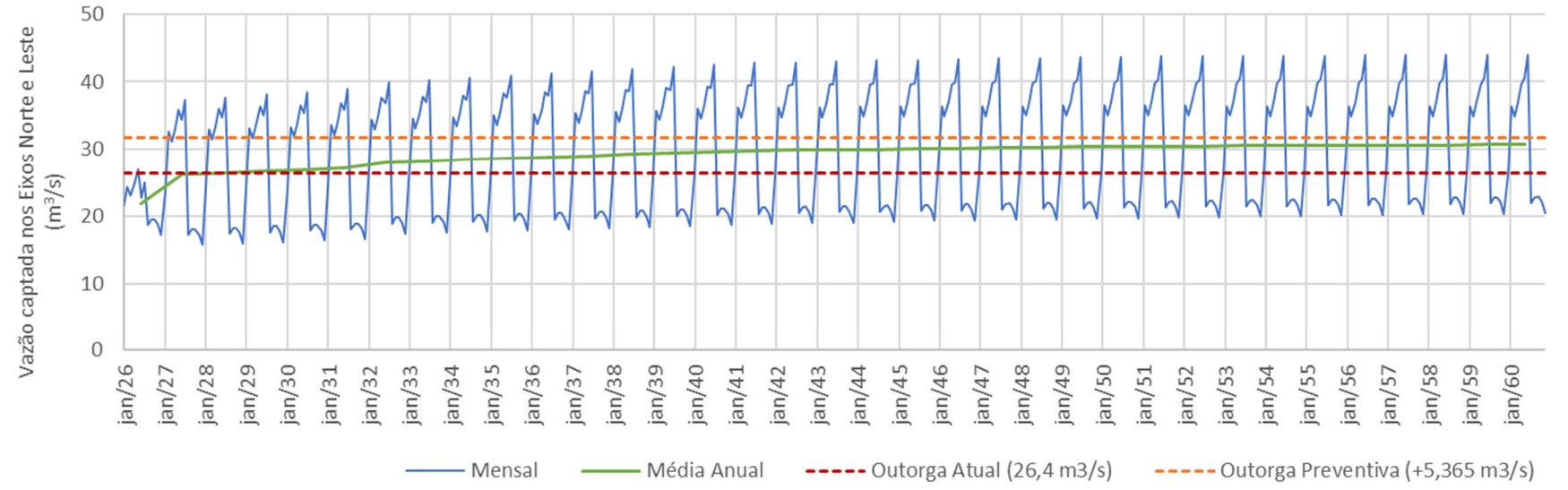


(a)

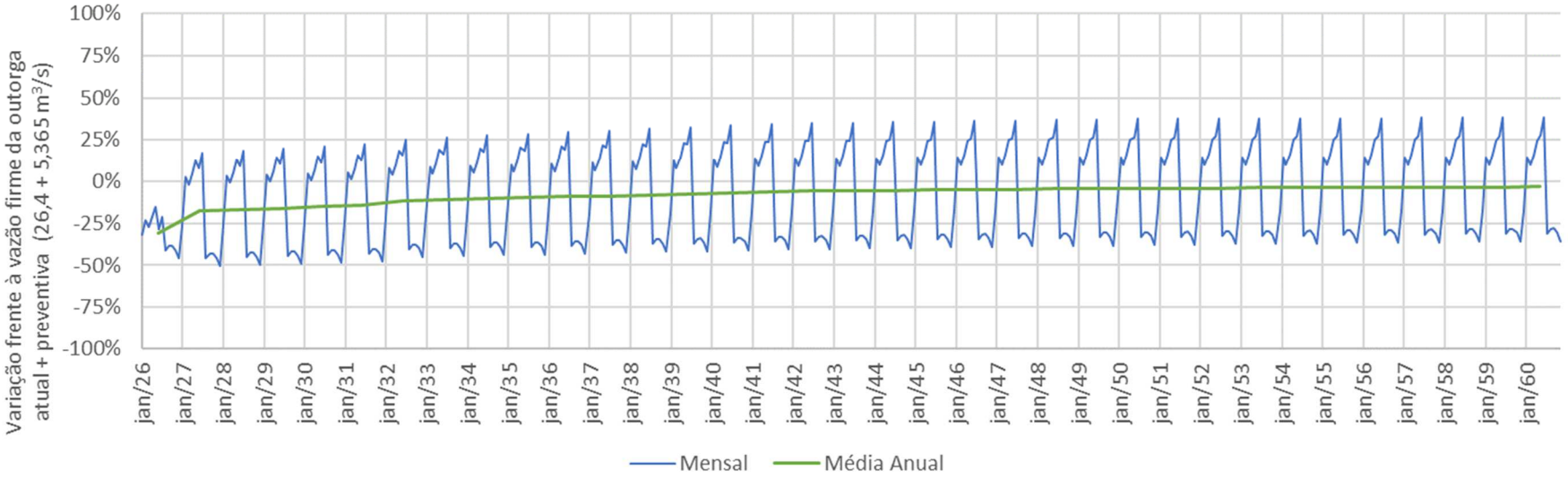


(b)

Figura 6.39 – (a) Vazões captadas nos Eixos Norte e Leste do PISF associadas à vazão bombeada projetada no horizonte 2026-2060 (valores mensais e médios anuais) | (b) Variação frente à vazão firme da outorga atual adicionada à outorga preventiva - Cenário 1

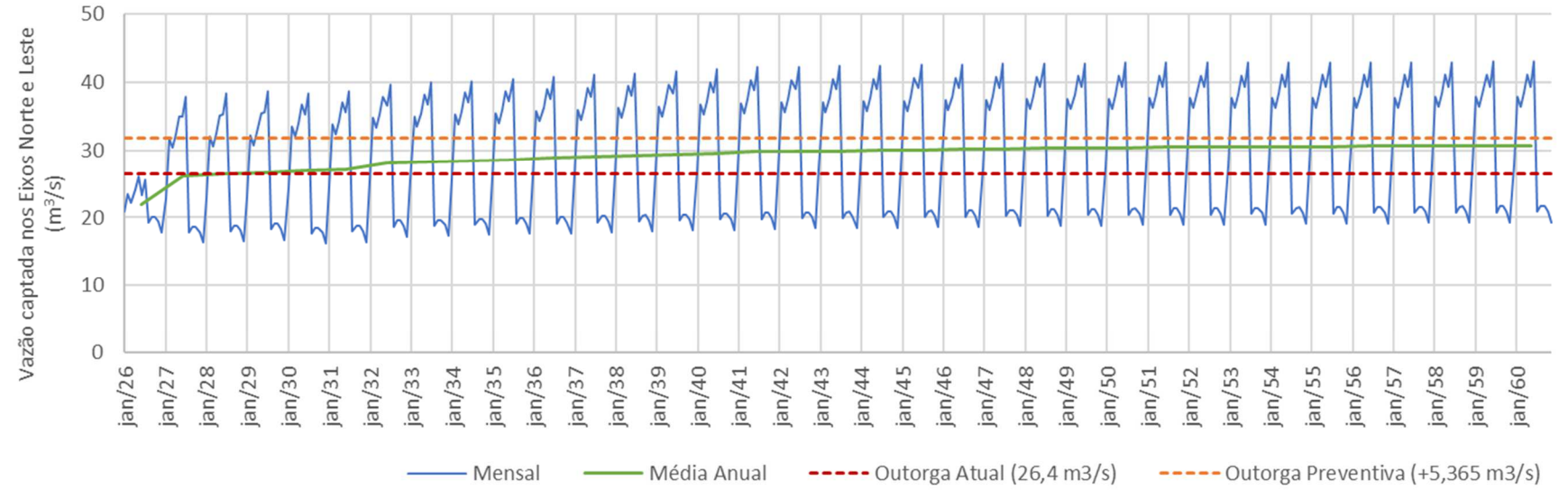


(a)

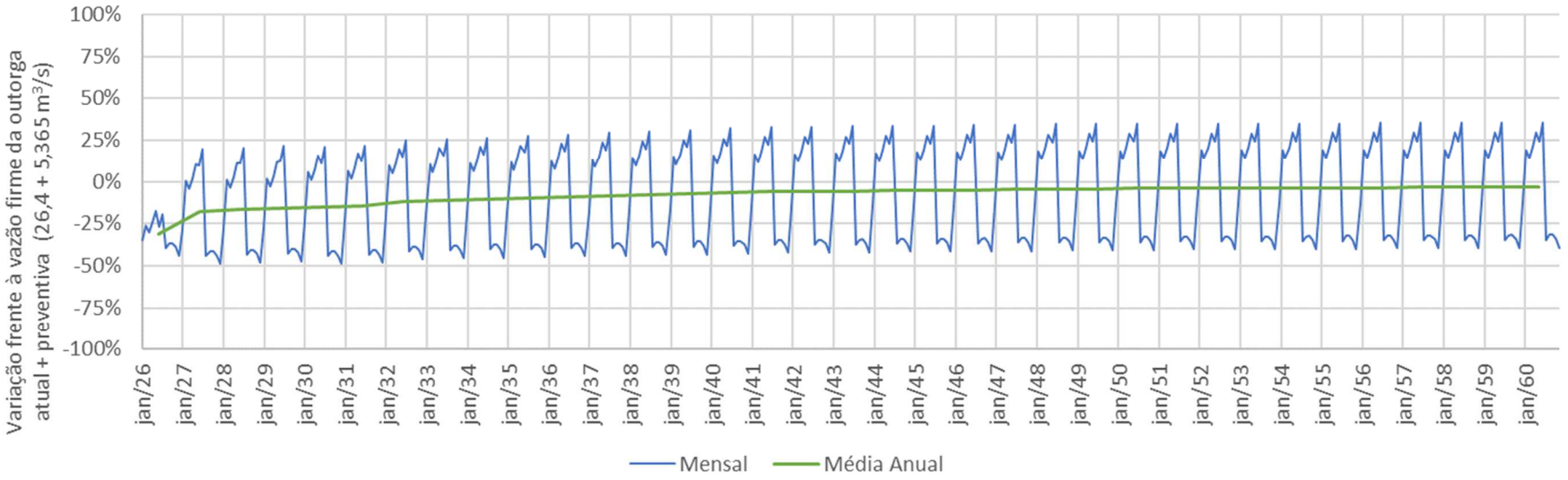


(b)

Figura 6.40 – (a) Vazões captadas nos Eixos Norte e Leste do PISF associadas à vazão bombeada projetada no horizonte 2026-2060 (valores mensais e médios anuais) | (b) Variação frente à vazão firme da outorga atual adicionada à outorga preventiva - Cenário 1'

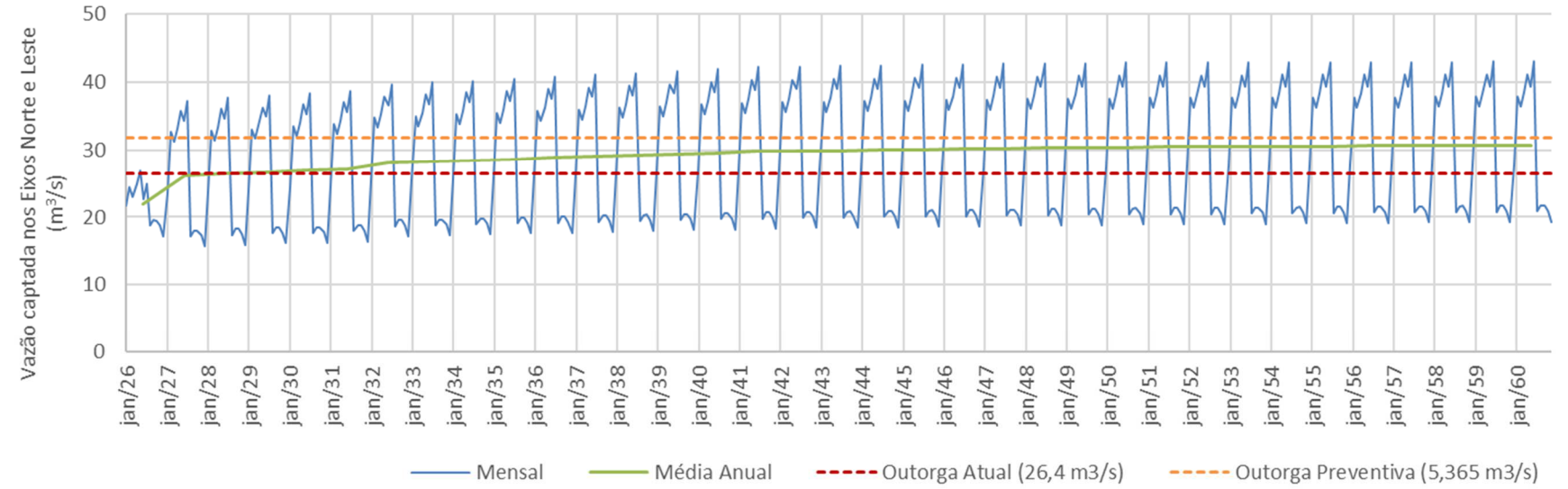


(a)

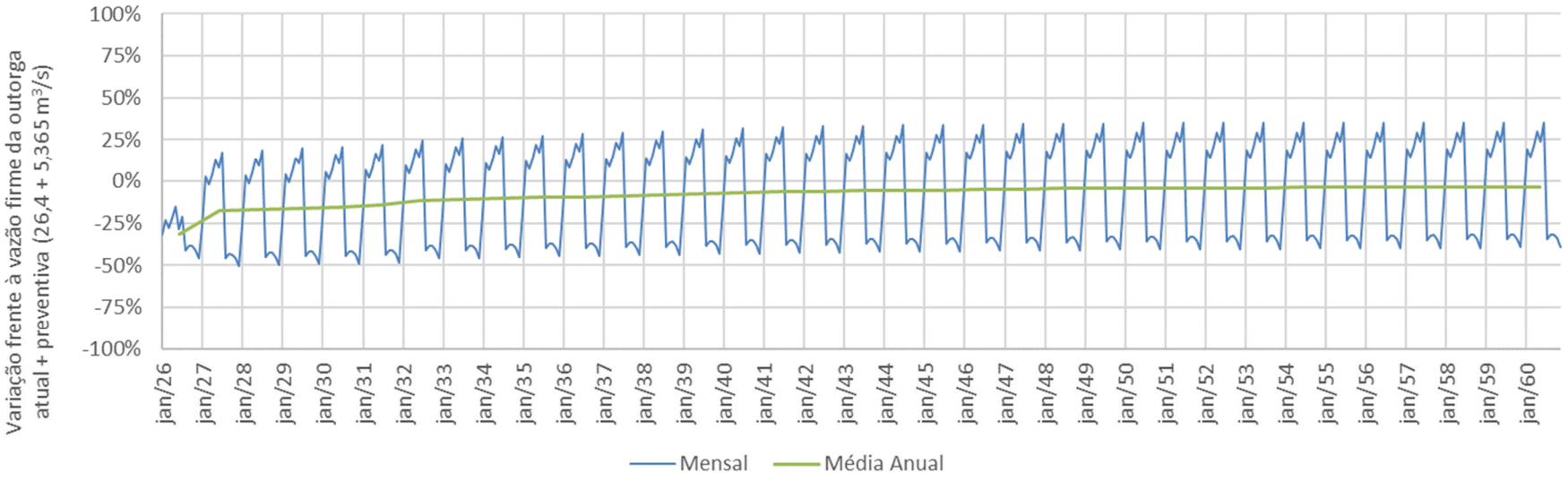


(b)

Figura 6.41 – (a) Vazões captadas nos Eixos Norte e Leste do PISF associadas à vazão bombeada projetada no horizonte 2026-2060 (valores mensais e médios anuais) | (b) Variação frente à vazão firme da outorga atual adicionada à outorga preventiva - Cenários 2 e 2'

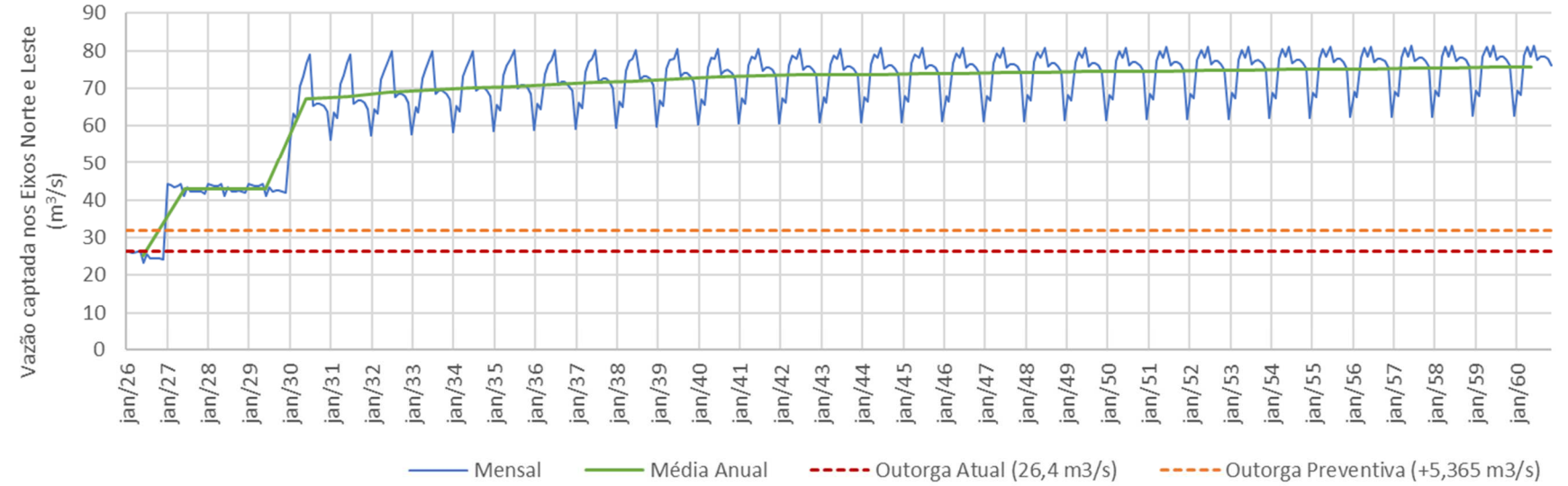


(a)

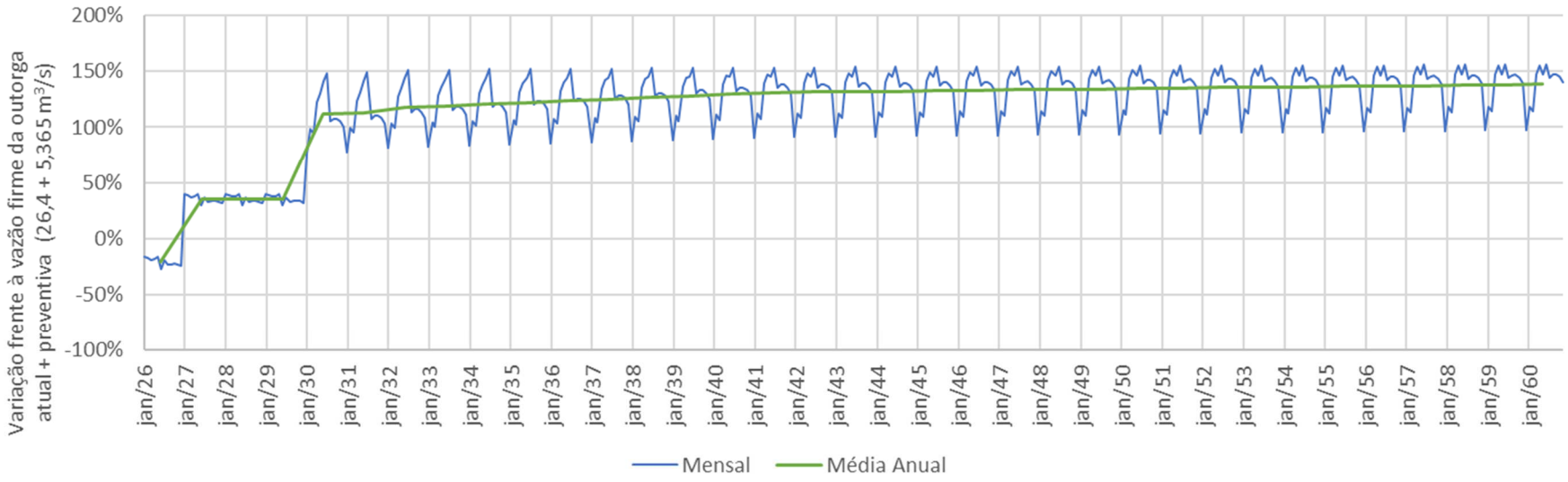


(b)

Figura 6.42 – (a) Vazões captadas nos Eixos Norte e Leste do PISF associadas à vazão bombeada projetada no horizonte 2026-2060 (valores mensais e médios anuais) | (b) Variação frente à vazão firme da outorga atual adicionada à outorga preventiva - Cenário 2''



(a)



(b)

Figura 6.43 – (a) Vazões captadas nos Eixos Norte e Leste do PISF associadas à vazão bombeada projetada no horizonte 2026-2060 (valores mensais e médios anuais) | (b) Variação frente à vazão firme da outorga atual adicionada à outorga preventiva - Cenário 3

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do balanço hídrico nas bacias receptoras do PISF considerando apenas a oferta hídrica local disponível em cada bacia, conforme detalhado no Capítulo 5, permite constatar a ocorrência de déficits no atendimento às demandas ao longo de todo o histórico de afluência natural, desde a cena atual até o horizonte de final de plano.

Assim, a partir da análise desses déficits, torna-se possível simular a operação integrada da rede de reservatórios das bacias receptoras incorporando a oferta do Sistema PISF e estimar os valores das vazões demandas pelas bacias nos portais de entrega do PISF, das vazões a serem captadas pelos Eixos Norte e Leste e das vazões a serem aduzidas nas estações de bombeamento do Sistema – as quais incorporam não somente os déficits a serem atendidos mas também as perdas hídricas ao longo das bacias receptoras e do próprio Sistema PISF.

Como sabido, a região em que se encontram as bacias receptoras do PISF possui uma parcela elevada de perdas hídricas naturais, de maior ou menor intensidade, dependendo das características da própria bacia (pedológicas, geológicas, climatológicas e hidráulicas), das dimensões de seus reservatórios, das distâncias dos portais do PISF aos centros de consumo e dos tipos de distribuição da água em cada caso. Na realidade, isso já ocorre com a disponibilidade hídrica local, sendo uma característica já conhecida da região.

As bacias com maiores demandas ao PISF são as dos rios Jaguaribe e Piancó-Piranhas-Açu (Eixo Norte), Paraíba e Ipojuca (Eixo Leste). Nas bacias do Jaguaribe, Piranhas-Açu e Paraíba, as perdas decorrentes do trânsito das águas nos leitos naturais dos rios são significativas, elevando as demandas nos portais.

Dentre as bacias receptoras do Eixo Norte, a bacia do rio Jaguaribe (CE) é a que apresenta os maiores déficits absolutos no atendimento aos usos prioritários quando considerada apenas a oferta hídrica local, e as maiores perdas em trânsito nos leitos naturais (estas últimas de magnitude elevada na bacia do Jaguaribe, dadas as grandes distâncias percorridas pelas águas do PISF nos leitos naturais bacia adentro, que variam de 150 km a 300 km desde a saída dos portais de entrega até o primeiro reservatório receptor), acarretando em maiores demandas nos portais do PISF que entregam água ao Ceará.

Na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu (PB/RN), os déficits nos usos prioritários (quando considerada apenas a oferta hídrica local) ocorrem em menor magnitude, resultando em demandas mais baixas aos portais que atendem a esta bacia. Não obstante, na porção potiguar da bacia, as perdas decorrentes do trânsito das águas do PISF também são elevadas, haja vista a ordem de grandeza das distâncias percorridas desde a saída do portal PB04N até o reservatório receptor (Armando Ribeiro Gonçalves), que é de 300 km.

No Eixo Leste, conforme já dito, as maiores demandas ao PISF estão concentradas nas bacias dos rios Ipojuca e Paraíba, atendidas via portais PE13L (Ramal do Agreste) e PB01L, respectivamente. Dentre as quatro bacias ora citadas, bacia do rio Ipojuca é a que apresenta as menores perdas decorrentes do trânsito das águas do PISF, já que a maior parcela de sua demanda está concentrada no Sistema Adutor do Agreste - com captação ao final do Ramal do Agreste - minimizando, portanto, o percurso das águas do PISF dos leitos naturais e as perdas em trânsito associadas.

Na modelagem da operação integrada das bacias receptoras com o Sistema PISF, foram inicialmente concebidos três cenários de operação do Sistema, com o objetivo de explorar a gama de situações que

possam alterar, especialmente, os custos de implantação e operação associados à ampliação da capacidade instalada de ambos os Eixos, quais sejam:

- **Cenário 1:** atendimento às demandas prioritárias nas bacias receptoras; operação do Eixo Norte com 25% da capacidade até 2026 e sua ampliação para 50% da capacidade a partir de 2027; e operação do Eixo Leste com 50% da capacidade até o final do horizonte de planejamento;
- **Cenário 2:** atendimento às demandas prioritárias nas bacias receptoras; operação do Eixo Norte com 25% da capacidade até 2026 e sua ampliação para 50% da capacidade a partir de 2027; e operação do Eixo Leste com 50% da capacidade até 2029 e sua ampliação para 100% da capacidade a partir de 2030;
- **Cenário 3:** atendimento às demandas totais nas bacias receptoras; operação do Eixo Norte com 25% da capacidade até 2026, ampliação para 50% da capacidade a partir de 2027 e para 100% da capacidade a partir de 2030; e operação do Eixo Leste com 50% da capacidade até 2029 e ampliação para 100% da capacidade a partir de 2030.

À luz dos resultados obtidos para os Cenários 1 e 2, verificou-se a necessidade de avaliar condições específicas de operação no Eixo Leste, que originaram os seguintes cenários deles derivados:

- **Cenário 1':** concebido com o objetivo de se avaliar o efeito da antecipação da flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste para desde o início do horizonte de estudo (2026), mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 1;
- **Cenário 2':** concebido com o objetivo de se avaliar o efeito da expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 do Eixo Leste para 100% da capacidade, permanecendo as EBV-1 a EBV-4 com 50% de capacidade em todo o horizonte de planejamento, e mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 2;
- **Cenário 2'':** concebido a partir do Cenário 2', com o objetivo de se avaliar o efeito da flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste desde o início do horizonte de estudo (2026), mantendo-se todas as demais premissas antes estabelecidas para o Cenário 2'.

A partir da análise desses cenários, devidamente explorados no Capítulo 6, pôde-se observar que, no Cenário 1, para o Eixo Leste, as regras operacionais adotadas descontam 22% do tempo total para paradas programadas (80 dias/ano) entre 2026 e 2049 e 13% do tempo total (47 dias/ano) entre 2050 e 2060. Esta redução seria necessária para aumentar o aproveitamento da capacidade instalada no Eixo a partir de 2050, quando se prevê atingir limite de 95% de utilização estipulado. Para o Eixo Norte, as regras operacionais adotadas descontam os mesmos 22% para paradas programadas em todo o período, possibilitado pelo aumento de capacidade a ocorrer em 2027.

Com isso, o fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 do Eixo Leste varia entre 82% (em 2026) e o máximo de 95% (em 2049), atingindo o valor de 89% (em 2060), constituindo-se no ponto crítico de todas as estações de bombeamento desse Eixo.

Na verificação apresentada, conclui-se que a EBV-5 é a estação crítica do Eixo Leste no Cenário 1, com limite de tempo para paradas não programadas de 28 dias em 2049 (que equivale ao período necessário para realização de manutenção anual programada de um conjunto motobomba) e 68 dias em 2060 (aproximadamente 90% do tempo requerido para a realização de manutenção quinquenal de um conjunto motobomba).

Com esses critérios, ainda que o projeto do PISF não considerasse a premissa de conjunto reserva, identifica-se que não há redundância em todo o período analisado, configurando-se em um risco operacional previsto na operação do Eixo Leste com 2 conjuntos motobomba até o final do horizonte de planejamento. Tal configuração operativa impede, ainda, que o Eixo Leste possa cumprir, em qualquer período do horizonte de planejamento, um regime de entrega concentrado tal como formatado nos PGAs. Isso deve ser considerado com cautela, à luz das restrições reiteradamente mencionadas pelos Estados, quanto à entrega de água no período seco, em função das elevadas expectativas de perdas em trânsito. Essas restrições, observadas já para déficits hídricos médios nas bacias receptoras, podem limitar ou mesmo impedir a realização do atendimento a contento das solicitações regulares dos Estados, podendo, no extremo, se constituir em fonte de risco para eventuais conflitos entre o Poder Concedente e os Estados Beneficiados.

Quando se avalia a antecipação da flexibilização do horário de bombeamento no Eixo Leste para desde o início da operação (Cenário 1'), observam-se maiores folgas operativas, com diminuição do fator de utilização das bombas e aumento nos limites de tempo para paradas não programadas em todas as estações de bombeamento, proporcionado por esta flexibilização já em 2026. O fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 passaria a variar entre o mínimo de 73% (em 2026) e o máximo de 89% (em 2060), resultando em limite de tempo para paradas não programadas mínimo de 68 dias para EBV-5, em 2060.

Já no Cenário 2, para ambos os Eixos, as regras operacionais adotadas descontam 22% do tempo total para paradas programadas em todo o período estudado, possibilitado pelo aumento de capacidade a ocorrer em 2027 (no Eixo Norte) e 2030 (no Eixo Leste).

Com isso, o fator de utilização das bombas das EBV-5 e EBV-6 varia de 82% a 84% entre 2026 e 2029 (operação com 2 bombas), caindo para 42% em 2030 (com a duplicação da capacidade instalada), e atingindo 50% (em 2060). A EBV-5 continua se mostrando a estação crítica do Eixo Leste no Cenário 2, com limite de tempo para paradas não programadas de 99 dias em 2029 (que equivale ao período necessário para realização de manutenção de 15 anos programada de um conjunto motobomba) e 285 dias em 2060 (configurando-se praticamente como bomba reserva). Com esses critérios, e após a ampliação a ocorrer em 2030, verifica-se que o Eixo Leste passaria a operar com capacidade ociosa acima de 50% em todas as estações de bombeamento, configurando redundância operacional, com mitigação dos riscos de funcionamento do Sistema.

Quando se avalia o Cenário 2', que pressupõe a expansão apenas das EBV-5 e EBV-6 para 4 bombas em 2030, mantendo-se as EBV-1 a EBV-4 com 2 bombas em todo o horizonte de planejamento, observa-se melhor aproveitamento da capacidade já instalada no Eixo, com possibilidade de bombeamento dos mesmos volumes mensais e anuais para atendimento às demandas nos portais. Neste cenário, a estação crítica do Eixo Leste passa a ser a EBV-1, com fator de utilização variando de 62% (em 2026) a 75% (em 2060), e limite de tempo para paradas não programadas mínimo de 140 dias em 2060.

Por sua vez, quando se avalia o Cenário 2'', que pressupõe a flexibilização horária do regime de bombeamento no Eixo Leste desde o início do horizonte de estudo, observa-se que, com a ampliação das EBV-5 e EBV-6 para 04 bombas em 2030, tal flexibilização não se faz necessária, podendo ser seguido o regime de bombeamento PGA até o final do horizonte de estudo, mesmo sem a flexibilização horária. Observam-se maiores folgas operativas neste cenário quando comparado ao Cenário 2', com aumento nos limites de tempo para paradas não programadas em todas as estações de bombeamento no período 2026-2029, proporcionado por esta flexibilização.

No Eixo Norte, em todos os cenários que consideram atendimento às demandas prioritárias, o fator de utilização das bombas da EBI-3 varia entre 82% (em 2026, operação com 2 bombas), caindo para 53% (em 2027, com a duplicação da capacidade instalada) e atingindo 60% (em 2060), constituindo-se no ponto crítico de todas as estações de bombeamento desse eixo, com limite de tempo para paradas não programadas de 103 dias em 2026 (que equivale ao período necessário para realização de manutenção de 15 anos programada de um conjunto motobomba) e 229 dias em 2060 (configurando-se praticamente como bomba reserva em 80% do tempo).

Em relação aos níveis de garantia de atendimento da demanda prioritária ofertados pelo PISF, conforme análises realizadas no item 6.8, constata-se que o Eixo Leste, quando operando com 50% de sua capacidade instalada (Cenário 1) não atenderia ao déficit hídrico médio das demandas prioritárias em suas bacias receptoras caso não houvesse flexibilização mensal do regime de bombeamento em todo o horizonte avaliado (2026-2060).

A ampliação do Eixo Leste para operar a 100% de sua capacidade de bombeamento a partir de 2030 (Cenário 2) não só permitiria o atendimento de acordo com os padrões concentrados observados nos PGAs, mas também ofereceria flexibilidade operacional para suprir demandas excepcionais esperadas em anos secos. Nesse cenário, a infraestrutura seria capaz de atender ao déficit hídrico máximo simulado em suas bacias receptoras com base em um histórico de 74 anos da série de afluências naturais. Já a situação intermediária, que envolve a ampliação para 100% da capacidade de bombeamento apenas nas EBV-5 e EBV-6 (Cenários 2' e 2''), possibilitaria o atendimento das demandas prioritárias com uma garantia superior a 90% no período 2026-2042.

Quanto ao Eixo Norte, o atendimento ao déficit hídrico máximo modelado em suas bacias receptoras, neste caso ao longo dos 100 anos da série de afluências naturais, também é possibilitado quando da operação com 100% de capacidade instalada nas estações de bombeamento.

Por fim, com relação à outorga de direito de uso de recursos hídricos pelo PISF, nota-se que, nos cenários que consideram o atendimento apenas às demandas prioritárias das bacias receptoras, a vazão firme atualmente outorgada, de 26,4 m³/s para as captações de ambos os eixos, acrescida da outorga preventiva adicional de 5,365 m³/s já solicitada pelo MIDR, é superada pelas vazões mensais de captação projetadas nos meses de maior bombeamento. Contudo, as vazões captadas médias anuais são inferiores às restrições da outorga em todo o horizonte de planejamento, atendendo-se, portanto, a restrição da outorga em escala anual, em consonância com o entendimento da ANA expresso no Ofício nº 1737/2017/SRE-ANA de 1º de agosto de 2017.

Em contrapartida, para o cenário que considera também o atendimento às demandas não-prioritárias das bacias receptoras, a vazão firme da outorga, acrescida da outorga preventiva adicional solicitada pelo MIDR, é superada pelas vazões captadas médias anuais já a partir de 2027 (ano em que é prevista a ampliação do Eixo Norte para 50% da capacidade instalada), indicando necessidade de revisão da outorga caso se considerassem as premissas de atendimento desse cenário na operação do PISF. Um segundo salto nas vazões captadas é observado em 2030, em que se prevê a ampliação do Eixo Norte para 100% da capacidade.

Ressalta-se que a outorga concedida pela ANA nos termos e nas condições expressas na Resolução ANA nº 411/2005, tem prazo de validade de vinte anos contados a partir da data de publicação da Resolução e, portanto, deverá ser revista em função do prazo de concessão do empreendimento - oportunidade em que

a vazão firme outorgada poderá ser ajustada para atender às demandas projetadas ao PISF no horizonte do estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (2003). Nota Técnica 013/SPR/2003, 2003.

ANA (2005a). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Superintendência de Conservação de Água e Solo, Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília - DF. 2005, 134p.

ANA (2005b). Nota Técnica nº 390/2005/SOC. Análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional.

ANA (2013). Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos. 2013, 432 p.

ANA. (2015). Nota Técnica nº 56/2015/SPR - Atualização da base de demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Águas.

ANA (2017a). Água na indústria: uso e coeficientes técnicos.

ANA (2017b). Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação/ Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

ANA (2017c). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.

ANA (2017d). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.

ANA (2019a). Manual de usos consuntivos da água no Brasil / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019 (com atualização dos dados em 2022).

ANA (2019b). Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.

ANA (2021a). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2021.

ANA (2021b). Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília: ANA, 2021. 332 p.

BNDES (2019). Serviços Técnicos necessários para a modelagem de empreendimento com vistas à prestação do serviço de adução de água bruta, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF). Relatório de Estudo de Demanda e da Oferta, Revisão 08, 28/10/2019. Documento nº 1392-EGC-1-GL-RT-0001-R8.

CABRAL, J; TUCCI, C.E.M. (2008). Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.1 Jan/Mar 2008, 111-124.

CBHSF (2016). Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco 2016-2025.

CNI (2022). A importância da Indústria para o Brasil. Disponível em www.portaldaindustria.com.br. Acesso em agosto de 2023.

EMBRAPA (2005). Estimando o Consumo de Água de Suínos, Aves e Bovinos em uma Propriedade. Cartilha. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2005.

IBGE (2017). Censo Agropecuário.

IBGE (2018). Projeções da população: Brasil e unidades da federação – revisão 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: ttps://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/ 9109-projecao-da-populacao.html. Acesso em agosto de 2023.

IBGE (2022). Censo Demográfico.

LEÃO, J.C.; FERNANDES, R.J.A.R; GALVÍNCIO, J.D. (2011). Determinação da vazão regularizada de reservatórios de grande porte, na bacia do rio Canindé (PI). XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

MAPA/SPA (2016). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / Secretaria de Política Agrícola. Projeções do Agronegócio Brasil 2015/16 a 2025/26. Projeções de Longo Prazo. Brasília/DF, julho de 2016.

MILLER, H. J. (2004). The First Tobler's Law and Spatial Analysis; Annals of the Association of American Geographers. Vol. 94, n. 2, p. 284-289. Junho de 2004.

MI; INPE; FUNCATE (2000). Projeto Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Estudos de Inserção Regional. Relatório Geral Tomos I e II. VBA CONSULTORES. Março/2000.

MI; INPE; FUNCATE (2000). Projeto Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Relatório R32 – Relatório Síntese de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental. CONSÓRCIO ENGECORPS – HARZA. Agosto/2000.

MI; CONCREMAT ENGENHARIA; ARCADIS LOGOS (2016). Documento 1377-NTC-3500-70-09-019-R00. Nota Técnica Sobre os Níveis e Volumes de Água Armazenados nos Reservatórios do Sistema Adutor do PISF. Abril/2016.

MIDR/IICA (2023). Metodologia de atualização periódica da carteira de empreendimentos habilitados no Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) e atualização e consolidação da carteira de empreendimentos habilitados no PNSH. Produto 3: Carteira atualizada de estudos, planos, projetos e obras (EPPOs). Primeira Revisão. Fevereiro de 2023.

ONS (2003). Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN. [S.l.: s.n.], 2003.

SNIS (2021). Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – dados municipais. Acesso em 20/07/2023. Disponível em: http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/.

UFMG (2015). Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica. Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2015, 146 p.

9. ANEXOS (APRESENTADOS EM FORMATO DIGITAL)

Os seguintes anexos fazem parte do presente documento, sendo apresentados em formato digital:

9.1 ANEXO 1: DEMANDAS HÍDRICAS ANUAIS ESTADUAIS, POR MUNICÍPIO E POR USO DA ÁGUA

9.2 ANEXO 2: DEMANDAS HÍDRICAS MENSAIS ALOCADAS AOS MANANCIAIS MODELADOS NAS BACIAS RECEPTORAS, NA SITUAÇÃO DE ATENDIMENTO REFERENCIAL DO PISF

9.3 ANEXO 3: DEMANDAS HÍDRICAS ASSOCIADAS AOS PORTAIS DE ENTREGA DO PISF NA SITUAÇÃO DE ATENDIMENTO REFERENCIAL

9.4 ANEXO 4: VAZÕES BOMBEADAS NOS EIXOS NORTE E LESTE NOS CENÁRIOS AVALIADOS

9.5 ANEXO 5: VAZÕES ENTREGUES NOS PORTAIS DOS EIXOS NORTE E LESTE NOS CENÁRIOS AVALIADOS

9.6 ANEXO 6: ESTIMATIVAS DE VALORES DE CAPTAÇÃO