

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO DE CAMPINA GRANDE**

RONALDO AMÂNCIO MENESES

Campina Grande
Data: MAIO DE 2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

RONALDO AMÂNCIO MENESES

DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO DE CAMPINA GRANDE

CAMPINA GRANDE

Mai de 2011

RONALDO AMÂNCIO MENESES

**DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO DE CAMPINA GRANDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão

Prof. Dr. Kennedy Flávio Meira de Lucena

Campina Grande, maio de 2011.



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

M543d Meneses, Ronaldo Amâncio

Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: o caso de Campina Grande / Ronaldo Amâncio Meneses. — Campina Grande, 2011.

144 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof.^o Dr.^o Carlos de Oliveira Galvão e Prof.^o Dr.^o Kennedy Flávio Meira de Lucena.

Referências.

1. Sistemas de Abastecimento de Água. 2. Gestão da operação. 3. EPANET. 4. Eficiência Energética. 5. Demanda. I. Título.

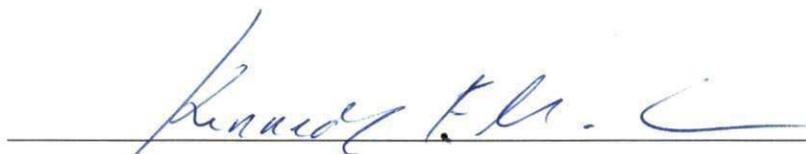
CDU 628.1(043)

RONALDO AMÂNCIO MENESES

**DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO DE CAMPINA GRANDE**

Dissertação aprovada em 27 de maio de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA:



Dr. Kennedy Flávio Meira de Lucena (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFPB



Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues (Examinador Interno)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

DEDICATÓRIA

À minha mãe **Madalena Amâncio** (Madá).
Ao meu pai **Pedro Meneses**, *in memoriam*.
Ao meu irmão **Romero Meneses**, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela vida de paz e harmonia, pela oportunidade de evolução espiritual, e pelo amparo nos instantes de dificuldades.

A **meus pais**, pelo apoio constante, pela educação moral e por sempre me mostrarem que a retidão é sempre o melhor caminho a seguir.

A **meus irmãos, Rosivaldo, Rogério, Rivaldo, Rosângela, Romero (in memorian), Rose, Rubens e Maria**, pelo companheirismo, apoio e incentivo constantes.

À **Rose, Geraldo, Philipe e Eduardo**, pelo amparo material, moral e espiritual nos momentos mais difíceis.

À **Plúvia**, pela “inundação” de amor, afeto, serenidade e compreensão nos últimos meses, quando declinar parecia o óbvio. Ao pequeno **Henry**, por tantos momentos de alegria.

Ao meu orientador **Carlos Galvão**, pela acolhida no mestrado, disponibilidade, apoio e confiança constantes e pelos ensinamentos ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador **Kennedy Flávio**, pelo apoio, ensinamentos valiosos, disponibilidade e pela humildade, ao longo da convivência e no direcionar dos caminhos, ao longo do trabalho.

À **CAGEPA**, pela liberação para os estudos e permissão para coleta de dados, em especial, ao **Engenheiro Carlos Potiguara**, que acreditou e apoiou o meu desejo de evolução profissional. Aos colegas **Fred e Souzinha**, pelo incentivo e apoio, substituindo-me nas muitas ausências. Ao colega **Giordan**, pelo apoio e pelo “pontapé” inicial na elaboração do modelo do sistema. Ao colega **Exedito Honorio**, pelo incentivo e pelas discussões enriquecedoras. À arquiteta **Alba Dornellas** e ao técnico **Barbosa** pela grande ajuda na coleta dos dados cadastrais.

À minha equipe da **Subgerência de Controle Operacional**, por todo o apoio, encorajamento, compreensão e contribuição; fizeram-me estar presente, quando estava ausente em muitas oportunidades. Minha sincera gratidão a **Lourdinha, Winston, Lirianny, Aprígio, Angélica, Manoel Honorio, Marcelino, Dalcira, Edson, João de Deus, Sandoval e Diego**.

Aos colegas **Gonzaga e Ruy**, pela convivência harmoniosa e crescimento mútuo em todos os momentos do curso.

À turma do mestrado, **Rony, Alan, Priscila, Daniel, Isaiás, José Guimarães e Zacarias**, pela oportunidade de aprendizado com as vivências de cada um.

A todos os professores, pelo ensino e dedicação.

Aos funcionários dos laboratórios I e II pela constante disponibilidade, em especial, a Josete, Alrezinha e Valdomiro.

Aos colegas do Laboratório de Hidráulica II, **Marília, Zezineto, Rodolfo, Mônica, Samilly, Ester, Itamara, Barbara, John, Anderson, Renato e Heber**, pela alegria da convivência.

A todos os amigos e colegas pelo incentivo constante, em especial a **Sérgio Espínola, Bonádia, Clediana, Roberto Evaristo, Constância, Laurindo, Ariosto e Ângela**.

Aos professores **Luciano Azevedo e Gledsnelli Lins**, pela recomendação ao programa.

E por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Fatores como crescimento urbano desordenado, ausência de controle de perdas, envelhecimento dos sistemas, alterações e expansões não previstas, elevados custos operacionais, além das incertezas associadas dificultam a operação dos sistemas de abastecimento de água, tornando-a um conjunto de processos cada vez mais complexo e problemático, resultando no não atendimento da demanda em quantidade e qualidade, no não cumprimento das pressões mínimas e no abastecimento sem eficiência operacional e energética. Neste trabalho, foi elaborado um diagnóstico do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande (SACG), com o objetivo de subsidiar a melhoria da gestão do sistema. Essa melhoria compreende: atender à demanda de abastecimento, reduzir o custo operacional energético, reduzir o número de acionamentos/desligamentos das bombas e válvulas, reduzir as perdas de água e buscar procedimentos operacionais eficientes. O trabalho consistiu no levantamento minucioso de informações operacionais e dados cadastrais de todo o sistema e modelagem computacional, através do software EPANET. Constatou-se a necessidade de implantação de plano de reabilitação de rede e de manutenção preditiva e preventiva para as unidades operacionais. Verificou-se que é possível definir um agendamento operacional diário para o SACG, atendendo aos critérios hidráulicos e com redução dos custos de energia. Percebeu-se que, atualmente, não se permite operacionalizar o sistema sem o funcionamento da estação elevatória de Gravatá no horário de ponta (17:30 horas às 20:30 horas), mas isso seria possível com a redução da demanda a partir de 5%, com práticas de redução de perdas físicas e melhorias na micromedição. As atividades de manutenção preventiva poderão ser realizadas pela manhã e se durarem duas horas, não prejudicarão o sistema. Verificou-se ainda que, mesmo o sistema sendo operado nas suas condições limites de atendimento da demanda, com base no diagnóstico operacional, podem-se definir procedimentos para que a operação torne-se mais eficiente e mais econômica.

Palavras chave: sistema de abastecimento de água; gestão da operação; EPANET; eficiência energética; demanda.

ABSTRACT

Factors such as urban sprawl, lack of damage control, aging systems, modifications and expansions not covered, high operating costs, in addition to uncertainties associated with difficult operating conditions, making it a set of processes increasingly complex and problematic, resulting in unmet demand in quantity and quality, non-compliance with minimum pressures of supply and operational efficiency and without energy. In this paper, diagnosis system was developed to supply the city of Campina Grande (SACG), with the aim of supporting the improvement of management system. This improvement comprises: satisfying the demand of supply, reduce operating cost energy, reduce the number of on / off power for pumps and valves, reducing water losses and seek efficient operational procedures. The research consisted of examining detailed operational information and registration data of the whole system and computational modeling, by EPANET. It was noted the need to implement the rehabilitation plan and network of predictive and preventive maintenance for the operational units. It was found that you can set schedule for the daily operational SACG, given the criteria and reducing the hydraulic energy costs. It was felt that currently are not allowed to operate the system without the operation of the lift station Gravata at peak hours (17:30 PM to 20:30 PM), but it would be possible with reduced demand from 5% with practices to reduce physical loss and improvements in micro-measurement. The preventive maintenance activities can be carried out in the morning and last for two hours, will not harm the system. It was found that even the system being operated in its extremes to meet demand, operating through the diagnostic procedures can be defined so that the operation becomes more efficient and more economical

Keywords: water distribution system; operations management; EPANET; energy efficiency, demand.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Unidades operacionais de um SAA	5
Figura 2.2	Níveis operacionais de reservatórios e cálculo da velocidade de subida do nível da água (Adaptado de Ohara e Lacerda, 2002)	13
Figura 2.3	Distribuição percentual dos gastos com energia elétrica na CAGEPA (TEIXEIRA, 2010).	34
Figura 3.1	Manancial e estação de tratamento do SACG e algumas localidades atendidas (adaptado de CAGEPA, 2010).	40
Figura 3.2	Unidades operacionais do SACG (adaptado de CAGEPA, 2010).	41
Figura 3.3	Zonas de pressão do SACG.	48
Figura 3.4	Planilha para o controle operacional do SACG.	59
Figura 4.1	Fluxo de etapas metodológicas.	61
Figura 4.2	Planilha do controle operacional do SACG. Em destaque, estado das bombas (F: em funcionamento; P: desligada).	66
Figura 4.3	Planilha do controle. Em destaque, nível de reservatórios.	66
Figura 4.4	Modelagem para o sistema EEAT-Gravatá	75
Figura 5.1	Evolução mensal do volume armazenado no açude Boqueirão em 12 meses (adaptado de AESA, 2011).	78
Figura 5.2	Evolução do volume armazenado no açude Boqueirão na última década (adaptado de AESA, 2011).	79
Figura 5.3	Estação elevatória do R-09 para o R-05 (adaptado de Cavalcanti, 2006).	81
Figura 5.4	Expansão das zonas de abastecimento da cidade de Campina Grande (adaptado de CAGEPA, 2010).	86
Figura 5.5	Identificação de necessidade de ponto de macromedição de vazão no R-05.	89
Figura 5.6	Identificação de necessidade de ponto de macromedição de vazão no R-04.	90

Figura 5.7	Identificação de necessidade de ponto de macromedição de vazão no R-09.	93
Figura 5.8	Quantitativos dos serviços de retirada de vazamentos na cidade de Campina Grande (CAGEPA, 2010).	94
Figura 5.9	Variação média do consumo x produção para o ano de 2009.	100
Figura 5.10	Padrão de consumo para o SACG.	102
Figura 5.11	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 3.	104
Figura 5.12	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 14.	106
Figura 5.13	Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 2.	107
Figura 5.14	Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 3.	108
Figura 5.15	Variação dos níveis dos reservatórios na simulação 10.	111
Figura 5.16	Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 14.	112
Figura 5.17	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 15	112
Figura 5.18	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 18.	116
Figura 5.19	Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 18.	118
Figura 5.20	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 19.	119
Figura 5.21	Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 19.	120
Figura 5.22	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 20.	121
Figura 5.23	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 24.	121
Figura 5.24	Comportamento dos níveis dos reservatórios, operando fora do horário de ponta (simulação 26).	127
Figura 5.25	Funcionamento dos conjuntos motobombas operando fora de ponta (simulação 26).	127
Figura 5.26	Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 28.	130
Figura 5.27	Funcionamento dos conjuntos motobombas operando fora de ponta na simulação 28.	130
Figura 5.28	Comportamento dos níveis dos reservatórios, com aumento de 5% na demanda	132

LISTA DE QUADROS E TABELAS

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Quadro resumo do sistema de reservação do SACG.	57
Quadro 3.2	Quadro resumo das estações elevatórias do SACG.	58
Quadro 5.1	Localidades abastecidas atualmente pelo açude Boqueirão	79
Quadro 5.2	Áreas do SACG com dificuldades no abastecimento de água	98
Quadro 5.3	Descrição das condições adotadas nas simulações da EEAT-Gravatá	103
Quadro 5.4	Horário da manutenção preventiva nas simulações da EEAT-Gravatá	115
Quadro 5.5	Condições gerais para simulação com operação fora do horário de ponta	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Características da EEAB – Boqueirão (CAGEPA, 2010)	42
Tabela 3.2	Características da ETA-Gravatá (CAGEPA, 2011)	43
Tabela 3.3	Características da EEAT-Gravatá e das adutoras de água tratada	44
Tabela 3.4	Localidades atendidas pelo SACG (com informações da CAGEPA, 2010 e IBGE, 2010)	45
Tabela 3.5	Zonas de pressão do SACG	47
Tabela 3.6	Comprimento por diâmetro nominal (adaptado de CAGEPA, 2010)	48
Tabela 3.7	Reservatórios da zona urbana e distritos de Campina Grande (adaptado de CAGEPA, 2010)	50
Tabela 3.8	Reservatórios abastecidos das cidades a partir da rede de distribuição de Campina Grande (adaptado de CAGEPA, 2010).	51
Tabela 3.9	Volume distribuído para o SACG no ano de 2009 (adaptado de CAGEPA, 2010)	51
Tabela 3.10	Índice de perdas dos prestadores de serviços do Nordeste do Brasil (SNIS, 2007)	52

Tabela 3.11	Estudos com informações referentes ao perfil de consumo de água do SACG	53
Tabela 3.12	Funcionamento da EEAB- Boqueirão (adaptado de CAGEPA, 2010)	54
Tabela 3.13	Vazões da EEAB – Boqueirão (adaptado de CAGEPA, 2010)	55
Tabela 3.14	Vazões da EEAT-Gravatá (adutoras DN 500, DN 700 e DN 800) (adaptado de CAGEPA, 2010)	55
Tabela 4.1	Planilha para determinação dos volumes produzidos e consumidos para o dia 12 de março de 2009	67
Tabela 4.2	Características das adutoras de água tratada (adaptado de CAGEPA, 2010)	73
Tabela 5.1	Crescimento da rede de distribuição de água (CAGEPA, 2011).	84
Tabela 5.2	Crescimento dos trechos de menor diâmetro (CAGEPA, 2011).	85
Tabela 5.3	Levantamento da necessidade da macromedição para a zona de pressão A.	89
Tabela 5.4	Levantamento da necessidade de macromedição para as zonas de pressão atendidas diretamente das adutoras	90
Tabela 5.5	Levantamento da necessidade da macromedição para as zonas de pressão B e C	91
Tabela 5.6	Levantamento da necessidade da macromedição para a zona de pressão D	92
Tabela 5.7	Comportamento do crescimento das ligações de água do SACG (CAGEPA, 2011)	93
Tabela 5.8	Vazamentos retirados da rede de distribuição no ano de 2009 (CAGEPA, 2011)	95
Tabela 5.9	Resultados das simulações para definição do agendamento operacional diário	105
Tabela 5.10	Custo diário com consumo de energia elétrica para as simulações	113
Tabela 5.11	Resultados das simulações para as paradas programadas na EEAT-Gravatá.	117
Tabela 5.12	Custo diário de energia elétrica para as simulações 3 e 5 (adaptado de ENERGISA, 2010)	122
Tabela 5.13	Valores do contrato de uso de energia elétrica no período de um mês.	123

Tabela 5.14	Economia máxima com energia elétrica no horário de ponta, no período de um mês (adaptado de CAGEPA, 2010).	124
Tabela 5.15	Despesa com energia elétrica no horário de ponta, no período de 12 meses (CAGEPA, 2010)	125
Tabela 5.16	Resultado da simulação com operação fora do horário de ponta	126
Tabela 5.17	Resultado da simulação com operação fora do horário de ponta, considerando redução de demanda.	130
Tabela 5.18	Análise da simulação 3 com o aumento da demanda para a operação do item 5.3.2.1 (agendamento operacional diário)	132
Tabela 5.19	Resultados das simulações com o aumento da demanda para a operação do item 5.3.2.1 (agendamento operacional diário)	133
Tabela 5.20	Resultados das simulações com o aumento da demanda para a operação do item 5.3.2.2 (agendamento para manutenção programada)	135

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Caracterização do problema	1
1.2	Objetivo geral	3
1.3	Objetivos específicos	3
2	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)	4
2.1	Sistemas de abastecimento de água	4
2.2	Operação de SAA	8
2.2.1	Operação de sistemas de reservação	12
2.3	Automação e Sistemas SCADA	15
2.4	Modelagem	19
2.4.1	Estado da arte em modelagem de SAA	23
2.5	Previsão de demanda	32
2.6	Eficiência energética em SAA	33
3	O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (SACCG)	35
3.1	Estrutura de gestão da CAGEPA	35
3.2	Descrição do sistema	35
3.2.1	Breve histórico	35
3.2.2	Unidades operacionais	39
3.2.2.1	O manancial	39
3.2.2.2	A captação	42
3.2.2.3	A estação elevatória de água bruta	42
3.2.2.4	Adutoras de água bruta	42
3.2.2.5	Estação de tratamento de água (ETA-Gravatá)	43
3.2.2.6	A estação elevatória de água tratada (EEAT-Gravatá) e adutoras de água	43
3.2.2.7	Localidades atendidas	45
3.2.2.8	Rede de distribuição	46

3.2.2.9	Sistemas de reservação	49
3.2.2.10	Macromedição, micromedição, perdas e perfil do consumo	51
3.2.3	Descrição da operação	54
3.2.3.1	A EEAB-Boqueirão	54
3.2.3.2	A EEAT-Gravatá	54
3.2.3.3	Sistema de reservação e outras estações elevatórias	56
3.3	O sistema de controle operacional	56
3.4	O sistema de automação	59
4	METODOLOGIA	61
4.1	Levantamento de informações cadastrais do sistema	62
4.2	Levantamento de dados operacionais	63
4.3	Elaboração da curva de demanda	64
4.4	Diagnóstico do sistema	68
4.4.1	Diagnóstico das unidades operacionais	68
4.4.2	Diagnóstico da operação	69
4.5	Modelagem do sistema	70
4.5.1	Descrição do modelo EPANET 2	71
4.5.2	Modelagem do SACC	72
4.5.2.1	Estimativa do consumo para os nós	72
4.5.2.2	Modelagem das unidades operacionais	72
4.5.2.3	Modelagem e simulação para o sistema adutor EEAT-Gravatá	74
4.5.3	Elaboração de regras operacionais	74
4.5.4	Análise da robustez das regras	77
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
5.1	Diagnóstico das unidades operacionais do SACC	78
5.1.1	Manancial	78
5.1.2	Captação	80
5.1.3	Adutoras de água tratada	80
5.1.3.1	Estações elevatórias	82
5.1.3.2	Tubulações	82
5.1.4	Rede de distribuição	83

5.1.4.1	Sistemas de reservação	83
5.1.4.2	Estações elevatórias	83
5.1.4.3	Rede de tubulações e acessórios	84
5.1.4.4	Macromedição e micromedição	87
5.1.4.5	Manutenção preventiva e corretiva	94
5.2	Diagnóstico da operação	96
5.2.1	Regime operacional atual	96
5.2.2	Controle operacional	96
5.2.3	Áreas com falhas no abastecimento	97
5.3	Simulação da operação do sistema adutor EEAT-Gravatá	100
5.3.1	Curva de demanda	100
5.3.2	Simulações	102
5.3.2.1	Agendamento operacional diário	103
5.3.2.2	Agendamento para execução de manutenção programada	114
5.3.2.3	Operação com funcionamento apenas no horário fora de ponta	123
5.3.2.4	Operação com funcionamento apenas no horário fora de ponta e com redução de demanda	129
5.4	Regras operacionais	131
5.4.1	Agendamento operacional diário	131
5.4.2	Agendamento para execução de manutenção programada	134
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	136
6.1	Conclusões	136
6.2	Recomendações	137
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do problema

Para que um sistema público urbano de abastecimento de água possa atender determinada população, diversas etapas devem ser previamente estabelecidas e cumpridas. De modo geral, as principais são: elaboração do projeto, implantação e operação. As duas primeiras fases consistem nos estudos técnicos de concepção, dimensionamento e execução, observando-se prioritariamente o que está consubstanciado nas normas técnicas e nas análises econômicas de custo benefício.

A operação consiste no conjunto de atividades e ações que permitam o funcionamento das unidades componentes do sistema, de modo que todos os pontos de consumo sejam plenamente abastecidos, de acordo, também, com parâmetros técnicos e econômicos. Porém, devido às grandes dificuldades de gestão do processo operacional, estas exigem estudos e análises detalhadas, pois é grande o número de incertezas intervenientes.

Assim, a rotina operacional de um sistema de abastecimento de água (SAA) pode apresentar diversas dificuldades. Entre elas: alto índice de perdas físicas, elevados custos com energia elétrica, capacidades inadequadas dos reservatórios de distribuição, áreas atendidas não previstas em projeto, realização de constantes manobras na rede de distribuição para serviços de manutenção, tubulações antigas em avançado estágio de deterioração, equipamentos das estações elevatórias com elevado grau de desgaste, cadastros técnicos desatualizados, alteração de parâmetros de qualidade ao longo da rede de distribuição.

Este cenário dificulta a operação, tornando-a um conjunto de processos cada vez mais complexo e problemático. Diante disso, Carrijo (2004) considera que a operação de um SAA não pode ser entendida apenas como uma mera sequência de comandos exercidos sobre os equipamentos, que têm como objetivo o atendimento da demanda. Na realidade, o problema é muito mais amplo e multidisciplinar, envolvendo aspectos de planejamento, controle e supervisão, serviços de infra-estrutura de apoio e de atendimento ao usuário, todos considerados simultaneamente e interdependentes entre si.

Vicente (2005) afirma que as dificuldades operacionais dos sistemas são provenientes, principalmente, da carência de técnicas de engenharia operacional e de métodos modernos de gestão de pessoas.

Paralelamente ao desenvolvimento socioeconômico do país em diversas áreas, novos cenários descortinam-se e avançam rapidamente. Na seara jurídica, os instrumentos de proteção do cidadão evoluem a passos largos, de modo que a legislação e os institutos de defesa e proteção do consumidor encontram-se consolidados, exigindo que as prestadoras de serviços públicos, por exemplo, adaptem-se às novas realidades. Na esfera dos recursos hídricos, instrumentos e normas são implantados, indicando que o uso racional da água é o paradigma a seguir. No cenário tecnológico, o desenvolvimento dos computadores ocorre rapidamente e permite ao homem desenvolver técnicas de simulação de sistemas reais e criar mecanismos que possam melhorar e controlar continuamente os processos de produção, tratamento e distribuição de água.

As ferramentas computacionais atingiram avançado grau de aperfeiçoamento e estão tornando-se cada vez mais acessíveis, com a existência de softwares livres e de código aberto de boa qualidade e muito utilizados em diversos países. Equipamentos que tornam a operação mais eficiente são desenvolvidos e aperfeiçoados, como válvulas, conversores de frequência e sensores. A automação começa a ser implantada nos sistemas mais complexos, de modo que os sistemas supervisórios passam a ser ferramentas de grande utilidade.

Pesquisadores empenham-se na realização de novos estudos visando à eficiência da operação. Os modelos hidráulicos assumem papel fundamental nesse contexto, tornando-se ferramenta essencial no realizar das pesquisas.

A urbanização em elevados índices (com o ainda crescente êxodo rural), traduzida no crescimento das cidades, com a construção civil, atingindo altos níveis, principalmente na edificação vertical e de conjuntos habitacionais populares, vem exigindo respostas urgentes dos sistemas de abastecimento, numa época em que a escassez de água potável já é uma realidade, de tal modo que, em determinados locais, a realização do atendimento torna-se difícil.

Assim, as concessionárias responsáveis pelo serviço de abastecimento de água devem adotar medidas que se adaptem às necessidades atuais e utilizem novas ferramentas tecnológicas e de gestão, de modo que os processos operacionais sejam realizados mais eficientemente.

Porém, percebe-se, ainda, que, na maioria dos sistemas brasileiros, técnicas e tecnologias de gestão da operação ainda não foram implementadas, sinalizando que ainda muitas ações de planejamento deverão ser estudadas ao longo dos próximos anos, exigindo elevados investimentos econômicos.

De modo geral, com a crescente complexidade dos SAA, com as condições de escassez de água, com o volume de reservação restrito, com a capacidade de adução limitada pelas dimensões das tubulações, pelas características físicas da topografia, pela ausência de equipamentos de controle adequados é necessária, cada vez mais, a existência de um conjunto bem definido de subsídios para a gestão do processo operacional de distribuição de água.

Neste trabalho apresenta-se um estudo que visa ao diagnóstico da operação do Sistema de Abastecimento de Campina Grande (SACG), considerada etapa fundamental para subsidiar qualquer programa de melhoria dos serviços de fornecimento de água à população, de redução de perdas, de efficientização energética, de reabilitação e de expansão do sistema.

1.2 Objetivo geral

A proposta deste trabalho é a elaboração de diagnóstico operacional de SAA e o desenvolvimento de um conjunto de regras ou procedimentos que sirvam como suporte para a tomada de decisão dos processos operacionais.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Elaboração de diagnóstico da situação das unidades operacionais do SAA.
- Elaboração de diagnóstico da operação do SAA.
- Elaborar perfil de consumo do sistema.
- Definição de agendamento operacional para estações elevatórias de água tratada (EEAT) e para reservatórios.
- Definição de horário para a execução de serviços de manutenção preventiva em EEAT's e adutoras de água tratada.
- Verificar se o SAA permite a suspensão do funcionamento de EEAT's no horário de ponta.
- Verificar cenários operacionais considerando a redução e o aumento de consumo do sistema.

2 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)

2.1 Sistemas de abastecimento de água

Para que o homem viva em comunidade, torna-se primordial a existência de um conjunto de sistemas de infra-estrutura nos aglomerados populacionais que objetive atender a todas às suas necessidades. Entre eles, pode-se citar o sistema de drenagem de águas pluviais, os arruamentos, as vias públicas e pavimentação, o serviço de coleta e destino de resíduos sólidos, o sistema de coleta e tratamento de esgoto e o de transporte coletivo. Porém, um dos mais essenciais refere-se ao abastecimento de água potável, suprimindo os diversos consumos suscitados pela sociedade (uso doméstico, comercial, industrial e público).

Assim, o conjunto de obras, instalações, equipamentos e serviços, que constitui um complexo de sistemas hidráulicos, destinado a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população é denominado de sistema de abastecimento público de água (FUNASA, 2006).

De modo geral, um sistema de abastecimento é constituído pelas seguintes unidades: o manancial, a captação, as adutoras, as estações elevatórias, a estação de tratamento, os reservatórios e a rede de distribuição. A Figura 2.1 apresenta uma configuração geral para um SAA.

O manancial é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento da comunidade. Além de dispor de vazão suficiente, a qualidade da água (do ponto de vista físico, químico, biológico e bacteriológico) deve atender aos critérios de potabilidade estabelecidos na Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde. Assim, medidas de controle devem ser tomadas tendo em vista à degradação sofrida pelos mananciais devido a fatores como urbanização, erosão e assoreamento, indústrias, córregos e águas pluviais, resíduos sólidos e agrícolas e esgotos domésticos.

A captação é o conjunto de estruturas e acessórios responsáveis pela retirada da água do manancial a ser destinada para a etapa de tratamento.

As adutoras permitem a condução da água para as unidades que estão localizadas a montante da rede de distribuição. Podem ser de água bruta ou tratada. São por gravidade ou recalque.

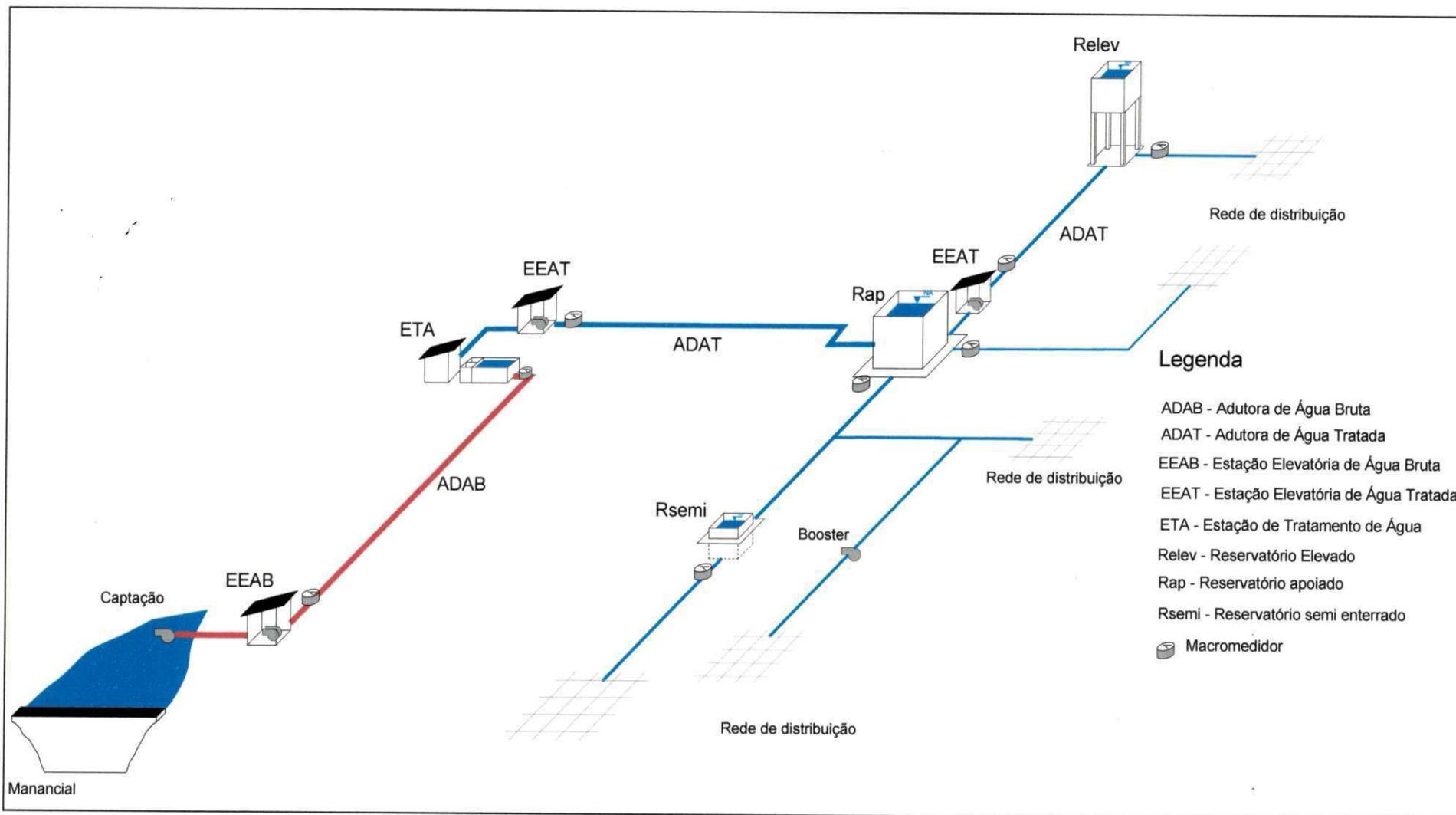


Figura 2.1 - Unidades operacionais de um SAA.

As estações elevatórias ou de recalque são as instalações de bombeamento destinadas a transportar água a pontos mais distantes ou mais elevados, aumentar a vazão das adutoras e alimentação direta da rede de distribuição através de boosters. São as unidades onde normalmente ocorrem os maiores gastos com energia elétrica.

A estação de tratamento (ETA) possibilita que a água a ser distribuída esteja adequada ao consumo. O tipo de tratamento escolhido vai depender principalmente das condições qualitativas em que se encontra a água do manancial.

Os reservatórios são os elementos destinados a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição. São unidades importantes para o controle do abastecimento. Com o objetivo de melhorar a distribuição de água, aproveitar ao máximo a capacidade de acumulação e dar segurança operacional ao sistema, é necessário estabelecer regras e níveis operacionais de segurança.

A rede de distribuição é a parte do sistema, constituída por tubulações e órgãos acessórios, destinada a suprir a necessidade dos consumidores por água potável, de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas. Geralmente há trechos ramificados e malhados. Devido à expansão natural do sistema, requer uma constante atualização cadastral, uma vez que o processo de modificação (instalação e retirada de válvulas, interligações, extensões de rede, etc.) de suas unidades é dinâmico.

As ligações prediais ou domiciliares são os pontos de consumo da rede. Devem ser dotadas de hidrômetros, para a realização da micromedição. Há ainda os hidrantes, que são unidades que disponibilizam água na rede para combate emergencial a incêndios.

Além disso, nas diversas unidades há um grande número de dispositivos e acessórios que possibilitam o controle da operação do sistema, como válvulas de bloqueio (gaveta e esfera), válvulas de regulação (globo, borboleta, agulha, diafragma), válvulas de proteção (por exemplo, alívio e segurança), válvulas de controle de pressão (reduzora, sustentadora), válvulas de controle de vazão, tanques de acumulação unidirecional, quadros de comando elétrico, sensores, medidores de vazão, etc.

Os sistemas têm arranjos muito diversos. Podem atender pequenas ou grandes comunidades, e suas estruturas podem ter baixo ou alto grau de complexidade. A concepção depende de muitos fatores, entre eles, porte da cidade, topografia, sua posição em relação aos mananciais, etc. (TSUTIYA, 2001). Portanto, devem-se considerar as diversas variáveis intervenientes para que se procure a solução mais adequada (HELLER, 2006). De acordo com a UNICEF (1978), a tecnologia apropriada para o saneamento deveria ser aquela

higienicamente segura, técnica e cientificamente satisfatória, social e culturalmente aceitável, inócua ao ambiente e economicamente viável. Há uma tendência atual da escolha por sistemas integrados, ou seja, aqueles que dispõem de um único manancial, uma única ETA e várias localidades atendidas.

Grandes quantias de recursos financeiros são destinadas para o projeto, a implantação, a operação e a manutenção dos sistemas de abastecimento. Ainda há os impactos ambientais causados e a necessidade de criação de uma estrutura de gerenciamento que se adapte às características intrínsecas da solução escolhida. Por outro lado, devem ser previstas as ampliações ao longo do alcance do projeto. Diante disso, estudos detalhados multidisciplinares devem ser realizados logo no início da escolha da concepção. Os projetos devem priorizar medidas que facilitem as ações operacionais.

Nesse sentido, devido à preocupação com a escassez de recursos hídricos e o grande crescimento das cidades, a gestão dos processos operacionais surge como atividade essencial a ser desempenhada pelas concessionárias dos serviços de saneamento. É primordial a implantação de um planejamento que contemple ações de controle das perdas, eficiência energética e melhoria dos procedimentos de operação e manutenção. São medidas que estabelecem como prioridade o uso racional da água.

O aumento nos níveis de urbanização e conseqüentemente na demanda por água potável tornou a operação dos sistemas de distribuição uma tarefa bastante complexa (ORMSBEE E REDDY, 1995).

A gestão da operação dos SAA é uma atividade que deve ser assumida como prioritária pelo corpo gerencial. Através dela, melhora-se a eficiência energética e hidráulica, reduzem-se as perdas de água e prorroga-se a execução de obras para ampliação do sistema.

Dessa forma, a análise econômica e financeira é imprescindível para qualquer projeto de engenharia, principalmente, os de sistemas de abastecimento de água, que envolvem custos bastante elevados, no que se refere aos investimentos para a implantação do projeto, como também na operação e manutenção destes sistemas (GOMES, 2009).

De acordo com Gomes (2009), a metodologia mais adequada para o problema da indeterminação hidráulica no dimensionamento dos condutos de recalque é aquela que se utiliza da introdução do critério econômico para se alcançar a alternativa de projeto que minimize o custo total do sistema, composto pelos custos de implantação e de operação.

Porém, após a implantação, todo sistema de abastecimento é susceptível ao surgimento de falhas (qualquer fenômeno que ocasione uma deficiência em termos de pressão e vazão nas

redes hidráulicas). Cullinane et al. (1992) classificam essas falhas em mecânicas ou hidráulicas. As falhas hidráulicas são decorrentes de fatores como o aumento na demanda dos nós (crescimento populacional), o aumento da rugosidade das tubulações (idade das redes), os vazamentos distribuídos (construção, tráfego, solo, dentre outros) e a falta de energia elétrica. Por outro lado, as falhas mecânicas são decorrentes de quebras de componentes hidráulicos como bombas, válvulas e tubulações. As causas mais comuns são as pressões elevadas (interrupções da rede e transientes hidráulicos), os eventos catastróficos, defeitos nos componentes e ainda tensões elevadas, como por exemplo, aquelas ocasionadas pelo tráfego sob o sistema. Muitos destes problemas ocorrem devido à aplicação de práticas inadequadas de gestão operacional de todo o processo, desde a produção até a distribuição da água.

A operação eficiente de um SAA é fundamental para que sua vida útil se prolongue o máximo possível, garantindo o atendimento aos consumidores, além de manter os custos de energia elétrica e manutenção dentro dos padrões aceitáveis (CARRIJO, 2004).

2.2 Operação de SAA

Após a implantação de um SAA, independente de sua complexidade, é imprescindível a utilização de critérios e regras para se definirem os procedimentos de funcionamento do mesmo.

A gestão do processo de operação do sistema torna-se fundamental para um bom funcionamento durante o período de alcance do projeto. Para Carrijo (2004), a operação vem recebendo atenção especial por parte de pesquisadores e outros profissionais da área, devido à necessidade de se garantir confiabilidade no atendimento dos serviços, economia de energia elétrica no uso dos equipamentos, atendimento das demandas, com pressões desejadas e, retardamento de investimento para a expansão de suas unidades.

Barbosa et al. (1999) distinguiram, em dois grandes grupos, os objetivos a serem atingidos pelos sistemas de abastecimento de água: objetivos técnicos e econômicos. Os primeiros estão ligados ao desempenho hidráulico, tais como a garantia das pressões mínimas e máximas¹, a garantia de água suficiente para proteção contra incêndio, confiabilidade operacional, etc. No segundo grupo configura-se a minimização dos custos associados aos componentes do sistema e aos custos operacionais.

¹ De acordo com a NBR 12 218/1994, que trata de projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, a pressão dinâmica disponível mínima deve ser de 10 mca e a máxima estática, 50 mca.

O conceito de controle operacional de sistemas de abastecimento envolve o entendimento da inter-relação de variáveis importantes. Mas Luvizotto Júnior (1995) nos alerta que o conceito de operação de sistemas é entendido por leigos como uma mera sequência de comandos de equipamentos, que tem como objetivo o atendimento da demanda. Nesse entendimento, Carrijo (2004) assegura que o problema é muito mais amplo, envolvendo aspectos de planejamento, controle e supervisão, serviços de infraestrutura de apoio e atendimento ao usuário, todos, considerados de forma simultânea e interdependentes entre si.

Francato (2002) enumerou, em três categorias, os principais problemas que desafiam a operação: problemas de gestão administrativa das empresas em que se inclui a baixa qualificação profissional dos funcionários, a falta de responsabilidade dos serviços executados; problemas político-institucionais, resultantes da falta de continuidade das ações de uma administração pública para outra e da falta de competição entre empresas; problemas técnicos e operacionais que resultam numa operação inadequada do sistema.

Em muitos sistemas, ainda durante o período de alcance, há o aumento da demanda, extrapolando a sua capacidade de produção. É muito comum, em determinada região, haver uma expansão populacional que não estava prevista, principalmente, no projeto do sistema de abastecimento. Diante disso, as concessionárias têm que encontrar uma resposta para o atendimento da população e o sistema passa a ser operacionalizado em situações totalmente diversas daquelas em que foi projetado. Dessa forma, Luvizotto Júnior (1995) ressaltou que a falta de dados operacionais e as deficiências no atendimento enfatizam a necessidade da utilização de um controle operacional mais rígido para o sistema.

A existência de falhas mecânicas ou hidráulicas pode vir a prejudicar o funcionamento da distribuição de água. Assim, o objetivo básico da operação é garantir o atendimento ao consumidor com eficiência e confiabilidade. As atividades ligadas ao abastecimento são as que compõem a operação propriamente dita, de caráter permanente e ininterrupto, visando a manter o sistema em funcionamento e atendendo às demandas. Estas atividades envolvem, dentre outras, o controle do abastecimento, a manutenção corretiva, o atendimento ao público, a geração de dados operacionais e relatórios de operação. A confiabilidade mecânica é o principal suporte da operação, pois envolve a inspeção e a manutenção preventiva das instalações, a análise dos dados operacionais e a análise do desempenho.

Carrijo (2004) afirma que as formas de se operar um sistema de abastecimento de água são muito variadas e dependem de vários fatores, tais como a dimensão e complexidade do

sistema, a experiência dos operadores, a disponibilidade de equipamentos apropriados para comunicação, para comando de estruturas de controle e para cálculos e a disponibilidade de modelos matemáticos para análises das informações. Ele acrescenta ainda que não se devem esquecer outros aspectos igualmente importantes: a segurança, a confiabilidade e os custos operacionais.

Há ainda outros aspectos a considerar. O consumo (demanda) que varia de forma aleatória, possíveis falhas ou remoção do serviço de um ou mais componentes eletromecânicos do sistema (tubulações, bombas, válvulas, etc.), quantidade de água disponível nos reservatórios para suprir o aumento diário ou semanal das demandas e a qualidade da água a ser distribuída ao consumidor.

Para atingir-se um estágio de excelência operacional, a concessionária dos serviços deve promover a adoção de diversas medidas estruturais e institucionais adequadas. E isso não é tarefa fácil. Há necessidade de equipamentos tecnologicamente apropriados e pessoal técnico devidamente capacitado. O organograma administrativo deve permitir o perfeito funcionamento dos setores de operação e manutenção e sua inter-relação satisfatória entre os níveis hierárquicos, bem como com outras áreas da gestão, como a comercial e a de tratamento. Neste último aspecto, como bem assinala Francato (2002), alguns pontos podem ser notados. Não há uma interação maior entre as áreas de projeto e as de manutenção e operação, de modo que muitos problemas poderiam ser solucionados. Acrescenta que não há cuidado técnico com as atividades de manutenção, de modo que, são realizadas, por exemplo, reabilitações e não há o devido cadastro nem consulta prévia a respeito das consequências à operação. O último ponto e não menos importante refere-se à falta de condições técnicas de trabalho para a área de manutenção, que muitas vezes limita-se a receber informações de usuários e tentar solucionar a falta de água e não agir na elaboração de normas e regras operacionais.

Um dos grandes empecilhos para a gestão operacional é a falta de informação técnica a respeito das unidades operacionais. Ainda quando a mesma existe, na maioria das vezes, não há um fluxo satisfatório de comunicação, permitindo a sua atualização constante e a sua disponibilização multilateral pelos vários setores usuários. Assim, diversas alterações (expansão de rede de distribuição, mudança de diâmetros de redes, substituição de tubos, instalação de válvulas, substituição de motores com melhor rendimento, interligação de zonas de pressão, etc.) são realizadas no sistema e muitas vezes não se sabe como disponibilizar essa informação. Como exemplifica Francato (2002), em sistemas de pequeno porte, é comum

algum servidor ter memorizado em sua mente determinadas informações referentes aos sistemas que não há em qualquer outro lugar.

Na operação de SAA, sempre se trabalha com previsões. A decisão atual é tomada para um momento futuro. Assim, quanto maior for o nível de informação sobre o sistema, melhor dar-se-á o processo operacional. Verifica-se que o trabalho, no setor de operações, em um sistema de abastecimento, requer decisões eficientes e em tempo real. A aplicação de uma regra operacional inadequada pode ser desastrosa para a operação do sistema.

De acordo com Carrijo (2004), o controle das várias unidades integrantes de um sistema de distribuição de água pode ser feito isoladamente ou através de uma central (controle local). Para Tardelli (1987), o controle isolado pode ser feito de três formas diferentes: manual, automática não programada e automática programada. Na primeira, o operador maneja a estrutura de controle em função do estado local do equipamento e anota os dados operacionais e de consumo. A segunda forma acontece, por exemplo, nos casos de reservatórios controlados por bóias e elevatórias comandadas por pressostatos, exigindo a necessidade de parâmetros definidos pelos planejadores para acionamento dos dispositivos de controle. Na terceira forma, o comando do controle é efetuado através de redes ou de controladores lógicos programáveis (CLP's) que contêm microprocessadores capazes de adquirir e analisar dados e comandar um processo de emissão desses, permitindo uma maior complexidade de regras operacionais, que podem incluir critérios mais flexíveis, além de limites máximos e mínimos adotáveis.

Já no controle centralizado, as decisões são emitidas por uma unidade central específica, geralmente denominada de centro de controle operacional. A forma mais simples é aquela em que o operador de uma unidade do sistema obedece a comandos do centro de controle e transmite os dados operacionais a este centro (CARRIJO, 2004).

A elaboração e a implantação de um sistema de suporte para tomada de decisões no controle operacional de sistemas de abastecimento de água apresentam-se como etapas necessárias a serem adotadas pela concessionária. A operação exige uma metodologia. Regras devem existir. Apenas a experiência dos operadores não é suficiente para os critérios de decisão. Atualmente, existem diversas ferramentas que são usadas como apoio à elaboração das regras decisórias. Uma delas é a modelagem hidráulica computacional seguida da simulação. Outra é a automação das unidades do sistema controlada por um sistema supervisor.

Quanto mais complexo for o sistema de abastecimento, mais sofisticado deverá ser o sistema de suporte à decisão (SSD). Porém, independente do porte, é possível a elaboração de um plano operacional com regras básicas, adaptadas à realidade local.

Outro ponto a considerar, refere-se ao sistema de informações geográficas (SIG), que se apresenta como uma boa ferramenta complementar para o gerenciamento e operação de SAA. Porém, seu uso tem sido restrito pela falta de informação histórica dos sistemas. A maioria dos cadastros de sistemas de água não conta com informações técnico-comerciais digitalizadas e acopladas a uma base de dados. Em função disto, a utilização ainda é bastante limitada, particularmente, para propósitos operacionais.

Além das ferramentas adequadas à montagem do plano operacional, necessita-se que, dentro do organograma administrativo da concessionária, existam instrumentos organizacionais que permitam e possibilitem a implantação de medidas que alterem as práticas gerenciais.

2.2.1 Operação de sistemas de reservação

Normalmente, a operação de reservatórios em sistemas de abastecimento reduz-se à abertura ou fechamento de válvulas de controle e partida ou desligamento de bombas, variando as vazões aduzidas. Às vezes, altera-se também, através do manuseio de válvulas, a vazão de distribuição, com o intuito do controle de nível, geralmente objetivando-se aumentá-lo. Assim, o controle dos reservatórios, nesses casos, não é efetuado com base em dados "on line" e na previsão de consumo do período seguinte, hora ou dia, mas decididas pelos operadores face às demandas correntes e estão sujeitas aos riscos de extravasão e esvaziamento dos reservatórios. (TSUTIYA, 2006).

De acordo com Tsutiya (2006), com o objetivo de melhorar a distribuição de água, aproveitar ao máximo a capacidade de reservação e dar segurança operacional ao sistema, faz-se necessário estabelecer limites operacionais de segurança e regras operacionais para os reservatórios de distribuição. Assim, serão indicadas as condições que são consideradas ideais para a operação, cuja variabilidade ocorre tanto na sua amplitude quanto na posição dentro da dimensão do reservatório ao longo do ciclo operacional, observando-se o comportamento da demanda de abastecimento.

Os principais parâmetros operacionais dos reservatórios estão indicados na Figura 2.2.

A determinação dos limites operacionais consiste no cálculo da folga, que é a altura correspondente à diferença entre o limite da bóia e o limite alto, e corresponde ao acréscimo de volume entre a emissão do alarme de limite alto e o total do fechamento da válvula de controle. O volume nominal é a capacidade de armazenamento do reservatório. Já o volume útil é a quantidade de água que realmente se pode utilizar na operação, uma vez que o limite baixo é o nível mínimo do reservatório para que não haja, por exemplo, formação de vórtice e entrada de ar na tubulação de saída.

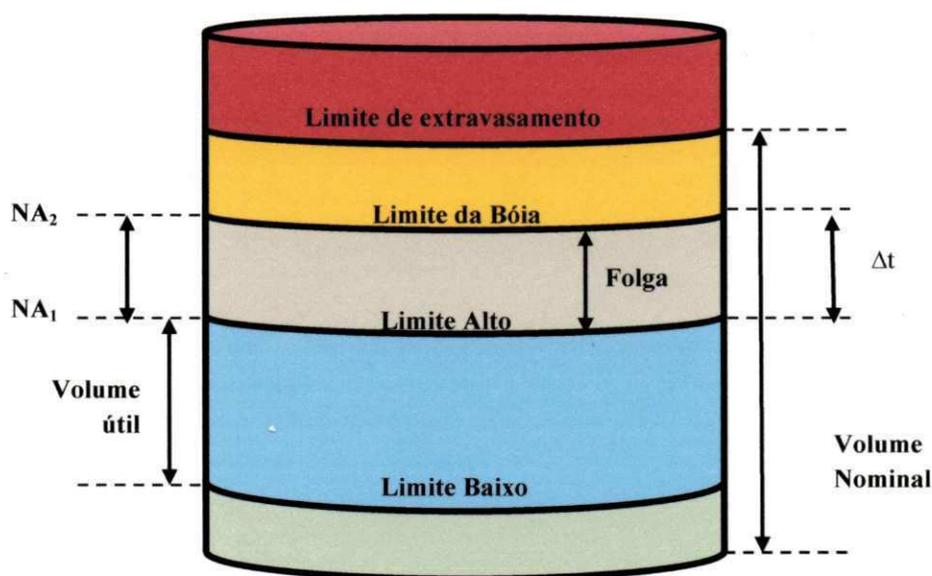


Figura 2.2 – Níveis operacionais de reservatórios e cálculo da velocidade de subida do nível da água (Adaptado de Ohara e Lacerda, 2002).

O limite alto assume papel fundamental na operação. Ele representa o nível máximo do reservatório para que haja tempo hábil de manobra, evitando que a água atinja o extravasor ou que a bóia de segurança seja acionada.

De acordo com Ohara e Lacerda (2002), a folga pode ser determinada através da Equação 2.1:

$$\Delta h = \text{Vel} * T_{\text{total}} \quad (2.1)$$

Onde:

Δh – folga de segurança;

Vel – Velocidade de subida da lâmina d'água;

$$T_{\text{total}} = T_{\text{rec}} + T_{\text{fech}} * P (\%) \quad (2.2)$$

Onde:

T_{rec} – Tempo de reconhecimento do alarme;

T_{fech} – Tempo total de fechamento da válvula de controle;

P (%) – Posição da válvula de controle.

Para obtenção das velocidades de subida do nível de água, obtêm-se os dados dos registros da operação. São calculadas em função da variação do nível de água e o intervalo de tempo em que se deu esta variação. A Figura 2.2 ilustra tal cálculo. Naturalmente, a quantidade e a qualidade das informações existentes vão interferir no resultado final.

Assim, a velocidade de subida é calculada através da equação:

$$V_s = (NA_2 - NA_1) / \Delta t \quad (2.3)$$

Onde:

V_s – Velocidade de subida da lâmina de água;

Δt – Intervalo de tempo.

Nos sistemas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), operados pela SABESP, o intervalo de tempo entre o reconhecimento do alarme de limite alto e o início da atuação da válvula foi de 5 minutos (OHARA E LACERDA, 2002).

Em qualquer sistema, a análise da definição dos limites operacionais deve ser muito criteriosa e específica para cada reservatório. Por exemplo, em algumas situações, o limite baixo não vai ser escolhido a partir dos critérios de segurança (surgimento de vórtice, acumulação de ar), mas, sim, a partir da cota topográfica mínima a atender, uma vez que pode ter havido expansão desordenada do sistema e o nível mínimo não mais atender a determinadas regiões.

Portanto, para a implantação de regras operacionais, inicialmente a metodologia deve definir quais os objetivos a atingir. Para Secco (2006), a base para definição das regras operacionais é a maximização da utilização da capacidade de reserva de cada setor. Naturalmente, deve-se considerar a sazonalidade da demanda e identificar-se o histórico de consumo da região.

Para a RMSP, por exemplo, os objetivos principais foram: redução do custo com energia elétrica do sistema bombeamento-reservação; regularização da vazão de adução e aumento da confiabilidade do sistema (SECCO, 2006).

2.3 Automação e sistemas SCADA

Buscando adaptar-se a uma nova realidade tecnológica, há uma tendência de que o controle de sistemas de abastecimento seja a partir de um centro de controle, sem a participação de operador local. Isso ocorre com a utilização de mecanismos automáticos tanto no auxílio de controle de processos simples como no controle de grandes sistemas.

Para Bezerra e Silva (2009), esse processo ocorre através da automação, de modo que se torna possível a monitoração, o controle e a interferência nas diversas unidades do sistema, em tempo real, possibilitando uma melhoria no desempenho operacional, a mensuração de todas as atividades e a redução dos custos. De acordo com Tsutiya (2006), a automação em saneamento básico consiste em coletar e concentrar as informações e processá-las com o uso da tecnologia de informação e, com base nos resultados obtidos, atuar, de uma forma autônoma, sobre os estados e as grandezas para obtenção dos resultados desejados.

A automação permite a integração com diversos outros sistemas como: apoio à manutenção, controle estatístico de processos, gerenciamento da produção e informações geográficas (SIG).

Afirma-se que o principal motivo pelo investimento em automação reside na melhoria da qualidade do tratamento da água, na redução de custos operacionais e controle de perdas reais e aparentes, além do aumento da confiabilidade do processo (BEZERRA E SILVA, 2009).

Em qualquer unidade operacional do sistema, pode-se aplicar a automação e com diversas funções. Por exemplo, na ETA, pode-se realizar a medição contínua de turbidez, cloro residual, flúor, PH e potencial de coagulação. Em redes de distribuição, realiza-se a medição de níveis de reservatórios, vazões e pressões na linha e telecomando de válvulas de manobra. Assim, todo o sistema pode ser automatizado ou apenas parte dele.

O processo de implantação da automação depende de altos custos, exigindo da concessionária um planejamento detalhado, envolvendo estimativa de custos, benefícios, retorno do investimento, prazos e cronograma. O seu funcionamento exigirá uma série de recursos: materiais, humanos, financeiros e/ou tecnológicos.

No controle automático, classificam-se os seus principais componentes em primário, controlador e atuador ou elemento final. O componente primário converte uma grandeza física como nível, pressão em sinal elétrico padronizado (corrente, tensão, etc.). O controlador assume a função de tomador de decisão (exemplo: controlador lógico programável). Já o

atuador é o dispositivo que altera o processo de acordo com o controlador (por exemplo: bomba e válvula).

Dentro do processo de automação, os sistemas de controle normalmente são do tipo SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, que são constituídos pelos seguintes subsistemas (BEZERRA e SILVA, 2009):

- Instrumentação (sensores e atuadores): Os sensores são um conjunto de equipamentos destinados à medição de grandezas físicas ou químicas e conversão dessas informações em sinais elétricos ou digitais que possam ser interpretados pelos controladores lógicos programáveis (CLP's) e outros dispositivos de controle. Constitui-se de sensores digitais (como pressostatos ou chaves de nível) ou analógicos (como medidores de pressão, vazão e nível). Já os atuadores são equipamentos destinados a agir no processo para mantê-lo sob controle. Inclui uma diversidade de equipamentos como válvulas, bombas, agitadores, dosadores e aquecedores, entre outros;

- Estações remotas (aquisição e controle): São as unidades responsáveis pela coleta e transmissão de dados a distância e são instaladas próximas às instalações ou equipamentos monitorados e controlados. Podem ser compostas por uma unidade terminal remota (UTR) e/ou CLP's. São responsáveis pela interface entre o sistema de supervisão e controle e os equipamentos/sensores de campo. O processo de controle e aquisição de dados se inicia nas estações remotas (CLP/UTR), com a leitura dos valores dos dispositivos que estão associados e seu respectivo controle. O CLP é um dispositivo físico eletrônico, baseado em um microcomputador que desempenha funções de controle de diversos tipos e níveis de complexidade, dotado de memória programável capaz de armazenar programas implementados por um usuário com o objetivo de determinar o estado das saídas, de forma a controlar um determinado processo, baseado no estado de suas entradas. Quando no sistema há grande quantidade de controladores ou quando o controlador está muito distante do centro de controle operacional, é necessário algum meio de comunicação entre o operador e o controlador. Nestes casos, comumente utilizam-se interfaces homem/máquina locais (IHM), permitindo a supervisão através de um display ou monitor de vídeo, com a possibilidade de modificação de parâmetros de controle localmente.

- Rede de comunicação: É o conjunto de equipamentos e programas utilizados para propiciar o trânsito de informações entre os diversos níveis hierárquicos e participantes de um sistema. O gerenciamento remoto ou acompanhamento de um sistema SCADA é geralmente

chamado de telemetria. Os meios para tráfegos de informações de um local para outro podem ser via linha telefônica, ondas de rádio, cabos condutores elétricos, fibras óticas entre outros. Assim, a rede de comunicação é a plataforma por onde as informações fluem, podendo estas circular em entre estações remotas e das unidades remotas aos centros de controle. É um componente de grande importância para o processo de automação.

- Sistema de supervisão e controle: é um software especializado no controle de processos que permite apresentar aos profissionais de operação e manutenção, os estados e valores de variáveis de processo, bem como executar comandos e operação à distância por meio de uma interface visual e simples. Incluem telas de supervisão, alarmes, históricos de operação, gráficos e diversas outras ferramentas de operação e análise do processo. Normalmente este software é chamado de supervisor, sistema supervisor, sistema computacional SCADA, sendo localizado no centro de controle operacional que supervisiona o sistema.

Assim, a automação de SAA já é uma realidade no Brasil, embora haja muito a se avançar na forma como as concessionárias tratam do assunto. Para Seixas Filho (2006), o objetivo principal que justifica a automação é a gestão. Afirma ainda que, através de um centro de controle operacional, podemos visualizar o histórico de qualquer variável do processo. É possível a investigação de um problema ocorrido em uma área, através de um sinótico do historiador, voltando até uma data próxima a um acontecimento de interesse. Pode-se comparar a energia específica (kWh por m³) gasta para bombear água em dois sistemas semelhantes, mas geograficamente não relacionados, pode-se descobrir quais os sistemas com maior disponibilidade, que consomem menos energia, que gastam menos reagentes, enfim que otimizem algum aspecto interessante de sua operação e daí gerar melhores práticas para toda a corporação. Um bom resultado obtido por uma área deve sofrer *rollout* para as demais plantas. O mal resultado deve forçar um realinhamento da unidade com as unidades de referência (SEIXAS FILHO, 2006).

Atualmente, um dos fatores que contribui para tornar a automação mais acessível é que o mercado fornecedor de equipamentos para o setor de saneamento está evoluindo tecnologicamente. Por exemplo, foi substituída a lógica mecânica pela eletrônica, com aumento de precisão e novas funções que agregam valor aos equipamentos e aos clientes, com progressiva redução de preços.

Uma contribuição adicional dos processos de automação é a conexão do sistema de supervisão e controle com sistemas corporativos de administração das empresas. Esta

conectividade permite o compartilhamento de informações importantes da operação diária, contribuindo para dar maior agilidade e confiabilidade aos dados no momento da tomada de decisão das empresas, isso sem contar a ampliação da capacidade de planejar melhor todas as ações das companhias.

Observa-se que diversos sistemas de abastecimento de água implantados pelo Governo Federal, (por exemplo, através de programas como o Pró-Água na Paraíba, há os sistemas adutores do Cariri e do Congo) são dotados de sistema de automação. Porém, o que se percebe é que muitas das companhias de saneamento não estão preparadas devidamente para assimilar a automação. Não há técnicos habilitados para atuar no gerenciamento e manutenção. O pessoal da operação também necessita de melhor treinamento. Há falta de equipamentos. Além disso, não houve reestruturação do organograma administrativo, e o setor responsável por esta nova área, geralmente, é aquele responsável pela manutenção eletro-mecânica das estações elevatórias e suas instalações convencionais. Portanto, há uma tendência de subutilização e até mesmo de inutilização das estruturas.

Trojan e Kovaleski (2005) elaboraram estudo indicando que a automação pode ser uma boa ferramenta no combate às perdas físicas e na melhoria das condições de trabalho nos sistemas de abastecimento. Analisaram o sistema de abastecimento da cidade de Ponta Grossa, Paraná, com aproximadamente 280 mil habitantes e sob a responsabilidade da SANEPAR. Eles constataram que com a automação, houve a redução da pressão média nas tubulações, aumento da rapidez e qualidade nos reparos dessas tubulações, formação de uma base de informações para a criação de programas para novas instalações e para melhorias no sistema.

Desta forma, mesmo que o sistema não disponha de automação, qualquer planejamento para a gestão operacional deve estar preparado para uma adaptação, caso venha a ser implantada, pois os processos automatizados necessitam de regras bem definidas para atingirem seus objetivos, independente da existência ou não de uma ferramenta computacional que permita a interligação das informações do SSD, também de forma automática.

Atualmente, o SACG, objeto do estudo de caso desse trabalho, está passando pelos serviços de implantação do sistema de automação de suas unidades operacionais.

2.4 Modelagem

Um modelo é a representação de um sistema real. Através dele, espera-se “simplificar” todos os processos de uma determinada realidade, de modo a extrair informações e alterá-la posteriormente. Para Tucci (1998), essa representação de um objeto ou sistema deve ser de fácil acesso e uso. Nos mais diversos campos da engenharia, eles são usados largamente como ferramentas de apoio à decisão. A simulação refere-se ao uso de um modelo para a avaliação de respostas do sistema submetido a eventos sob um grande número de condições e restrições.

Muitos dos modelos matemáticos elaborados têm sido sugeridos para a solução de problemas de abastecimento, tendo como compromisso uma execução em tempo aceitável e que apresente uma acurácia razoável do sistema (JARRIGE, 1993).

Bem assinalando Francato (2002), somente nas últimas décadas, é perceptível a preocupação com a operação de sistemas, especificamente a operação em condições particulares como é o caso de emergências, situações de déficit, panes nos sistemas, racionamento de energia, etc.

Ormsbee e Reddy (1995) relatam que, nos últimos anos, a modelagem de SAA tem dado ênfase para o uso integrado on-line de computadores e tecnologias de controle para impor operações em tempo real. Entretanto, verifica-se que a modelagem dessa operação (em tempo real) ainda é acompanhada de uma modelagem previamente executada.

Assim, os modelos de simulação hidráulica de SAA são ferramentas computacionais que buscam reproduzir o comportamento real do sistema através de equações matemáticas que representam os processos físicos ocorrentes, com maior exatidão possível. Eles fazem uma representação de um sistema para prever os possíveis resultados de sua operação sob um dado conjunto de condições iniciais e de regras operativas.

A modelagem é uma ferramenta que tem evoluído ao longo do tempo para ajudar os projetistas, operadores e gestores na tarefa de oferecer água com mais qualidade, confiabilidade operacional e baixo custo operacional.

De acordo com Taha (1987), o sucesso das simulações em modelagens é devido aos expressivos avanços dos computadores digitais, sendo difícil imaginar o sucesso da simulação sem o uso do computador.

Os modelos de simulação hidráulica são utilizados para uma grande variedade de objetivos. Para Walski (2003), as aplicações são: elaboração de plano diretor a longo prazo, incluindo previsões para desenvolvimento e reabilitação; estudos de combate a incêndio,

investigações de qualidade da água, gestão energética, projeto de sistemas e operação diária, com treinamento de operadores e respostas a emergências e solução de problemas.

Gaio (2006) classifica em dois grupos as principais aplicações: planejamento (incluindo as atividades de elaboração de planos diretores e projetos) e operação propriamente dita dos sistemas. Na condição de planejamento, podemos relacionar as seguintes aplicações:

- Análises para prevenção do colapso dos sistemas;
- Estudos das alterações necessárias no sistema, quando da introdução de um consumo significativo;
- Avaliações do período de vida útil de unidade do sistema existente;
- Divisão do projeto em obras e etapas, otimizando-se a aplicação dos recursos financeiros para investimento;
- Estudo da circulação da água na rede, evitando problemas de qualidade, devido a “pontos mortos” no sistema e à elaboração dos planos diretores da “macro-distribuição” dos sistemas de abastecimento de água.

No ponto de vista da operação, os modelos são aplicados em diversas análises, entre elas:

- Análises hidráulicas como objetivo de identificarem-se problemas de abastecimento;
- Análises hidráulicas como objetivo de identificarem-se problemas de qualidade;
- Estudos de eficiência energética;
- Identificação de perdas;
- Treinamento dos técnicos das unidades e análise hidráulica dos efeitos, na rede de distribuição, da operação de válvulas para a intervenção de rotina.

Para Francato (2002), a modelagem da operação dos sistemas de abastecimento de água visa obter uma política operacional. Esta política, na visão de Ormsbee e Lansey (1994) é um grupo de regras que agendam e indicam quando os conjuntos motor-bomba devem ser ligados; quais as porcentagens de abertura das respectivas válvulas de controle; qual a política de esvaziamento e enchimento dos reservatórios, etc. Desse modo, tais regras são formuladas para um dado horizonte de planejamento, subdividido em intervalos discretos de operação.

Venturini (1997) acrescenta que a tendência de se procurar modelos computacionais para resolver o problema de operação e distribuição é devido à: complexidade dos sistemas devido à crescente demanda, tornando difícil atendê-la com confiabilidade, exigindo assim uma abordagem sistêmica na definição dos planos de operação; altos custos operacionais;

investimento em pesquisa nos últimos anos, especialmente no desenvolvimento de modelos matemáticos de otimização e simulação, colocando à disposição novos recursos de análise e apoio à decisão; risco de falhas no sistema, induzindo os operadores a tomar decisões operacionais sob tensão; e a perda de conhecimento causado principalmente pela perda de operadores experientes.

Nesse sentido, Carrijo (2004) afirma que um modelo, reproduzindo o comportamento do sistema de maneira adequada e possibilitando a definição de estratégias operacionais ótimas, mostra-se de grande valia, à medida que permite a tomada de decisão pautada em soluções mais analisadas.

No que se refere ao tempo, existem duas possibilidades de trabalho no modelo simulador. Na primeira, o tempo é determinado, ou seja, num instante fixo, quando se dispõe de dados necessários em um momento, para simular, geralmente, uma condição limite máxima ou de mínima horária. A segunda trata de um período extensivo, ou seja, quando esse requer a alimentação de dados por uma sucessão de momentos consecutivos.

No uso em sistema de suporte à decisão, o modelo simulador trabalha sob as condições de um período extensivo.

São muitas as vantagens e benefícios da utilização de modelos de simulação. Apresentam-se as seguintes (ROSSMAN, 2000):

- Possibilidade de organização sistemática, edição e verificação de erro dos dados de entrada, exigidos pelo modelo;
- Possibilidade de ajuda e visualização do modo de saída do modelo, como mapas codificados com cores, lote de séries temporais, histogramas, gráficos de contorno e consultas de meta específica;
- Opção de vinculação com outros softwares, banco de dados, sistemas CAD e SIG;
- Capacidade de realizar outros tipos de análises de rede, tais como o dimensionamento ótimo de tubulações, programação ótima de operação de bombas, calibração automática e modelagem da qualidade da água.

Dessa forma, Barbosa et al. (1999) afirmam que além dos objetivos econômicos, que podem ser transferidos como benefícios ao consumidor final na forma de menores tarifas, o estudo da modelagem da operação de sistemas de distribuição justifica-se por:

a) Contribuir para o adiamento das necessidades de ampliação dos componentes da rede e/ou do suprimento energético;

b) Permitir um melhor conhecimento sobre as interações entre os componentes do sistema, o que pode ser de grande valia para identificar pontos frágeis em termos operativos ou para definir manobras especiais em condições de emergência;

c) Contribuir, em longo prazo, para o alcance de uma melhor política de uso de recursos hídricos e energéticos, evitando situações de conflito quando tais recursos se tornarem escassos.

A simulação difere da otimização por não apresentar natureza otimizante, mas sim descritiva.

Todavia, é de se pensar que, com um modelo bem construído, não se exige mão-de-obra qualificada para manuseá-lo. Pelo contrário, ao adotar-se a utilização da simulação, necessita-se cada vez mais de aperfeiçoamento técnico de seus operadores para melhor entender a ferramenta e executar alterações, principalmente, quando houver ampliações no sistema de abastecimento.

Nesse sentido, Vicente (2005) afirma que, embora todos os dados requeridos tenham sido coletados e inseridos no software de simulação hidráulica, não se pode presumir que o modelo matemático é uma representação realística do sistema. O software de simulação simplesmente resolve equações de continuidade e energia, utilizando os dados fornecidos, a qualidade dos dados de entrada determina a qualidade dos resultados.

De acordo com Walski (1983), nos modelos de sistemas de abastecimento de água, há duas partes estruturais a considerar: o software responsável pelos cálculos e os dados que descrevem as características dos componentes físicos do sistema, demandas de consumo e características operacionais.

Para a construção de um modelo de simulação, diversas etapas devem ser cumpridas. Rossman (2000) enumera como básicas as seguintes:

1. Determinação dos questionamentos a serem respondidos pelo modelo. A modelagem só obterá êxito se os objetivos a serem atingidos estiverem bem definidos;
2. Representação dos componentes do sistema de abastecimento nos termos adequados para o modelo computacional funcionar. O modelo só conseguirá reproduzir a realidade se a sua forma de trabalho for plenamente conhecida;
3. Reunião de dados necessários para caracterizar os componentes incluídos no modelo. O modelo só conseguirá reproduzir a realidade se todas as unidades operacionais e seus acessórios forem representados adequadamente. Nem sempre o cadastro técnico da rede é atualizado;

4. Determinação da demanda de água em toda a rede, dentro de cada período de tempo considerado. Quanto melhor a informação da vazão de consumo, melhores serão os resultados da modelagem;
5. Caracterização da forma como o sistema de distribuição é operado ao longo do período de tempo analisado. Faz-se necessário um “certo” conhecimento prévio da operação do sistema. Muitas vezes não há regras bem definidas e a experiência do operador é quem define a forma de operar. Assim, é preciso transferir tal experiência para o modelo;
6. Calibrações do modelo com observações feitas em campo;
7. Execução do modelo para responder às questões identificadas na etapa 1.

As ferramentas computacionais de modelagem tornam-se indispensáveis no dia a dia da empresa de saneamento, pois auxiliam a gestão dos processos de tomada de decisão através do fornecimento de informações para os níveis institucional e operacional. Entretanto, é muito importante que esses modelos sejam aplicados criteriosamente para que representem uma aproximação adequada do comportamento real do sistema (CHEUNG e REIS, 2007).

Porém, a complexidade pode representar quanto esforço é necessário para construir um modelo específico (O'NEIL e EDWARDS, 1994). Quanto mais complexo o modelo, maior o tempo e maiores os custos requeridos para a sua construção (SIQUEIRA, 2003). É importante ressaltar que os resultados obtidos por um modelo mais complexo não serão necessariamente mais próximos da realidade do que as respostas calculadas por outro modelo mais simples.

2.4.1 Estado da arte em modelagem de SAA

Nos últimos anos, há uma grande variedade de estudos técnicos cujos objetivos são o desenvolvimento de ferramentas de apoio à gestão operacional de SAA. Para isso, a modelagem hidráulica assume importante papel. Todavia, ainda percebe-se que a maioria das pesquisas ainda não foi implementada, principalmente nos sistemas das cidades de pequeno porte. Além disso, a maioria dos modelos desenvolvidos foi aplicada a casos específicos (COSTA et al., 2010).

Há uma tendência nos trabalhos de modo geral, de utilizar-se um modelo simulador em conjunto com um modelo otimizador, objetivando a eficiência hidráulica e, na maioria das vezes, a eficiência energética (redução dos custos).

Vicente (2005) propôs um modelo de operação para centros de abastecimento de água sustentado por um sistema de suporte à decisão para operar a distribuição em tempo real atendendo a condições / restrições hidráulicas com o mínimo custo de energia elétrica. Tal modelo cria uma interface entre as ferramentas de simulação hidráulica (WATERCAD), de otimização (proposto com programação linear), de previsão de demanda (baseado em série de Fourier) e um sistema SCADA (com o supervisor SCOA). A interface foi testada e avaliada a partir de um estudo de caso, aplicado no Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, sob a responsabilidade da SABESP. Os resultados apresentados na pesquisa atestam a eficiência da metodologia.

Machell et al. (2010) desenvolveram um estudo com modelagem on-line de sistemas de abastecimento de água, utilizando o software Aquis 147. O local de estudo inclui uma área de uma cidade de 160.000 pessoas no Reino Unido. Os dados de vazão e pressão coletados (através de tecnologias de comunicação GPRS) são enviados com um intervalo de amostragem de 15 minutos a cada 30 minutos através de um sistema SCADA. O modelo on-line leva apenas um minuto ou dois para executar um ciclo de tempo real em um PC comum. Um sistema de gerenciamento de dados verifica o status de dados e faz o pré-processamento antes do uso no modelo. Para demonstrar-se a capacidade do modelo, simulou-se um evento imprevisto (um hidrante foi aberto) e este foi confirmado por um sistema de alerta de inteligência artificial. De acordo com os autores, o modelo permite a identificação de problemas na rede, de modo a poder solucioná-los em tempo hábil e melhor informar os usuários. Nos modelos on-line, exige-se uma alimentação contínua da vazão e dados de pressão da rede real que está sendo simulada. Além disso, há grandes investimentos em tecnologias adequadas.

Devido à preocupação atual com a qualidade da água (inclusive com a atualização das normas e legislações sanitárias) e sabendo-se que ela é afetada por diversos fatores na operação dos sistemas (estado das tubulações, níveis dos reservatórios, manutenção, perda de água, etc.), Sakarya e Mays (2000) incorporaram as funções de qualidade da água presentes no *Toolkit* do EPANET 2 ao método de otimização do gradiente reduzido generalizado, GRG2, para encontrar uma combinação horária de uma bomba instalada numa rede hipotética que viesse minimizar três diferentes funções objetivo: 1) desvio dos valores de concentração das substâncias químicas presentes na água em relação a valores tolerados de concentração; 2) tempo de funcionamento das bombas; 3) custo total de energia elétrica. As restrições do problema foram tratadas pelo Método Langrangiano. A eficiência e a tarifa de energia foram

consideradas constantes no modelo. Com essa metodologia, não só as restrições hidráulicas são levadas em consideração, mas também as restrições de qualidade da água reguladas pelos órgãos governamentais.

Montenegro (2009) elaborou estudo com o objetivo de apresentar alternativas de controle operacional na estação de bombeamento de abastecimento de água do bairro de Mangabeira em João Pessoa (gestão da CAGEPA), proporcionando uma maior eficiência energética e hidráulica e a redução dos custos com energia elétrica. Primeiramente, foi realizado um diagnóstico da configuração atual do sistema, em que se analisou o atendimento da demanda, o levantamento das instalações e as condições de operação. A modelagem da situação atual e das alternativas propostas foram realizadas com o software EPANET 2, de maneira a comparar as diversas configurações. Os resultados alcançados mostram que é possível utilizar apenas uma estação elevatória para a demanda existente, com eficiência energética, necessitando apenas o acionamento de mais uma bomba em paralelo no horário de pico de consumo.

Pedrosa Filho (2006) desenvolveu um modelo computacional de apoio à tomada de decisão com vistas à definição da melhor estratégia diária dos estados das bombas e válvulas de um sistema adutor, de forma que resulte na minimização dos gastos com energia elétrica (consumo e demanda) e que seja operacionalmente viável. A metodologia empregada na busca do ótimo operacional ao longo de 24 horas, fundamenta-se na técnica estocástica dos Algoritmos Genéticos Simples, acoplados ao simulador hidráulico EPANET 2. A aplicabilidade da metodologia proposta foi avaliada por meio de simulações realizadas no sistema adutor Marés, responsável pelo abastecimento de grande parte da cidade de João Pessoa – Paraíba, considerando diferentes estruturas tarifárias de energia elétrica. O trabalho apresenta resultados que comprovam a eficácia do modelo proposto em encontrar estratégias de operação viáveis de serem aplicadas a um sistema adutor real com múltiplas estações de bombeamento e reservatórios, mesmo sem atender à totalidade das restrições físicas e operacionais inerentes ao sistema.

Barbosa (2001) determinou estratégias simples para operação de bombas em sistemas de abastecimento de água, buscando minimizar os custos com o bombeamento, assim como oferecer diretrizes para o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão na operação de bombas. Foi analisado o comportamento em parte do sistema de abastecimento de Campina Grande, cujo modelo computacional foi elaborado no software WADISO. Estratégias de operação foram definidas na forma de níveis de reservatórios de distribuição que determinam

os momentos de ligar e desligar cada bomba, durante um período de 24 horas. Os resultados obtidos comprovaram que é possível reduzir os custos com o bombeamento de água através de estratégias simples de operação, atendendo às restrições de vazões e pressões mínimas e máximas, além das restrições operacionais das bombas.

Costa et al. (2010) elaboraram trabalho apresentando um algoritmo genético híbrido (AGH) que permite determinar as estratégias de operação para estações elevatórias com o objetivo de reduzir os custos energéticos. Para isso, propôs-se a junção entre o Algoritmo Genético Simples (AGS), o EPANET (para a simulação da operação) e o AGH. O AGH (algoritmos reparadores + operadores genéticos) teve como objetivo atuar diretamente sobre as soluções infactíveis geradas pelo AGS na tentativa de torná-las factíveis. A avaliação do modelo teve, como estudo de caso, o sistema da cidade de Ourém (Portugal). Os resultados indicam que o modelo AGH-EPANET convergiu cinco vezes mais rapidamente quando comparado ao AGS-EPANET.

Hernandez et al. (1999) demonstraram a preocupação de considerar as perdas do sistema na formulação de um modelo de simulação hidráulica. Utilizando o simulador hidráulico EPANET, os autores desenvolveram um modelo denominado HIPERWATER que buscava atingir dois objetivos: minimização de perdas e melhoria no tempo de simulação. O modelo foi implementado através de computação de alta performance (através de computação paralela) e de um modelo de perdas com um módulo paralelo de otimização visando a redução de perdas através do controle de pressão no sistema. O modelo de minimização de perdas não representou grandes contribuições em termos de eficácia hidráulica, porém ficou demonstrado que, para este tipo de implementação, a computação paralela representava uma eficiente ferramenta em termos de tempo de processamento.

Com o objetivo de apresentar uma metodologia para a operação ótima de sistemas de abastecimento, Righetto (2002) elaborou modelo computacional composto de modelos hidráulico e de otimização.

Almejando a melhoria da operação de um sistema de abastecimento de água, perante o alto grau de complexidade imposto pelas restrições envolvidas e os objetivos conflitantes, Lacerda et al. (2008) organizaram um conjunto de regras operacionais simples, baseado no conhecimento funcional do sistema, para dar suporte à operação do Sistema Adutor de Marés, responsável pelo abastecimento de água de grande parte da região central da cidade brasileira de João Pessoa – PB. O conjunto de regras foi desenvolvido de forma a sugerir estratégias de operação sub-otimizadas as quais foram simuladas no EPANET 2. Os resultados obtidos

mostram que o conjunto de regras é capaz de sugerir alternativas de operação eficientes para o sistema e pode ser usado tanto como ferramenta de apoio à gestão da operação atual quanto para análise de um possível aumento futuro da demanda.

Lacerda (2009) elaborou metodologia genérica para construção de regras de operação multiobjetivo de sistemas de abastecimento de água. Como objetivos da operação foram definidos: atender à demanda de abastecimento, reduzir o custo operacional energético, reduzir o número de acionamentos/desligamentos das bombas e válvulas, reduzir as perdas de água e recuperar as condições iniciais do sistema ao final de um ciclo de operação. As regras construídas sugeriram rotinas operacionais estabelecidas de acordo com as características topológicas dos sistemas, seus limites físicos e hidráulicos, a demanda de abastecimento e os objetivos de operação envolvidos. A metodologia foi aplicada ao Sistema integrado Adutor do Cariri, operacionalizado pela CAGEPA, no Estado da Paraíba, e os resultados obtidos mostram que as regras construídas fornecem alternativas de operação consistentes e eficientes e pode ser usada como uma ferramenta de apoio à gestão operacional desse tipo de sistema.

Albuquerque (2007) desenvolveu trabalho onde foram realizados diferentes testes da aplicação de métodos de otimização ao problema de acionamento (horário ótimo) dos conjuntos motobombas do sistema principal de abastecimento de água da cidade de Campina Grande, PB. Numa primeira análise de desempenho, fez-se uso de programações linear (PL) e não linear (PNL) e algoritmos genéticos (AG), em que foi considerado que as variáveis de decisão pudessem assumir valores fracionários. Além de grandes diferenças no tempo computacional requerido, verificaram-se que mudanças nos valores iniciais atribuídos as variáveis de decisão geraram diferentes soluções. Numa segunda análise, voltada à apreciação de métodos que gerassem variáveis de decisão inteiras e binárias, utilizou-se da combinação de técnicas de PL e programação linear inteira e o seu desempenho foi comparado com uma regra de simulação padrão. Nesta análise observou-se uma economia financeira de 20,27% e de consumo energético de 16,86% da aplicação do método de otimização comparado com o método de simulação padrão

Com o objetivo de encontrar estados ótimos de operação de bombas e analisar os estados hidráulicos e de qualidade em rede de distribuição de água, Tomovic et al. (2010) elaboraram sistema de apoio à decisão para o funcionamento do sistema da cidade de Budva, Montenegro. Para isso, a rede de distribuição do sub-sistema de Podgor-Przno foi modelada através do EPANET e a otimização realizada através do modelo OPREZ e algoritmos genéticos. Os autores criaram metodologia para regime de operação de bombas e

reservatórios, principalmente no período do verão (estação turística), quando a demanda aumenta consideravelmente.

Farmani et al. (2007) apresentaram a experiência de desenvolver um SSD para o plano mestre do sudoeste de Moravia - República Tcheca. O sistema englobou a modelagem hidráulica, a qualidade da água e a programação ótima de bombas e válvulas. Um programa de modelagem on-line foi desenvolvido e instalado no centro de controle operacional, sendo calibrado para simulações estáticas e de períodos estendidos. O objetivo principal do modelo on-line proposto é a diminuição do custo operacional através da otimização da operação dos conjuntos motor-bomba.

Ingeduld (2007) desenvolveu estudo de modelagem on-line, com a utilização do EPANET e de um sistema SCADA, objetivando obter um sistema de resposta de emergência, confirmação de desempenho, resolução de problemas, melhoria da operação e criação de cenários. O estudo de caso foi realizado para a região sudoeste da Morávia, República Tcheca. Os principais objetivos da modelagem foram: 1) avaliação do estado operacional do SAA no presente (ano 2002) e elaboração de cenários futuros (ano 2015); 2) avaliação do SAA, no aspecto qualidade; 3) otimização de melhorias dos mananciais e operação de estações elevatórias; 4) avaliação de programa de reabilitação; 5) distribuição principal durante condições excepcionais. De acordo com o autor, a abordagem adotada permite ao operador visualizar a operação de todo o sistema, em vez de confiar apenas no feedback de alguns sensores SCADA instalados na rede, permitindo assim, a identificação de falhas na rede, de modo a ser facilmente avaliada e corrigida.

De acordo com estudo de Francato (2002), os sistemas de abastecimento têm sido na prática, operados sob múltiplos objetivos e que, no entanto, tal aspecto não tem sido devidamente considerado nos modelos computacionais até então desenvolvidos. Assim, o trabalho objetivou realizar as seguintes contribuições: uma melhor compreensão sobre os objetivos operacionais considerados relevantes sob a ótica dos gestores de sistemas urbanos de abastecimento de água; a representação matemática de significado prático e com possibilidade de tratamento computacional e a caracterização do grau de compromisso entre as funções objetivo estudadas, feita através de modelo matemático computacional. Para isso, foi utilizado o software de programação linear GAMS/CONOP com recursos iterativos e a abordagem multiobjetivo do problema se fez com a aplicação do Método dos Pesos. Para a aplicação do modelo foi utilizado o setor alça leste do sistema adutor metropolitano da grande São Paulo. Os resultados foram expressos em termos de curvas de soluções não-dominadas

para as funções objetivo aplicadas ao sistema objeto de estudo e atestaram o bom desempenho da metodologia em relação aos objetivos estabelecidos.

Objetivando o desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão para o gerenciamento das regras operacionais de sistemas adutores, de forma que a ferramenta computacional resultante apresentasse aos operadores dos centros de controle a melhor programação referente ao estado de válvulas (aberta, fechada ou parcialmente aberta) e de bombas (ligada/desligada), Pedrosa Filho et al. (2007) propuseram uma metodologia que compreendeu no desenvolvimento de uma ferramenta computacional, cuja interface constava de duas estruturas de trabalho: um modelo de simulação hidráulica, o EPANET 2, e um modelo de otimização, baseado em Algoritmos Genéticos que busca a solução mais eficiente, em termos de minimização da função objetivo, representada pelo custo da energia de bombeamento. A metodologia foi aplicada ao sistema adutor de Marés, que abastece parte de João Pessoa, no Brasil. A aplicação de regras de operação otimizadas gerou uma economia média de 21,73% nos custos com energia elétrica.

Borges et al. (2003) desenvolveram estudos que propunham integração entre modelos simuladores hidráulicos e de previsão de demanda de água para a operação do sistema adutor metropolitano de São Paulo, para operação de curto prazo (em tempo real) ou para eventos especiais em condições atípicas (prazos maiores). Assim, criou-se um sistema de suporte à decisão, visando a obtenção de melhorias na segurança da operação do sistema de abastecimento em tempo real e na melhoria da performance operacional: com ganho nos gastos com energia elétrica, no aumento da vida útil das instalações, com a redução do número de manobras, na melhoria do tratamento de água, com menores oscilações de retirada de água tratada e no estabelecimento de um padrão de qualidade no atendimento à distribuição de água. De acordo com os autores, com a implantação do sistema de decisão, a operação ganha um padrão de qualidade, uniformizando a operação realizada entre os diferentes controladores ou operadores do sistema.

Ingeduld et al. (2006) propuseram um modelo para sistemas de distribuição de água rurais e/ou com intermitência no abastecimento. Como esses sistemas não são bem representados no EPANET, uma vez que há pressões muito baixas e esvaziamentos dos tubos, foi sugerido um EPANET modificado, ajustado para a situação. Assim, o modelo foi desenvolvido para estudar áreas com baixa pressão e pequeno fluxo na rede de distribuição. O mesmo foi testado nos sistemas de distribuição de Shillong na Índia e de Dhaka em Bangladesh.

Novas tecnologias de monitoramento podem integrar-se com modelos hidráulicos para o atendimento de determinado objetivo operacional. Whittle et al. (2010) apresentaram os resultados da implantação da primeira etapa do projeto Waterwise @ SG (Water Wireless Sentinel at Singapore), uma rede de sensores sem fio para permitir o monitoramento em tempo real de uma rede de distribuição de água na Cingapura. São três os objetivos principais do projeto: a aplicação de uma rede de sensores para monitoramento on-line de parâmetros hidráulicos em um sistema de distribuição urbana de água de grande porte; o desenvolvimento de sistemas para permitir a detecção remota de vazamentos e predição de eventos de ruptura da tubulação; e o monitoramento integrado de parâmetros hidráulicos e de qualidade da água. Os dados são integrados no sub-sistema on-line de modelagem hidráulica (com a utilização do EPANET), que é responsável pela estimativa e previsão do estado hidráulico do sistema de distribuição de água. Para a otimização, utilizou-se algoritmo genético. De acordo com os autores, os primeiros resultados são promissores. Para as etapas posteriores, prevê-se a instalação de mais sensores (os sensores são alimentados por energia solar e transmitem os dados via internet 3g). A limitação do número de pontos monitorados reduz a eficiência do sistema. Objetiva-se ainda melhorar o desempenho dos sensores de qualidade, implantar um sistema de software para a gestão dos fluxos de dados e implementar e avaliar algoritmos locais para a detecção de vazamento e localização nos sensores. Assim, o sistema de suporte agregará todas as informações e respostas dos modelos numa interface que permitirá ao operador decidir pelas melhores informações.

Zimoch (2009) elaborou estudo para a cidade de Wroclaw, Polônia. O modelo utilizado foi desenvolvido no EPANET 2. Os principais parâmetros utilizados foram o horizonte do tempo de simulação e as etapas de teste de vazão. De acordo com a autora, o modelo de calibração hidráulica de abastecimento de água do sistema de Wroclaw é uma ferramenta analítica útil a auxiliar na gestão de operação e desenvolvimento da distribuição do sistema, bem como na produção de água. A análise por computador de abastecimento de água operação do sistema dá a possibilidade de tomar as medidas mais eficazes que minimizem resultados inesperados e acontecimentos aleatórios que aparecem durante a sua funcionalidade. Além disso, que sejam úteis na tomada de decisão sobre a modernização e o desenvolvimento conjunto deste sistema.

Ribeiro e Luvizotto Júnior (2006) no objetivo de encontrar regras operacionais otimizadas para SAA, que se beneficiam da utilização de bombas de rotação variável, desenvolveram um modelo computacional para simulações em período extensivo capaz de

estabelecer velocidades ótimas de rotação da bomba, satisfazendo a metas pré-estabelecidas. O modelo computacional, híbrido, usou um modelo de otimização como gerador e controlador das variáveis de decisão, baseado nos algoritmos genéticos, em conjunto com um modelo hidráulico de simulação de operação de redes hidráulica a condutos forçados. No exemplo de aplicação apresentado, procurou-se a redução de consumo de energia elétrica, garantindo as pressões mínimas de serviço, comprovando a eficiência e eficácia da ferramenta proposta.

Ribeiro (2007), objetivando elaborar estudos que viessem a contribuir com a temática de redução dos gastos com energia elétrica nas companhias de saneamento, desenvolveu pesquisa que criou um modelo híbrido multiobjetivo, com finalidade de obter a redução do consumo de energia elétrica nas estações de bombeamento que utilizam inversores de frequência. O modelo é desenvolvido de forma a garantir condições operacionais estabelecidas a priori para o atendimento das necessidades de consumo, tais como flutuação dos níveis dos reservatórios, pressões extremas e outros, buscando trazer benefícios hidráulicos. Para isso, empregou-se o modelo de simulação hidráulica baseada no Time Marching Approach – TMA em conjunto a técnica de otimização multiobjetivo, baseada nos Algoritmos Genéticos – AG, através do NSGA II, configurando um Modelo Híbrido Multiobjetivo.

Gumier (2005) apresentou trabalho em que utilizava um modelo hidráulico, advindo do acoplamento de um simulador hidráulico, também baseado no TMA com o algoritmo otimizador de Nelder-Mead. O objetivo principal foi a proposição do modelo matemático-computacional como uma nova ferramenta de localização de fugas. O modelo foi aplicado em uma rede de distribuição de água real, utilizando os recursos disponibilizados pela companhia de água, propondo-se um método de aplicação do modelo para tais condições.

Carrijo e Reis (2006) apresentaram trabalho propondo o desenvolvimento de um modelo computacional direcionado ao controle operacional ótimo de sistemas de macro distribuição de água potável, utilizando o simulador hidráulico EPANET 2, os algoritmos genéticos multiobjetivo como ferramenta para a otimização e o aprendizado de máquina para extração de regras operacionais para o sistema. Como estudo de caso foi utilizada uma parte do macro sistema distribuidor de água da cidade de Goiânia. De acordo com os autores, os resultados demonstraram que podem ser produzidas estratégias operacionais satisfatórias para o sistema em substituição ao julgamento pessoal do operador.

2.5 Previsão de demanda

Um dos fatores de fundamental importância para o planejamento e gerenciamento de um sistema de abastecimento é a previsão do consumo de água. Assim, todas as regras operacionais e as modificações no sistema (ampliação e/ou melhorias) estão totalmente dependentes da demanda de água (TSUTYA, 2006). Nesse sentido, Falkenberg (2005) acrescenta que o conhecimento prévio do consumo de água, ao longo do dia, permite planejar a operação do respectivo sistema de abastecimento, possibilitando otimizar os custos de produção e distribuição de água, mantendo-se a qualidade exigida para o consumo.

Os modelos de simulação são alimentados por uma demanda de consumo de água existente ou por uma demanda prevista. A eficiência do modelo hidráulico que dará sustentação ao sistema de suporte à decisão está diretamente ligada à identificação da demanda.

A demanda de água tratada pode ser entendida pela soma do volume de água consumido pelos clientes abastecidos, o volume de perdas, o volume previsto para apagar incêndios, volumes operacionais (lavagem de reservatórios, drenagem de adutoras, usos públicos) (VICENTE, 2005).

O consumo de água por parte de uma população varia de região para região, de cidade para cidade e dentro de uma mesma cidade pode variar muito de um setor de distribuição para outro, pois depende das condições climáticas, dos hábitos da população, do padrão de vida, da qualidade da água fornecida, do custo da água, da pressão na rede de distribuição, do uso da água (comercial, industrial, público e doméstico), da hora e dia da semana, das perdas nos sistemas, da existência ou não de micromedição, entre outros fatores (OSHIMA & KOSUDA, 1998; PROTOPAPAS et al., 2000; ZHOU et al., 2000).

A previsão de demanda pode ser realizada para um horizonte longo ou de curto prazo.

Na maior parte dos sistemas de abastecimento não se conhece a demanda real. Não é fácil também a tarefa de estimá-la, devido principalmente a sua grande variabilidade e incertezas na sua determinação, além da inexistência de políticas e estruturas adequadas de macro e micromedição por parte das concessionárias.

Diante disso, de acordo com Vicente (2005), objetiva-se utilizar um modelo de previsão de consumo de água com o intuito de reduzir-se incertezas, servindo de base para a programação operacional e tomada de decisões. Assim, o modelo de previsão seria uma ferramenta auxiliar na definição de uma regra de operação.

Odan (2010) enumerou as vantagens que podem ser obtidas com o auxílio de um modelo de previsão de demanda: identificação de possível perda física de água no sistema; ganho na qualidade de água, através de estoques adequados; planejamento da operação de estações elevatórias bruta e tratada, segundo contratos de energia; planejamento da operação diária da estação de tratamento de água; estimativa das variáveis de ajuste e vazão ótimas ao longo do dia, bem como níveis mínimos e máximos dos reservatórios e logística de produtos da ETA.

Os bons resultados de um plano operacional dependem de uma previsão de demanda diária a mais próxima possível da realidade. Em sistemas não automatizados e com uma macromedição deficiente, tal necessidade torna-se de difícil compreensão. A maior parte dos sistemas brasileiros não dispõe também de modelos computacionais de previsão.

2.6 Eficiência energética em SAA

De acordo com o relatório da Alliance, entre 2% e 3% do consumo de energia do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para os diversos usos da água (JAMES et al., 2002). Porém, este consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos 25%, caso existisse a implantação de ações que promovessem o aumento da eficiência. Por outro lado, conforme Gomes (2009), as perdas de energia elétrica das companhias de saneamento ocorrem majoritariamente nas estações elevatórias e originam-se, principalmente, por causa da baixa eficiência dos equipamentos eletromecânicos, por procedimentos operacionais inadequados e por falha na concepção dos projetos. Nesse sentido, Gomes (2005) assegura que as principais medidas operacionais que visam à diminuição do custo energético dos sistemas de abastecimento englobam a alteração do sistema de bombeamento-reservação, dos procedimentos operacionais das ETA's e a utilização de conversores de frequência.

Estima-se que, no Brasil, os gastos com energia elétrica, nas empresas de saneamento, constituem o segundo item no orçamento das despesas de exploração, sendo que, nos sistemas de distribuição de água, a energia consumida pelas elevatórias representa de 90 a 95% do consumo total de energia elétrica do sistema. De acordo com Gomes et al. (2010) estes custos, em muitos casos, ultrapassam, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de investimento das instalações.

A Figura 2.3 apresenta a discriminação de gastos da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) com energia elétrica para o mês de outubro de 2010. Tais percentuais referem-se a todos os SAA e sistemas de esgotamento sanitário de responsabilidade da concessionária no estado da Paraíba.

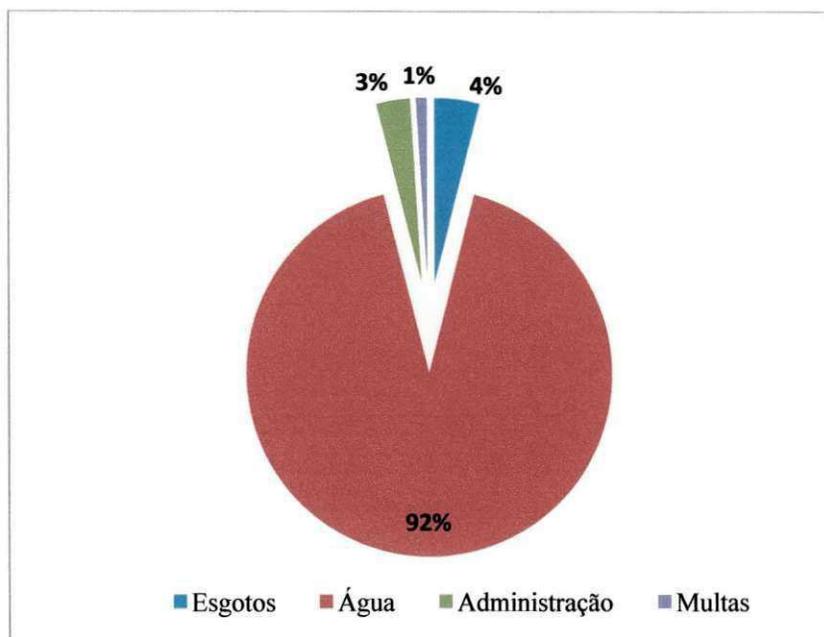


Figura 2.3 – Distribuição percentual dos gastos com energia elétrica na CAGEPA (TEIXEIRA, 2010).

De acordo com Teixeira (2010), para o mês citado, constatou-se que os custos com energia elétrica e pagos pela concessionária foram de R\$ 5.269.840,61 e que aproximadamente 92% desse valor, foram devidos a gastos com as estações elevatórias de água, sendo o restante atribuído às elevatórias de esgotos, atividades administrativas e multas por ultrapassagem de demandas contratadas.

3 O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE (SACG)

3.1 Estrutura de gestão da CAGEPA

Na sua estrutura organizacional, a CAGEPA, sociedade de economia mista estadual, é composta da presidência e de 4 diretorias, de acordo com a área de atuação: Administrativa e Financeira (DAF), Comercial (DCM), Expansão (DEX) e Operação e Manutenção (DOM). Cada diretoria dispõe de órgãos de apoio técnico denominados de gerências, que, por sua vez, são subdivididos em subgerências. A DOM é constituída das gerências de Gestão e Energia, Controle da Qualidade, Manutenção, Controle Operacional e Regionais (CAGEPA, 2009).

A Gerência Regional da Borborema (GRBO) tem sede em Campina Grande e é responsável pela operação do SACG e dos sistemas de mais 72 localidades, com destaque para aqueles integrados e denominados de Cariri (10 localidades), do Congo (11 localidades) e de Acauã (4 localidades). Dentro da GRBO, o órgão que gere os processos operacionais é a Subgerência de Controle Operacional. O controle direto da operação é realizado pelos Centros de Controle Operacional (CCO), sendo um para o SACG e outro para os demais sistemas (CAGEPA, 2010).

3.2 Descrição do sistema

3.2.1 Breve histórico

A cidade de Campina Grande está localizada a 120 km da capital do Estado da Paraíba, João Pessoa. É o principal aglomerado urbano da área denominada de agreste paraibano na região oriental do Planalto da Borborema e localizado a 7° 13' 11" de latitude Sul e a 35° 52' 31" de latitude Oeste. A área territorial é de aproximadamente 621 km². A zona urbana possui, em valores aproximados, 96 km².

Atualmente, o SAA que atende à Campina Grande, abastece também outros nove municípios, destes, três (Queimadas, Barra de Santana e Caturité) são atendidos a partir da estação de tratamento com adutoras próprias e seis (Alagoa Nova, Lagoa Seca, São Sebastião

de Lagoa de Roça, Matinhas e Pocinhos) a partir da rede de distribuição de Campina Grande. Todo o sistema integrado é operado pela CAGEPA.

Ao longo dos anos, o crescimento da cidade exigiu a adoção e a adaptação de novas concepções no SACG, de modo a atender a necessidade da população e acompanhar o seu desenvolvimento.

Em 1907, houve a implantação da estrada de ferro, com isso, a cidade passou a desenvolver-se num ritmo mais acelerado. Naquele ano, estima-se que a zona urbana dispunha de 731 casas, cujo abastecimento de água era a partir de cisternas (para acúmulo de água pluvial) e do açude Novo ou pela fonte do Louzeiro (nesta época, as águas do açude Velho já se apresentavam poluídas). Já em 1916, com aproximadamente 1.483 casas, a cidade exigia um sistema de abastecimento. Em 1917, inaugurou-se o açude Bodocongó, construído sob a supervisão do engenheiro Arrojado Lisboa, mas não utilizado para consumo humano, pela péssima qualidade da água do manancial e a inexistência de sistemas de tratamento (CAGEPA, 2008).

No ano de 1927, foi inaugurado o primeiro sistema de abastecimento de Campina Grande. Os mananciais eram os açudes Puxinanã e Grotá Funda (com capacidades de acúmulo iguais, respectivamente a 140 mil e 350 mil metros cúbicos), situados no atual território do município de Puxinanã. O comprimento da adutora era de 15.510 m e transportava por gravidade (desnível geométrico de 68 m) a água bruta até o reservatório (localizado no bairro do Monte Santo e com capacidade de armazenamento igual a 500 m³). O projeto do sistema previa o atendimento a 10.000 habitantes (com um consumo per capita de 67 litros/habitante/dia) através da distribuição realizada com chafarizes, construídos ao lado do reservatório. Portanto, a água era bruta e não havia rede de distribuição (CAGEPA, 2008).

A cidade avançava no seu crescimento e o sistema em funcionamento já não proporcionava garantias de atendimento da demanda. Assim, era necessário um novo sistema. De acordo com a Construtora Pan-América (1959), o então Governador do Estado da Paraíba, Argemiro de Figueiredo, autorizou a construção do açude Vaca Brava (com capacidade para 3.500.000 m³ e localizado no município de Areia). A obra foi concluída em 1938, tendo sido criada também pelo estado a repartição de saneamento de Campina Grande para a operação do sistema. A água captada era aduzida até a cidade de Campina Grande, cuja elevação era da ordem de 120 metros, num percurso de 30 km, com uma tubulação de DN 350. A estação de tratamento era localizada no bairro do Alto Branco. O processo de tratamento era o convencional, composto por dosagem e mistura de produtos químicos (sulfato), floculação

hidráulica, decantação, filtração e desinfecção com cloro. Havia três reservatórios: o R-01 (localizado na própria área da ETA, com capacidade para 3.080 m³), o R-02 (construído no centro da cidade e com capacidade para 2.290 m³) e o R-03, situado no bairro do Monte Santo e com capacidade de 500 m³. A rede de distribuição era composta por tubos em ferro fundido, com diâmetros variando entre DN 50 e 400 e um comprimento estimado de 35 km (CAGEPA, 2008).

No final da década de 1950, outras cidades passaram a ser atendidas também a partir do açude Vaca Brava, Campina Grande apresentava grande avanço econômico e populacional. Assim, em 1958 foi implantado o sistema Boqueirão. Foi construída uma barragem reguladora no rio Paraíba, com capacidade para acumulação de 537 milhões de metros cúbicos e a captação ocorria a jusante, na localidade denominada de Vereda Grande, através de uma estação elevatória. A adução ocorria através de uma adutora de DN 500, com 17,2 km de extensão e cuja água tinha como destino a estação de tratamento, implantada na localidade denominada de Gravatá, no município de Queimadas. Após tratada, a água era recalçada por uma adutora de ferro fundido (DN 500 e comprimento de 20.120 m) até o reservatório R-05, no bairro da Prata. Para o gerenciamento do novo sistema, foi fundada a sociedade de economia mista, denominada de Saneamento de Campina Grande- SANESA, com controle acionário do estado. O escritório Hildalius Cantanhede foi contratado para elaborar o projeto de ampliação da rede de distribuição. Uma nova rede (com diâmetros entre DN 50 e 500) foi construída para o atendimento de uma demanda estimada em 44 mil metros cúbicos por dia (CAGEPA, 2008).

No decorrer da década de 1960, face ao acelerado crescimento da cidade, a SANESA novamente precisou ampliar o sistema, desta vez a PLANIDRO, consultoria do estado de São Paulo foi a responsável pelos estudos técnicos.

Na década de 1970, o sistema de Campina Grande passou a ser gerenciado pela CAGEPA. Em 1972, a captação passou a ser realizada através do túnel de descarga da barragem do açude Epitácio Pessoa e com uma tubulação de DN 900, em aço. Foi construída uma estação elevatória de água bruta, com potência instalada de 2.400 CV, vazão de 780 l/s e altura manométrica igual a 120 m. A adutora foi executada em aço e DN 900 e uma extensão de 21.600 m, substituindo, portanto, a antiga adutora de Vereda Grande. A ETA de Gravatá foi ampliada, com duplicação das unidades de filtração e decantação, implantação da floculação mecânica e substituição das tubulações dos filtros. Houve também ampliação da estação elevatória de água tratada. A potência instalada aumentou para 4.800 CV, com

capacidade de recalque igual a 760 l/s e altura manométrica igual a 180 m. A segunda adutora de água tratada foi implantada, em aço e DN 700, com 20.120 m de extensão e abastecendo o R-05 (e atualmente parte da vazão abastece o R-09). A capacidade de reservação passou a ser de 24.270 m³, com a construção dos reservatórios R-04, no bairro da Palmeira e R-06, no Distrito Industrial (CAGEPA, 2008).

Em 1978, a CAGEPA firmou contrato com a ACQUA-PLAN, cujo objeto foi a elaboração do sistema de distribuição do sistema de Campina Grande, com a realização do diagnóstico do sistema à época e apresentação de novas soluções. Nas próximas páginas deste trabalho, sempre que se julgar necessário, recorrer-se-á a informações deste projeto (CAGEPA, 2008).

Em 1984, foi implantado o projeto de ampliação elaborado pela ACQUA-PLAN. Diversas unidades operacionais foram implantadas, entre as quais se podem citar: os reservatórios R-09, R-10, R-11, R-13, R-14 e R-15; duas estações elevatórias de água tratada denominadas de EE-3 e EE-4; 9.350 m de adutora interligando a EE-3 aos reservatórios R-10, R-13 e R-13 à EE-4; 89.500 m de rede de distribuição, em PVC, nos diâmetros de DN 50 a DN 200 e em ferro dúctil nos diâmetros, variando de 300 a 1.000 m e ainda a execução de 10.000 ligações domiciliares, nos diâmetros de 20 a 32 mm (CAGEPA, 2008).

Em consonância com o crescimento da cidade, a partir de 1993, iniciou-se a execução de mais uma ampliação do sistema, ainda substanciando-se no projeto da ACQUA-PLAN. Foram ampliadas as unidades de produção que compreendem a captação, as estações elevatórias de água bruta e tratada, as adutoras de água bruta e tratada, a estação de tratamento e o reservatório R-09. A maior parte dessas unidades encontra-se em funcionamento e serão descritas detalhadamente nos itens a seguir. Esta foi a última grande ampliação prevista e realizada conjuntamente no sistema de Campina Grande. Porém, diversas alterações ocorreram principalmente, no aspecto da rede de distribuição e novas cidades atendidas a partir da existente, formando um grande sistema integrado.

Na década de 1990, outros municípios passaram a se abastecer a partir da ETA-Gravatá: Queimadas, Caturité e Barra de Santana. Todas com elevatórias e adutoras próprias.

A maior parte da área territorial da zona rural do distrito de São José da Mata foi beneficiada por rede de distribuição a partir do ano de 2003. Não havia previsão em projeto. Outras áreas rurais também passaram a ser atendidas, a exemplo dos distritos de Jenipapo e Catolé de Boa Vista.

No ano de 2004, houve o rompimento da Barragem de Barra de Camará, manancial responsável pelo abastecimento de diversas cidades da região, denominada de Brejo. Diante disso, no ano de 2007, as cidades de Alagoa Nova, Lagoa Seca, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça passaram a ser abastecidas a partir de sistema oriundo da rede de distribuição de Campina Grande. Em 2010, os distritos de Floriano e Chã dos Marinheiros foram inseridos ao sistema. Essa área também não estava prevista para atendimento.

No ano de 2008, iniciou-se a construção da quarta adutora de água tratada, com DN 600 e executada em tubos de ferro fundido dúctil. Ainda encontra-se em execução. No ano de 2009, iniciaram-se os serviços de automação das estações elevatórias e reservatórios do SACG, com previsão de funcionamento a partir de 2011.

Na última década, o crescimento da cidade e conseqüentemente da demanda por água, são refletidos nos altos índices da construção civil, principalmente na implantação de condomínios verticais e mais recentemente, os horizontais (por exemplo, o Residence Prive, o Atmosphaera e o Alphaville).

3.2.2 Unidades operacionais

As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam croqui esquemático com as unidades componentes do SACG.

3.2.2.1 O manancial

O manancial que abastece o SACG é o açude Epitácio Pessoa, conhecido como Boqueirão. Tem capacidade atual de acumulação igual a 411.686.287 m³ e vazão regularizável de 3.100 l/s (AESAs, 2009). Está localizado na cidade de Boqueirão, situada a aproximadamente 42 km de Campina Grande. Seu gerenciamento está sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Obras contra a Seca (DNOCS).

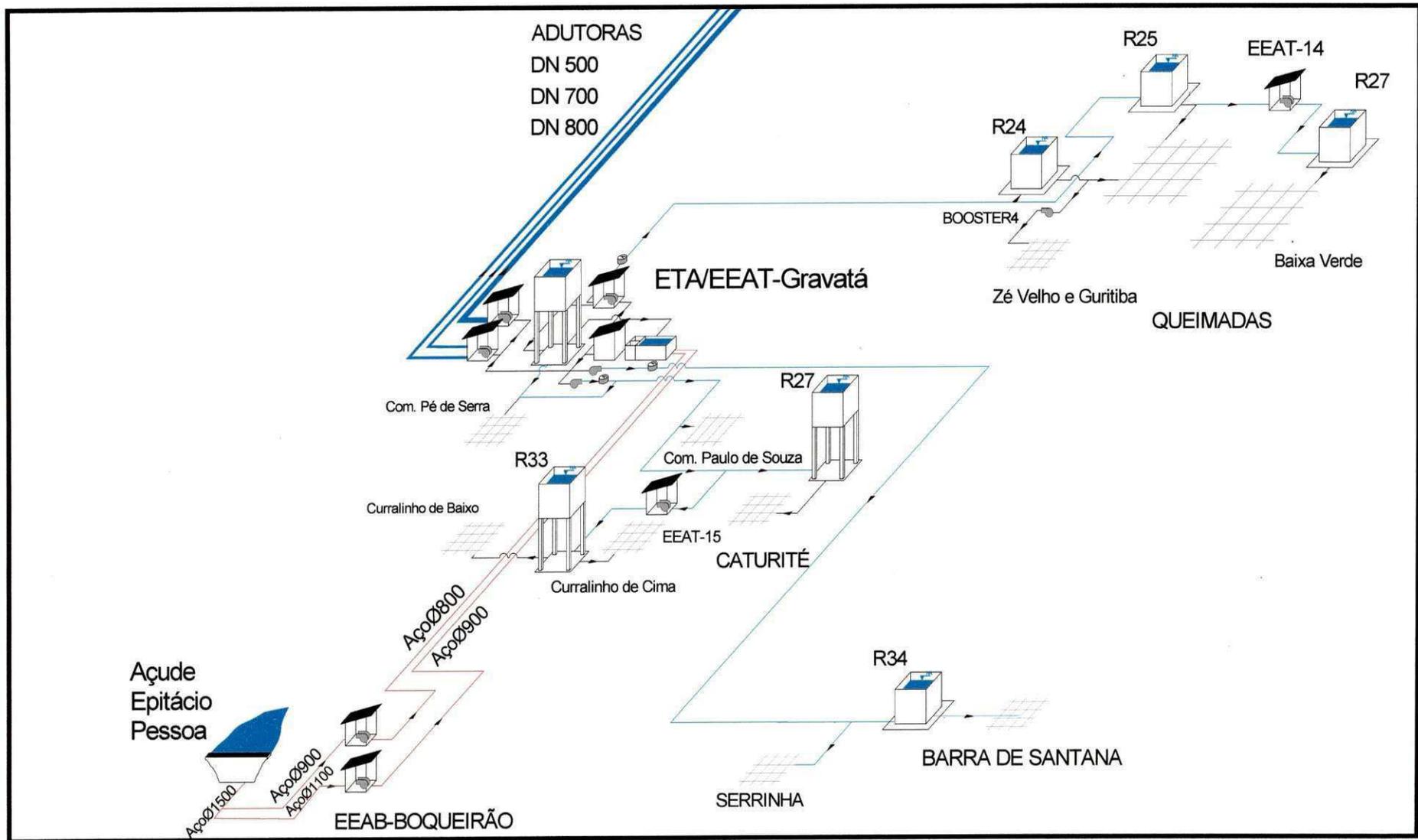


Figura 3.1 – Manancial e estação de tratamento do SACG e algumas localidades atendidas (adaptado de CAGEPA, 2010).

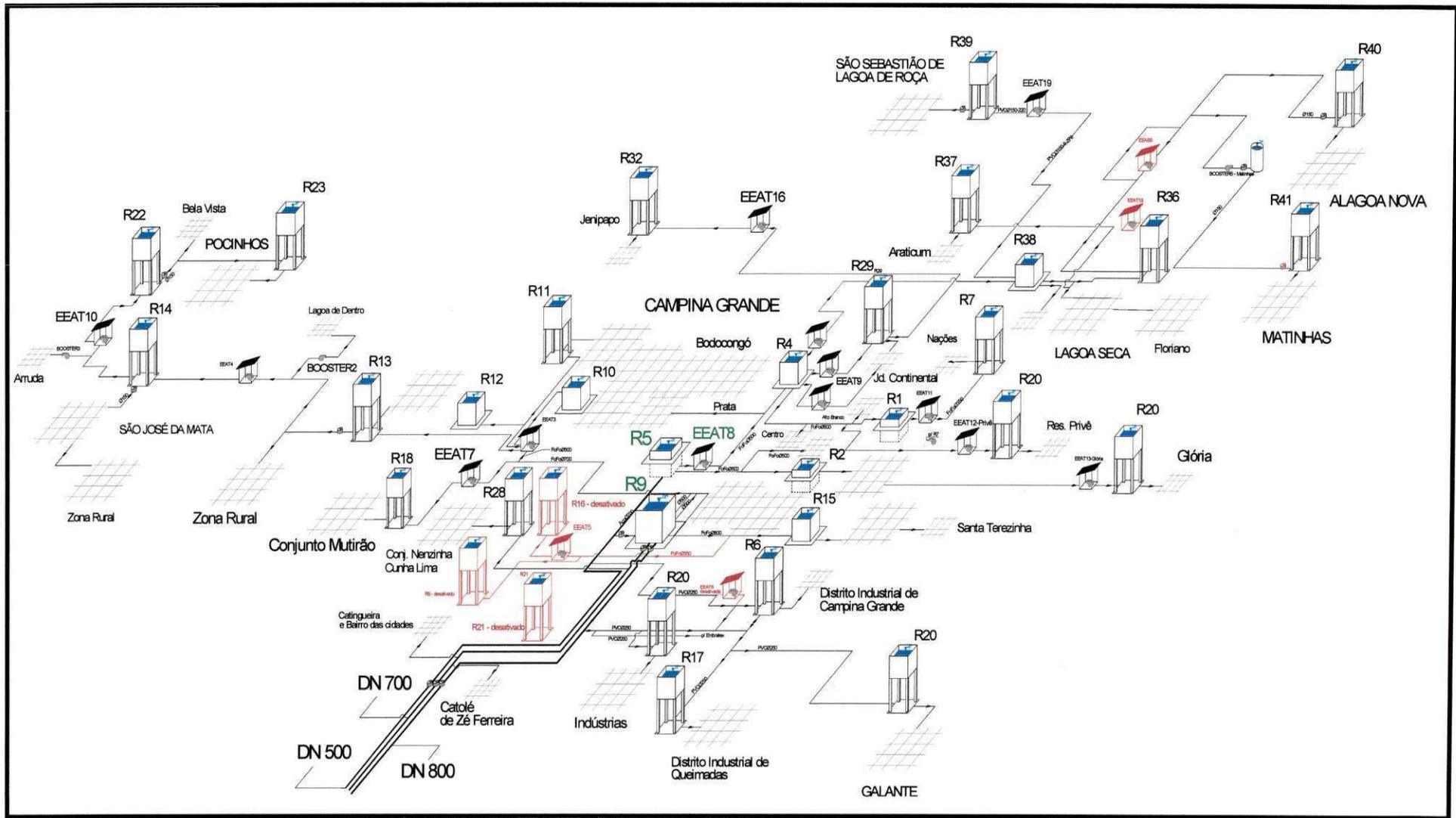


Figura 3.2 – Unidades operacionais do SACG (adaptado de CAGEPA, 2010).

3.2.2.2 A captação

A captação da água para o SACG é realizada através da descarga de fundo da barragem. Toda a água é captada através de uma tubulação de aço, DN 1500. Tal tubulação se divide em outras duas: DN 1100 e DN 900, ambas em aço.

3.2.2.3 A estação elevatória de água bruta

No município de Boqueirão (logo a jusante da barragem), há a Estação Elevatória de Água Bruta, denominada de EEAB – Boqueirão.

Subdivide-se em duas elevatórias. Uma para a adutora de DN 900 e a outra para a de DN 800.

Cada uma delas é composta por 4 conjuntos motor bomba, sendo um deles reserva, ou seja, para cada adutora, funcionam de 1 a 3 conjuntos (o arranjo operacional de funcionamento depende da demanda).

A Tabela 3.1 apresenta as características dos conjuntos motobombas.

Tabela 3.1- Características da EEAB – Boqueirão (CAGEPA, 2010).

Unidade	Quantidade	Potência motor (CV)	Especificação bomba	Vazão (l/s)	Altura manométrica (m.c.a)
EEAB – 2 (adutora 900 mm)	4	650	KSB 8LN 21	425	130
EEAB – 1 (adutora 800 mm)	4	900	KSB 8LN 21	441	159

3.2.2.4 Adutoras de água bruta

Conforme anteriormente citado, o SACG é constituído por duas adutoras de água bruta, ambas executadas em tubos de aço e diâmetros DN 900 e 800. A espessura média das chapas é de ¼ de polegadas. O comprimento de cada uma é de aproximadamente 22 km. A água é recalçada para a ETA-Gravatá.

3.2.2.5 Estação de tratamento de água (ETA-Gravatá)

A ETA situa-se na localidade denominada de Gravatá, município de Queimadas, a uma distância de 21 km de Campina Grande. A estação é do tipo convencional, com capacidade para tratar 1.500 l/s. Consta de uma calha parshall, flocladores mecânicos, decantadores de fluxo horizontal, filtros de gravidade, tanque de contato de cloro e casa de química completa.

A Tabela 3.2 apresenta as principais características das unidades de tratamento. As fases do tratamento são as seguintes:

- Mistura rápida dos coagulantes
- Correção do PH
- Floclulação
- Decantação
- Filtração
- Desinfecção com cloro gasoso.

Tabela 3.2 - Características da ETA-Gravatá (CAGEPA, 2011).

Vazão (l/s)	Floculador	Decantador	Filtros	Contato
1.500	Mecânico com 08 câmaras; volume total de 1.341,20 m ³	Convencional com 06 unidades; área total de 6.730 m ² .	Dupla camada com 11 unidades; área total de 475 m ² .	Com uma câmara. Volume total de 4.000m ³ .

3.2.2.6 A estação elevatória de água tratada (EEAT-Gravatá) e adutoras de água tratada

Após o tratamento, a água é recalçada para a cidade de Campina Grande, através de duas elevatórias, localizadas junto à ETA-Gravatá, sendo destinada aos reservatórios denominados de R-09 e R-05. Da primeira elevatória partem duas adutoras de aço: uma com DN 500, em funcionamento desde o ano de 1957 e a outra com DN 700, construída em 1972. A segunda elevatória foi construída em 1994 e a adutora tem DN 800, executada em ferro fundido. Na Tabela 3.3 têm-se as características das estações elevatórias e das adutoras.

Ao longo do tempo, foram realizadas diversas derivações nas três adutoras, antes da chegada no R-09 e no R-05. Tais derivações ocorreram com a justificativa de possibilitar o

abastecimento de áreas de expansão da cidade. Nenhuma havia sido prevista no projeto do sistema de distribuição de água da cidade de Campina Grande. Ao contrário, havia a recomendação expressa de que esse tipo de solução não deveria ser adotado: a ligação existente, a partir da adutora DN 700 para o distrito industrial deveria ser eliminada (ACQUAPLAN, 1979).

Tabela 3.3 - Características da EEAT-Gravatá e das adutoras de água tratada.

Unidade operacional	Conjuntos motor bomba (quantidade)	Potência motor (CV)	Especificação bomba	Vazão (l/s)	Altura manométrica (mca)	Adutora
EEAT - 1	1	650	KSB 8LN 21	180	130	DN 500, aço, 18.950 m (a água é conduzida ao R-09).
EEAT - 1	6 (agrupados em 3 grupos com duas em série).	650	KSB 8LN 21	395	159	DN 700, aço, 20.800 m (a água vai para o R-05, mas parcela pode ficar no R-09).
EEAT- 2	4	900	KSB 8LN 26	386	140	DN 800, ferro fundido, 18.950 m (a água é conduzida ao R-09).

Atualmente, na adutora de DN 500 há derivações para os bairros da Catingueira, Cidades, Catolé de Zé Ferreira e conjunto Nenzinha Cunha Lima. Na de DN 800, para o distrito industrial de Queimadas, o bairro do Ligeiro, indústrias ao longo da alça sudoeste e fábrica da COTEMINAS, com possibilidade de atender ao distrito de Galante. Já a de DN 700, atende ao distrito industrial de Campina Grande e Galante.

As chamadas “sangrias” nas adutoras alteraram o projeto original em vários aspectos, principalmente no que se refere à vazão de jusante. Outro aspecto preocupante relaciona-se ao funcionamento dos conjuntos motobombas, que foram dimensionados para alturas

manométricas constantes. Assim, todo o volume recalcado deveria ser conduzido a um único local, com apenas um só ponto de descarga da água tratada.

3.2.2.7 Localidades atendidas

O último projeto de ampliação do SACG, elaborado em 1980, previa que a área a ser abastecida seria de 5.230 ha. Destes, 3.326 ha correspondiam à área urbana então existente; 1.300 ha para uma área de expansão; 54 ha referiam-se ao distrito de São José da Mata e à Vila de Santa Terezinha; 254 ha correspondiam aos distritos industriais de Campina Grande e 300 ha de uma área onde se pretendia implantar 5.000 unidades habitacionais.

Atualmente, essa área ampliou-se consideravelmente. Além disso, outras cidades passaram a ser abastecidas através do SACG. A Tabela 3.4 apresenta dados referentes às localidades atendidas através do SACG.

Tabela 3.4 - Localidades atendidas pelo SACG (com informações da CAGEPA, 2010 e IBGE, 2010).

Localidade	População		Número de Ligações de água (nov/2010)	Percentual de micromedição
	Urbana	Rural		
Campina Grande	367.278	17.998	116.835	88,80
Alagoa Nova	9.922	9.797	2.781	51,74
Barra de Santana	4.059	731	313	70,00
Caturité	1.025	3.521	655	80,09
Galante	Incluído em Campina Grande.		2.338	64,76
Lagoa Seca	10.585	15.326	3.330	60,45
Matinhas	682	3.634	226	95,58
Pocinhos	9.615	7.404	3.348	82,14
Queimadas	22.249	18.805	8.595	71,13
São Sebastião de Lagoa de Roça	4.659	6.382	1.519	51,88
Total	430.074	83.598	139.940	

Um aspecto importante a se considerar é que parte da população rural das localidades relacionadas passou a ser abastecida através dos sistemas urbanos existentes.

Em Campina Grande, a maior parte da área localizada próxima ao distrito de São José da Mata foi contemplada com redes de distribuição a partir dos reservatórios R-13 e R-14, a partir do ano de 2003. As principais localidades são as seguintes: Félix Amaro, Gaspar,

Cajazeiras, Lagoa de Dentro, Grotão, Tambor, Lagoa de João Gomes, Bosque I, II e III, Monte Alegre, Gabriel, Serra de Joaquim Vieira I e II, Covão, Boi Velho e Capim Grande. Ainda pode-se citar o distrito de Catolé de Boa Vista.

No ano de 2004, houve o rompimento da Barragem do Camará, deixando desabastecidas diversas cidades da região denominada de Brejo. Essas cidades não dispunham de mananciais que pudessem abastecê-las. Diante disso, a solução encontrada foi a execução de um sistema derivado do existente em Campina Grande. Assim, a partir de 2007, passou-se a abastecer as cidades de Lagoa Seca, Alagoa Nova, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça. Recentemente, em 2010 passou-se a atender também aos distritos de Floriano e Chã dos Marinheiros, todos pertencentes ao município de Lagoa Seca.

O sistema que atende à cidade de Caturité, também abastece as comunidades de Paulo de Souza e Curralinho e muitas outras residências localizadas às margens da rodovia PB 148.

Na região conhecida por Serra de Gravatá, próxima à ETA, também há rede de distribuição a partir do reservatório de lavagem de filtros.

No ano de 2008, foi inaugurado o sistema de abastecimento para a localidade denominada de Jenipapo e localizada nos limites dos municípios de Campina Grande, Puxinanã e Lagoa Seca.

3.2.2.8 Rede de distribuição

Um fator condicionante para a concepção do sistema de distribuição de Campina Grande (ACQUAPLAN, 1980) foi a topografia da área a ser abastecida. O que se verificou foi um relevo acidentado, marcado, de forma acentuada, pelos sulcos correspondentes aos talvegues de dois riachos (Depuradora e Bodocongó) que, paralelamente e num sentido quase que norte/sul, cortam toda a área, de tal maneira que as zonas mais altas ocupam o norte da cidade, enquanto que ao sul e sudoeste se localizam as zonas de cotas mais baixas.

As zonas baixas, com terrenos predominantemente abaixo da cota 500 m, estão nas zonas sul e sudoeste da cidade.

Na região norte da cidade, predominam cotas acima dos 550 m, atingindo em alguns locais 600 m ou mais. Essa região é ocupada, em sua maior extensão, pelos bairros do Monte Santo, Jeremias, Palmeira, Alto Branco e Cuités.

Na região central da cidade, os terrenos, sua maioria, têm cotas entre 500 e 550 m. Aqui ficam os bairros mais antigos como: Prata, São José, Centro, Quarenta, Liberdade, Catolé e Zé Pinheiro.

A região leste, onde ficam, por exemplo, os bairros de Monte Castelo, Vila Cabral e Nova Brasília, caracteriza-se por uma zona aproximadamente plana com níveis, variando entre 510 m e 520 m. Porém, com o crescimento das áreas a serem abastecidas, longínquas regiões passaram a fazer parte da zona de abastecimento, exigindo adaptações e modificações na concepção inicial.

Assim, o projeto da rede de distribuição de água de Campina Grande, elaborado pela firma ACQUAPLAN em 1980, dividiu a cidade em quatro zonas de pressão denominadas A, B, C e D, conforme indica a Figura 3.3.

O reservatório R-09 (com capacidade para 29.000 m³) recebe água das três adutoras (DN 500, 700 e 800) e distribui para as zonas de pressão A e D. Já as zonas B e C são abastecidas apenas a partir da adutora de DN 700, que alimenta o reservatório R-05 (com capacidade para 8.000 m³). As zonas B e C compreendem o centro da cidade entre outros bairros, além das cidades do subsistema denominado de Brejo: Alagoa Nova, Lagoa Seca, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça. A Tabela 3.5 apresenta as localidades que compõem as zonas de pressão do sistema atual.

Tabela 3.5 - Zonas de pressão do SACG.

ZONA	PRINCIPAIS BAIROS	NÚMERO DE ECONOMIAS
A	Quarenta, Liberdade, Cruzeiro, Santa Rosa, Jardim Paulistano, Catolé, Mirante, José Pinheiro, Malvinas, Presidente Médici e Distrito Industrial.	75.345
B e C	Centro, Santo Antonio, São José, Prata, Centenário, Alto Branco, Juracy Palhano, Nações, Cuités, Palmeira, Prata, Monte Santo, Conjunto dos Professores, o distrito de Jenipapo e cidades de Lagoa Seca, Alagoa Nova, São Sebastião de lagoa de Roça e Matinhas.	50.445
D	Jeremias, Bodocongó, São Januário, Severino Cabral, Lagoa de Dentro, São José da Mata, zona rural de São José da Mata e a cidade de Pocinhos	16.904
TOTAL		130.839

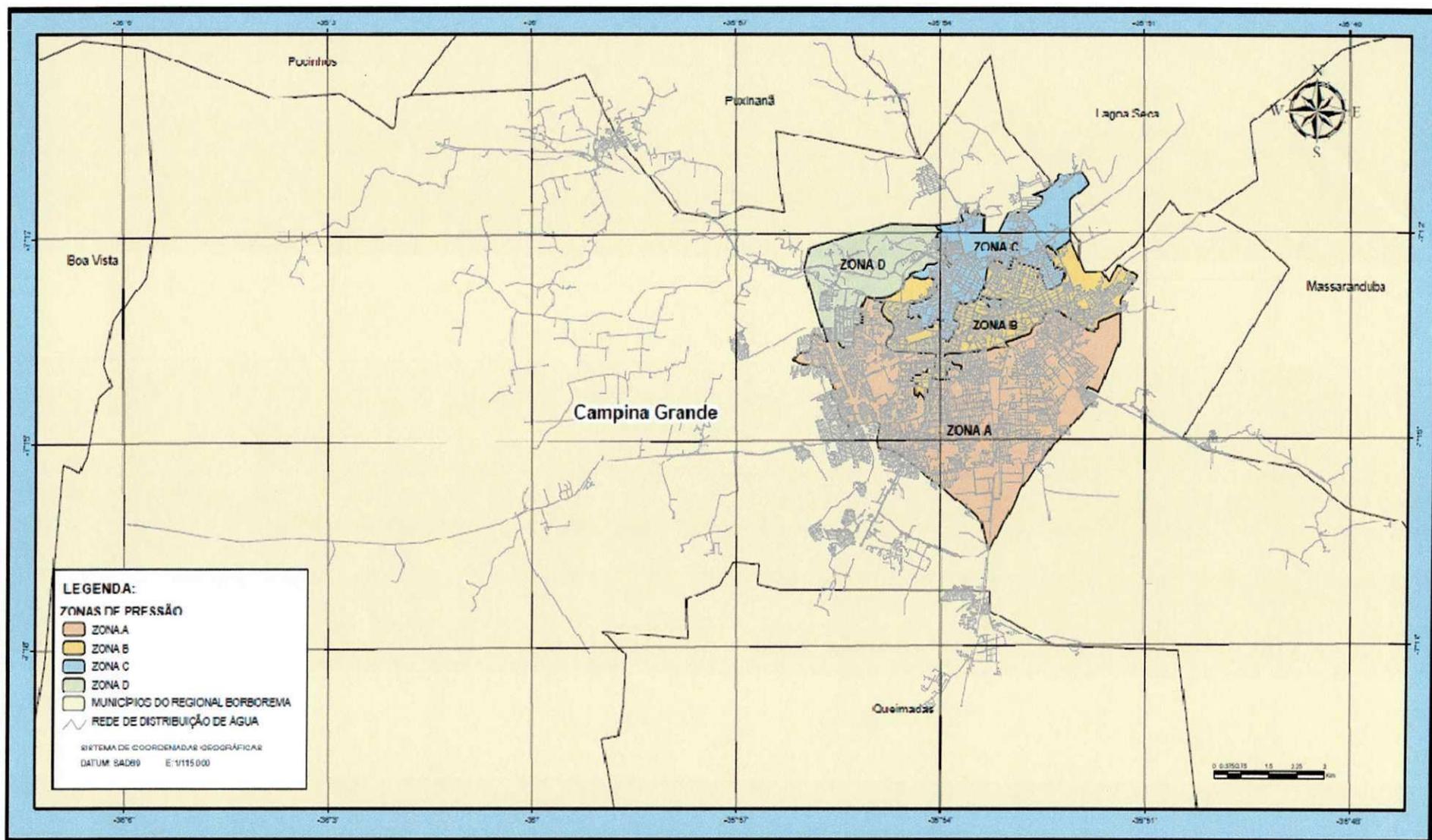


Figura 3.3 - Zonas de pressão do SACG.

O material da tubulação da rede de distribuição é de cimento amianto e ferro fundido, para os trechos mais antigos e PVC para os mais recentes. O comprimento total da rede de distribuição da cidade de Campina Grande é de aproximadamente 1.350.821,57 metros (CAGEPA, 2011). A Tabela 3.6 apresenta a discriminação por diâmetro.

Tabela 3.6 - Comprimento por diâmetro nominal (adaptado de CAGEPA, 2010).

DN	Comprimento (m)
50	920.151,25
75	78.868,59
100	86.890,79
110	1.069,05
125	5.541,30
140	3.773,07
150	76.292,49
160	3.803,75
200	41.394,48
250	46.846,10
300	18.769,87
350	18.585,15
400	9.670,86
450	1.628,84
500	16.778,05
550	978,01
600	4.894,60
700	7.719,24
800	7.007,82
900	83,24
1.000	75,02
Total (m)	1.350.821,57

3.2.2.9 Sistema de reservação

Os dois principais reservatórios do SACG são o R-09 e o R-05.

A Tabela 3.7 apresenta as principais características do sistema de reservação de Campina Grande. Percebe-se que diversas unidades de reservação foram desativadas e outras estão inativas. Na primeira situação, isso ocorre principalmente devido à ampliação do sistema. Um exemplo é a desativação dos reservatórios R-08 e R-16, que ocorreu após a construção e funcionamento do R-09. Na outra situação, o reservatório foi construído, mas a situação atual do sistema não exige a sua operação, como o caso do R-31, no conjunto Glória, cujo abastecimento ocorre, diretamente, a partir dos reservatórios R-04 e R-05.

Tabela 3.7 - Reservatórios da zona urbana e distritos de Campina Grande (adaptado de CAGEPA, 2010).

Reservatório	Capacidade (m³)	Situação operacional	Nível da água (cotas)		Tipo	Zona de pressão	Locais atendidos
			Máximo (m)	Mínimo (m)			
R0 - ETA Gravatá		Ativado			Apoiado.		Poço de sucção.
RLF (ETA - lavagem de filtros)					Elevado		
R1 - Alto Branco	3.080	Ativado.	563	560	Semi-enterrado	B	R7.
R2 - Centro	2.290	Ativado	554,8	552	Semi-enterrado	B	São José.
R3 - Monte Santo	500	desativado	575,169	572	Semi-enterrado	C	
R4 - Palmeira	10.000	Ativado	607,34	602,34	Apoiado.	C	Diversos.
R5 - Prata.	8.000	Ativado	567	563	Semi-enterrado	B e C	Diversos.
R6 - Distrito Industrial.	400	Ativado	530,5	524,7	Elevado	A	Distrito Industrial de Campina Grande.
R6T - Distrito Industrial.	2.000	desativado	501,45	498,45	Semi-enterrado	A	
R7 - Bairro das Nações.	200	Ativado	616,36	612,56	Elevado	C	Bairro das Nações.
R8 - Presidente Médici.	200	desativado	514,65	509,6	Elevado	A	
R9 - Santa Rosa.	29.000	Ativado	554	548,5	Apoiado.	A e D	Diversos.
R10 - Bodocongó.	2.000	Ativado	571	566	Apoiado.	D	Bodocongó, Araxá e Ramadinha I.
R11 - Bodocongó.	250	Ativado	616,5	613	Elevado	D	Granjas.
R12 - São Januário.	200	Ativado	612,77	608,77	Apoiado		Ramadinha II.
R13 - São Januário.	250	Ativado	665	662	Elevado	D	R14 e São Januário.
R14 - São José da Mata.	300	Ativado	704,5	669	Elevado	D	São José da Mata e Pocinhos.
R15 - Mirante.	350	Ativado	517,5	513	Apoiado	A	Mirante e Distrito de Santa Terezinha.
R16 - Malvinas.	500	desativado	554	549	Elevado	A	
R17 - Distrito Industrial Queimadas.	600	Ativado	535	530	Elevado	A	Distrito Industrial de Queimadas.
R18 - Conjunto Mutirão.	200	Ativado	620	616	Elevado	A	Mutirão.
R19 - Alça Sudoeste.	250	Ativado	512	508	Elevado	A	Distrito Industrial do Ligeiro.
R20 - Galante	150	Ativado	417	414	Elevado	A	Distrito de Galante.
R21 - Alça Sudoeste.	150	Inativo			Elevado	A	
R28 - Nenzinha Cunha Lima	300	Inativo			Apoiado	A	Reserva incêndio.
R28 - Nenzinha Cunha Lima	200	Ativado			Elevado	A	Conjunto Nenzinha Cunha Lima.
R29 - Cuités	300	Ativado		677	Elevado	C	Cuités.
R30 - Jardim Continental		A executar				C	Jardim Continental.
R31 - Conjunto Glória		Inativo			Elevado	B	Conjunto Glória.
R32 - Distrito de Jenipapo	150	Ativado	705,5	701,1	Elevado	C	Distrito de Jenipapo.
R35 - Residencial Privê.		Ativado			Elevado	C	Condomínio Residencial Privê.

A Tabela 3.8 apresenta as características dos reservatórios das cidades que têm o seu sistema a partir da rede de distribuição de Campina Grande.

Tabela 3.8 - Reservatórios abastecidos das cidades a partir da rede de distribuição de Campina Grande (adaptado de CAGEPA, 2010).

Reservatório	Capacidade (m ³)	Situação operacional	Tipo	Zona de pressão	Locais atendidos
R22 - Pocinhos	200	Ativado	Elevado	D	Pocinhos e Bela Vista.
R23 - Pocinhos	250	Ativado	Elevado	D	Pocinhos.
R36 - Lagoa Seca.	150	Ativado	Elevado	C	Cidade de Lagoa Seca.
R37 - Lagoa Seca.	36	Ativado	Elevado	C	Sistema Brejo
R38 - Lagoa Seca.	500	Ativado	Apoiado.	C	Sítio Imbauba e Brejo.
R39 - São Sebastião de Lagoa de Roça.	150	Ativado	Elevado	C	Cidade de São Sebastião de Lagoa de Roça.
R40 - Alagoa Nova	220	Ativado	Elevado	C	Cidade de Alagoa Nova.
R41 - Matinhas	50	Ativado	Elevado	C	Cidade de Matinhas.

3.2.2.10 Macromedição, micromedição, perdas e perfil do consumo.

Na chegada, em Campina Grande, das adutoras de água tratada de DN 500, DN 700 e DN 800, estão instalados três macromedidores de vazão, do tipo eletromagnético. Assim, é conhecido o volume a ser distribuído para todo o sistema. A Tabela 3.9 apresenta os valores distribuídos mensais para o SACG no ano de 2009.

Tabela 3.9 - Volume distribuído para o SACG no ano de 2009 (adaptado de CAGEPA, 2010).

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
2.799.426 m ³	2.457.811 m ³	2.854.284 m ³	2.714.079 m ³	2.777.424 m ³	2.595.871 m ³
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2.603.199 m ³	2.652.932 m ³	2.687.505 m ³	2.979.796 m ³	2.907.943 m ³	3.036.401 m ³

No ano em análise, a média diária de consumo foi de 97.948,41 m³. Isso equivale a um consumo médio estimado de 1.133,66 l/s.

De acordo com o Serviço Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), as perdas na rede de distribuição de água para os sistemas operados pela CAGEPA são da ordem de 49,2 % no ano base de 2007. A Tabela 3.10 apresenta os índices para os estados do

Nordeste. No diagnóstico dos serviços de água e esgotos (SNIS, 2008), essas perdas para o município de João Pessoa são de 49,3%. Como não se dispõe de dados específicos, acredita-se que para o SACG, os valores para os percentuais de perdas físicas e aparentes não sejam acentuadamente diferentes daqueles apresentados pelo SNIS.

Tabela 3.10 - Índice de perdas dos prestadores de serviços do Nordeste do Brasil (SNIS, 2007).

Prestadora de serviço	Ipf (%)	Ipd (%)	IPL L ligação ⁻¹ dia ⁻¹	IPe L km ⁻¹ dia ⁻¹
AGEPISA/PI	55,8	63,1	667,2	70,4
CAEMA/MA	62,9	62,9	1060,3	80,4
CAERN/RN	42,1	53,1	541,7	51,9
CAGEPA/PB	39,4	49,2	418,6	61,1
CASAL/AL	54,2	60,8	625,7	56,8
COMPESA/PE	58,4	67,7	745,0	81,3
DESO/SE	41,3	49,3	444,0	30,7
EMBASA/BA	32,3	37,5	305,5	23,8
Média total	45,0	51,2	488,7	46,0

Ipf - Índice de perdas por faturamento; Ipd - Índices de perdas na distribuição; IPL - Índices perdas por ligação por dia; IPe - Índices de perdas por extensão de rede; L - Litros.

No que se refere à micromedição, a Tabela 3.4 apresenta o percentual de medição para as ligações da cidade de Campina Grande e para outras localidades atendidas a partir de sua rede de distribuição. Não se teve acesso às informações dos hidrômetros em funcionamento, ou seja, tempo de instalação, quantidade em funcionamento, média mensal de violação dos mesmos, necessidade de substituição, etc.

A caracterização do consumo horário de um SAA é fator primordial para a elaboração de um plano operacional. Mas também não é tarefa fácil, uma vez que, além da variabilidade de consumo entre as diversas áreas de uma localidade, exige-se a disponibilização de equipamentos adequados para cada situação. Para o SACG, alguns trabalhos técnicos (Barbosa, 2001; Albuquerque, 2007; Almeida, 2007) abordaram a operação e cada um deles tratou de maneira diferente o aspecto do perfil de consumo horário. A Tabela 3.11 apresenta o resumo de pesquisas anteriores que trataram do assunto.

Tabela 3.11 - Estudos com informações referentes ao perfil de consumo de água do SACG.

Autor/ano	Unidades estudadas	Metodologia para elaboração do perfil de consumo diário	Comentários
Barbosa, (2001).	Subsistema, que a partir do R-09 atende a EE-3, o R-13, a EE-4, o R-14, a EE-Arruda, o R-22 e o R-23.	Adotou-se padrão típico para a variação diária na demanda de água para anéis de distribuição.	Não se utilizaram dados reais do sistema, adotando-se padrão já existente, considerando que os menores consumos ocorrem no intervalo das 0:00 às 5:00 h (consumo igual a 20% da média) e os maiores das 11:00 às 13:00 h (aumento de 20% do consumo médio).
Albuquerque, (2007).	Sistema principal de abastecimento de Campina Grande, considerando o consumo para o R-09, o R-05, o R-04 e o centro da cidade.	Não foi apresentada metodologia para elaboração do cálculo da demanda. Pela análise do trabalho, conclui-se que houve medição de vazões instantâneas nas saídas dos reservatórios e ainda a utilização do método do balanço de massas. Não foi informado o período em que houve a coleta de dados.	São apresentadas demandas para as 24 h do dia. O menor valor encontrado foi de 1.320 l/s, às 22:00 h. O maior ocorreu às 16:00 h, com um valor de 1.499,45 l/s.
Almeida, (2007).	Rede de distribuição que atende aos Conjuntos Habitacionais Glória I e II, caracterizados como de baixa renda (cuja população foi transferida da comunidade denominada de Cachoeira).	No período entre novembro de 2006 e janeiro de 2007, foram realizadas 4.152 leituras de consumo, através de macromedidor. Para cada mês, a média aritmética dos dados em cada horário foi utilizada para representar o consumo em cada horário particular.	A comparação das curvas de consumo indica que houve similaridade em termos de valores no intervalo entre as 18:00 e 4:00 h da manhã. O consumo se inicia partindo de valor nulo nas três primeiras h do dia, entra numa curva ascendente, atingindo o valor máximo às 11:00 h. Até as 16:00 h o consumo é descendente, quando se inicia novamente um período de ascensão, voltando a decair até as 24 h.

3.2.3 Descrição da operação

A operação do SACG é manual e grande parte das unidades operacionais funciona 24 horas por dia. Para as principais unidades há que se considerar o horário de ponta, das 17:30 h às 20:30 h, quando há o desligamento de alguns conjuntos motobombas. Com o objetivo de garantir o cumprimento do horário de ponta e não serem geradas multas, o horário cumprido é das 17:00 h às 21:00 h.

O agendamento dos conjuntos motobombas e as condições de trabalho dos reservatórios foram definidos ao longo dos anos, baseando-se principalmente na experiência dos operadores e informações dos projetos.

3.2.3.1 A EEAB-Boqueirão

A Tabela 3.12 apresenta o funcionamento operacional máximo diário da unidade. A adutora de DN 800 não é operada no horário de pico de consumo elétrico. Assim, no horário de ponta funcionam 2 conjuntos e, no horário fora de ponta, podem funcionar até 5 conjuntos.

Tabela 3.12 - Funcionamento da EEAB- Boqueirão (adaptado de CAGEPA, 2010).

Horário	Adutora 800	Adutora 900
Ponta (17:30 às 20:30)	0	2 conjuntos
Fora de ponta (demais períodos)	3 conjuntos	2 conjuntos

A vazão atual dos conjuntos motor bombas e suas possíveis combinações estão indicadas na Tabela 3.13. A aferição foi realizada instantaneamente através de medidores ultrassônicos.

3.2.3.2 A EEAT-Gravatá

O funcionamento máximo da elevatória é: 1 bomba para adutora de DN 500, 2 bombas para a adutora de DN 700 e 2 também para a adutora de DN 800.

A vazão atual dos conjuntos motobombas da EEAT-Gravatá e suas possíveis combinações estão indicadas na Tabela 3.14.

Tabela 3.13 - Vazões da EEAB – Boqueirão (adaptado de CAGEPA, 2010).

Combinação	Descrição		Q (l/s)	Q (m³/h)
Vazões da EEAB-2 (adutora DN 900)				
1	Conjunto	1	425,00	1.530,00
2	Conjunto	2	393,11	1.415,20
3	Conjunto	3	370,58	1.334,09
4	Conjunto	4	420,60	1.514,16
5	Conjuntos	1 + 2	652,61	2.349,40
6	Conjuntos	1 + 3	641,69	2.310,08
7	Conjuntos	1 + 4	713,57	2.568,84
8	Conjuntos	2 + 3	645,36	2.323,30
9	Conjuntos	2 + 4	661,69	2.382,08
10	Conjuntos	3 + 4	721,71	2.598,15
11	Conjuntos	1 + 2 + 3	737,90	2.656,44
12	Conjuntos	1 + 2 + 4	750,82	2.702,95
13	Conjuntos	1 + 3 + 4	733,21	2.639,56
14	Conjuntos	2 + 3 + 4	734,68	2.644,85
Combinação	Descrição		Q (l/s)	Q (m³/h)
Vazões da EEAB-1 (adutora DN 800)				
1	Conjunto	5	423,20	1.523,52
2	Conjunto	6	441,50	1.589,40
3	Conjunto	7	437,27	1.574,17
4	Conjunto	8	447,10	1.609,56
5	Conjuntos	5 + 6	695,50	2.503,80
6	Conjuntos	5 + 7	710,70	2.558,50
7	Conjuntos	5 + 8	703,40	2.532,24
8	Conjuntos	6 + 7	694,42	2.499,90
9	Conjuntos	6 + 8	700,10	2.520,36
10	Conjuntos	7 + 8	693,85	2.497,87
11	Conjuntos	5 + 6 + 7	812,40	2.924,64
12	Conjuntos	5 + 6 + 8	819,50	2.950,20
13	Conjuntos	5 + 7 + 8	816,50	2.939,40
14	Conjuntos	6 + 7 + 8	829,80	2.987,28

Tabela 3.14 - Vazões da EEAT-Gravatá (adutoras DN 500, DN 700 e DN 800) (adaptado de CAGEPA, 2010).

Combinação	Descrição	Q (l/s)	Q (m³/h)
Adutora DN 500			
1	Conjunto 1	180,00	648,00
Adutora DN 700			
1	Conjunto 2	379,40	1365,84
2	Conjunto 3	387,30	1394,28
3	Conjunto 4	395,90	1425,24
4	Conjunto 2+3	598,10	2153,16
5	Conjunto 2+4	583,40	2100,24

Tabela 3.14 – Continuação.

Combinação	Descrição	Q (l/s)	Q (m³/h)
Adutora DN 700			
6	Conjunto 3+4	584,40	2103,84
Adutora DN 800			
1	Conjunto 5	374,00	1346,40
2	Conjunto 6	370,00	1332,00
3	Conjunto 7	373,50	1344,60
4	Conjunto 8	386,50	1391,40
5	Conjunto 5+6	601,00	2163,60
6	Conjunto 5+7	600,10	2160,36
7	Conjunto 5+8	642,90	2314,44
8	Conjunto 6+7	645,50	2323,80
9	Conjunto 6+8	602,20	2167,92
10	Conjunto 8+7	643,60	2316,96

3.2.3.3 Sistema de reservação e outras estações elevatórias

Os Quadros 3.1 e 3.2 apresentam as principais características e condições operacionais atuais para os reservatórios e estações elevatórias do SACG.

3.3 O sistema de controle operacional

A operação do SACG é gerenciada a partir da unidade denominada de Centro de Controle Operacional – CCO, cuja principal atividade é a tomada de decisão para o funcionamento do sistema. O CCO do SACG foi implantado em 1988.

O contato com as unidades operacionais ocorre via rádio ou telefone. Na maioria das unidades monitoradas, há operador, cujas principais funções são o envio das informações e a execução de ações determinadas pelo CCO: acionamento/desligamento de bombas e abertura/fechamento de válvulas.

A partir desta unidade, todas as decisões são tomadas. As informações recebidas das unidades operacionais pelo CCO são: níveis de reservatórios, pressão, estado das válvulas: aberto/fechado e estado das bombas: em funcionamento/parado/em manutenção. Tais informações são anotadas numa planilha eletrônica, cujos arquivos são salvos para cada dia de operação.

Quadro 3.1- Quadro resumo do sistema de reservação do SACG.

Unidade	Descrição e condições de operação
R-01	É abastecido a partir da rede de distribuição que abastece o bairro do Alto Branco. Serve de poço de sucção da elevatória EEAT-11 que atende ao R-07, bairro das Nações. Seu nível mínimo operacional é de 1,60 m e o máximo é de 2,50 m. Há leitura de nível.
R-02	É abastecido por subadutora a partir do R-05. Seus níveis operacionais máximo e mínimo são 2,50 m e 0,50 m. Há leitura de nível.
R-04	É abastecido pela EEAT-8 (R-05). Serve de poço de sucção para a EEAT-09, que atende ao sistema do Brejo e não funciona no horário de ponta. Há o controle de pressão para a rede de distribuição, cujo valor máximo na saída do reservatório é de 3,0 m.c.a. O nível mínimo para atendimento é de 2,5 m e o máximo de operação é de 5,50 m. Há leitura de nível.
R-05	É abastecido diretamente da adutora DN 700, cujo controle de vazão é realizado no R-09. Serve de poço de sucção para a EEAT-8 e para parte do Centro. Atende também por gravidade, à parte do Bairro de Bodocongó e do Centro, cujo controle de vazão de distribuição é realizado por válvulas borboletas. O nível mínimo de operação é de 1,30 m. Já o máximo é de 3,60 m. Há leitura de nível.
R-06	É abastecido através da adutora de DN 700. Seu nível é conhecido através da medida de pressão. O nível máximo é 35,50 m.c.a e o mínimo de 15,00 m.c.a.
R-07	Esse reservatório é abastecido através da EEAT-8. O nível mínimo de operação é de 2,00 m e o máximo é de 4,00 m.
R-09	É o principal reservatório. É composto por 4 câmaras, sendo atendido pelas adutoras de DN 500, DN 700 e DN 800. Porém, a adutora de DN 700 abastece principalmente o R-05 e a entrada de água no R-09 é por duas válvulas borboletas que regulam a entrada de água para as câmaras 2 e 3. O nível mínimo de abastecimento é de 2,5 m e o máximo operacional é de 5,10 m. Após as 21:00 h, término do horário de ponta, inicia-se o acionamento dos conjuntos na EEAT-Gravatá. Caso o R-09 esteja com nível de 3,0 m faz-se o seguinte acionamento: 1 bomba na adutora de DN 700 e 1 bomba na adutora de DN 800. Às 0:00 h, se o nível do R-09 estiver em 3,50 m, aciona-se o 2 conjunto na adutora de DN 800.
R-10	Reservatório alimentado pela EE-3. Não há leitura de nível. O bombeamento para esta unidade é de aproximadamente 10 h/dia, normalmente das 0:00 h às 10 h e das 13 h às 17:00 h.
R-11	Também é acionado pela EE-3 e não dispõe de escala de nível. A alimentação se dá pela mesma adutora que atende o R-12.
R-12	É alimentado pela EE-3. O nível máximo é de 4,00 m e o mínimo é de 2,00 m.
R-13	Esse reservatório é abastecido por até 3 conjuntos da EEAT-3. O nível do reservatório é conhecido através da medida de pressão. O valor mínimo operacional é de 16,00 m.c.a e o máximo é de 23,00 m.c.a.
R-14	Alimentado pela EE-4. O nível mínimo para o abastecimento é de 3,0 metros. Já o nível máximo operacional é de 4,20 m.
R-18	É abastecido pela EEAT-7, abastecendo o bairro do Mutirão. O nível também é conhecido através da medição de pressão. O valor para atendimento é de 5,00 m.c.a. e o máximo, 13,50 m.c.a.
R-29	Alimentado a partir da EEAT-9. O nível também é conhecido através da medição de pressão. O valor máximo para atendimento é 21,00 m.c.a.

Quadro 3.2 – Quadro resumo das estações elevatórias do SACG.

Unidade	Descrição e condições de operação
EEAT 3- Bodocongó	É composta por 3 poços de sucção e 8 conjuntos motobombas, alimentando 4 ramais (adutoras) independentes: 1 para o R-10 (são três bombas, sendo 2 reservas); 1 para o R-11 e o R-12 (dois conjuntos, 1 reserva) e 1 para o R-13 (com três bombas, sem uma reserva). No horário de ponta, funcionam até 2 bombas para o R-13.
EEAT 4 - São José da Mata	É composta de dois conjuntos motobombas, de vazões diferentes. O de maior vazão é operacionalizado, normalmente, durante o dia. Funciona 24 h/dia, bombeando para o R-14.
EEAT- 7 - Malvinas	É composta por dois conjuntos, sendo um reserva. O poço de sucção é alimentado pela rede de distribuição. Abastece o R-18 e funciona em média 4 h por dia.
EEAT-8 - R-05- Prata	É composta por 5 conjuntos motobombas. Funciona 24 h. Normalmente funcionam 3 bombas. No horário de ponta funcionam até 2 conjuntos. Abastece o R-04 e parte da rede do Centro.
EEAT-9 - R-04- Palmeira	É composta por 4 conjuntos motobombas, sendo 2 (1 reserva) para o R-29 e 2 para a adutora do Brejo (1 reserva), que não funciona no horário de ponta.
EEAT-10 - Arruda.	É composta por dois conjuntos motobombas, de vazões diferentes. O de menor vazão é operacionalizado, normalmente, durante o dia. É alimentado a partir do R-14.
EEAT-11 - R-01 -Alto Branco	Dispõe de 1 conjunto motobomba, sem reserva. Funciona em média, 10 h/dia.
EEAT-12 - Residence Prive	Elevatória composta por 2 conjuntos motobombas (sendo 1 reserva). O poço de sucção é abastecido a partir da rede de distribuição do bairro do Alto Branco. Funciona aproximadamente 8 h/dia.
EEAT-16 - Jenipapo	É composta por 2 conjuntos motobombas (1 é reserva), é atendida a partir do R-29 e abastece o R-32, no distrito de Jenipapo.

Na Figura 3.4 pode visualizar-se a interface da planilha utilizada para o controle do sistema. Nos detalhes, a letra F indica que o conjunto motobomba está em funcionamento, o P que está desligado e M que está em manutenção, não podendo ser acionado.

CAGEPA - COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAIBA
 DOM - DIRETORIA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
 UNBO - UNIDADE DE NEGÓCIOS DA BOREBEMA
 SCOB - SERVIÇOS CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL

Avisos importantes ao Controlador(a):
 1. Digitar a DATA no local apropriado;
 2. Digitar a COTA do Apude de Boqueirão;
 3. Salvar continuamente a planilha para que não haja perda de informação.

LEO FABIO VAGNER LUIZ ELIAS JAIRO GUILHERME

Nº horas	SISTEMA DE CAPTAÇÃO E ELEVÇÃO DE BOQUEIRÃO										SISTEMA DE TRATAMENTO E ELEVÇÃO DE GRAVATÁ											
	EEAB-Ø900mm					EEAB-Ø600mm					ETA	PSC	EEAT-Ø500mm					EEAT-Ø700mm				
	01	02	03	04	Vol (m³)	05	06	07	08	Vol (m³)	(l/s)	(m³)	1	Vol (m³)	2.1.2.2	3.1/3.2	4.1/4.2	Vol (m³)	05	06		
01	P/M	F	F	F	2.644,85	P	F	F	M	2.499,90	1.164,60	3,25	F	648,00	F	F	P	2.153,16	P	P		
02	P/M	F	F	F	2.644,85	P	F	P	M	2.120,53	1.164,60	3,35	F	648,00	F	F	F	2.153,16	P	P		
03	P/M	F	F	F	2.644,85	P	F	P	M	1.589,40	1.164,60	3,20	F	648,00	F	F	P	2.153,16	P	P		
04	P/M	F	F	F	2.644,85	P	F	P	M	1.589,40	1.164,60	3,10	F	648,00	F	F	P	2.153,16	P	P		
05	P/M	F	F	F	2.644,85	P	F	P	M	1.589,40	1.164,60	3,00	F	648,00	F	F	P	2.153,16	P	P		
06	P/M	M	F	F	2.621,50	P	F	F	M	1.968,78	1.164,60	3,00	F	648,00	F	F	P	2.153,16	P	P		
07	M	M	F	F	2.598,15	P	F	F	M	2.499,90	1.164,60	2,90	F	648,00	F	F	P	2.153,16	P	P		

Pronto

Figura 3.4 – Planilha para o controle operacional do SACG.

As informações são recebidas e anotadas a cada hora do dia. De posse desses dados, são realizadas análises, baseadas na experiência do controlador e nas informações constantes dos Quadros 3.1 e 3.2. Assim, as decisões tomadas são as seguintes: liga/desliga de bombas e abre/fecha de válvulas.

No CCO, existem ainda equipes de operadores volantes, responsáveis pelo manuseio das válvulas das redes de distribuição, principalmente quando há ocorrência de vazamentos.

Qualquer problema ocorrido em alguma unidade é informado pelo CCO ao setor específico da manutenção.

3.4 O sistema de automação

Encontra-se em implantação o sistema de automação das unidades operacionais do SACG. Todos os reservatórios e estações elevatórias serão contemplados, porém, cada uma delas terá um grau de sofisticação diferente, dependendo da sua função no SACG. O supervisor será instalado no CCO. A principal ação a ser executada remotamente será o

liga/desliga das bombas. Uma das etapas principais da implantação será o treinamento e adaptação ao novo sistema.

O supervisor executará ações previamente definidas, exigindo dessa forma, o agendamento prévio de funcionamento das unidades operacionais.

4 METODOLOGIA

A proposta deste trabalho consistiu na elaboração do diagnóstico operacional do Sistema de Abastecimento de Campina Grande (SACG), de modo que fossem obtidos subsídios para a melhoria da gestão da operação do sistema, através do desenvolvimento de um conjunto de regras ou procedimentos para a tomada de decisão, além de produzir informações importantes para a implantação do sistema de automação. O trabalho foi desenvolvido nas seguintes etapas:

- Etapa 1: coleta dos dados cadastrais das unidades operacionais do SACG;
- Etapa 2: coleta das informações operacionais do sistema;
- Etapa 3: elaboração de estimativa de demanda de água do sistema;
- Etapa 4: diagnóstico das unidades operacionais e da operação;
- Etapa 5: realização da modelagem hidráulica do SAA e extração de regras de operação;
- Etapa 6: análise da robustez das regras de operação;
- Etapa 7: avaliação dos benefícios das operações obtidas com a aplicação do modelo proposto.

Na a Figura 4.1 está representado o fluxo das etapas metodológicas.

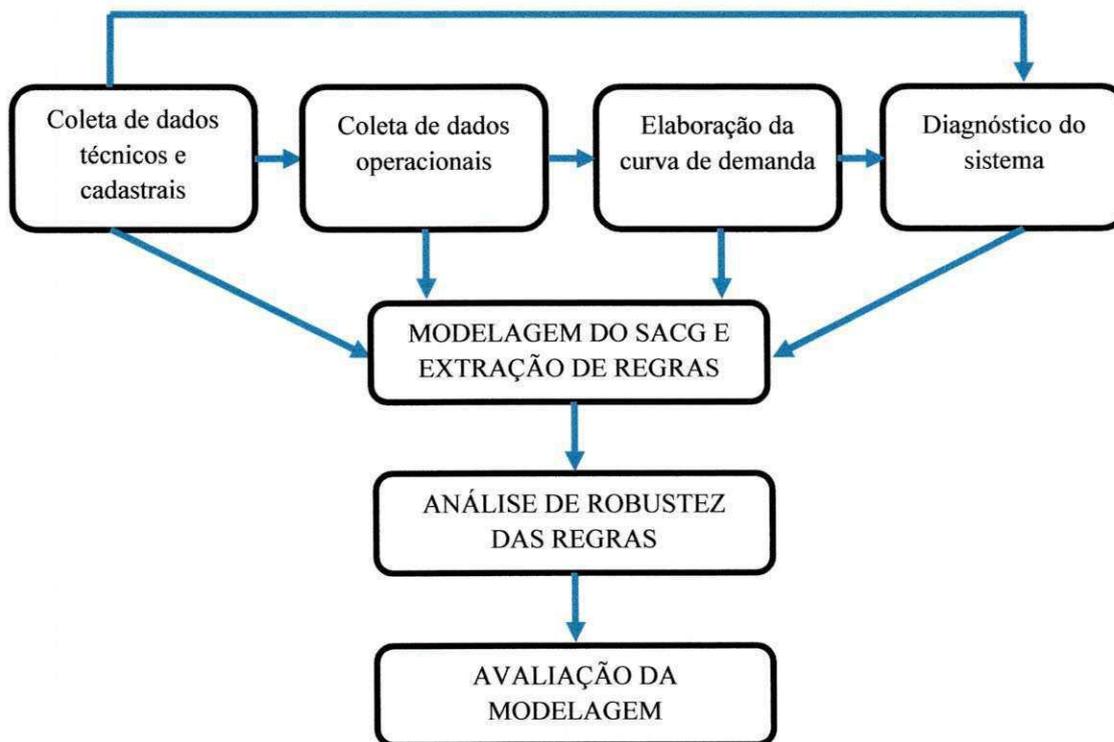


Figura 4.1 - Fluxo de etapas metodológicas.

4.1 Levantamento de informações cadastrais do sistema

Para a elaboração de um plano de gestão operacional de um sistema de abastecimento de água, a etapa inicial, e que se apresenta com papel fundamental, é aquela referente ao conhecimento cadastral do sistema. A qualidade e quantidade das informações das unidades operacionais serão determinantes para a eficiência dos planos e modelos que constituirão o resultado final do sistema de suporte à decisão.

Muitas vezes dispõe-se de ferramentas computacionais robustas e modernas, mas não há boas informações técnico-cadastrais ou conhece-se o sistema superficialmente. Assim, o modelo operacional poderá não representar bem a realidade

Os dados foram divididos em cadastrais das unidades em funcionamento e em técnicos de projetos e memoriais descritivos.

Para a operação é fundamental o conhecimento de informações a respeito da rede de distribuição, principalmente no que se refere aos diâmetros dos trechos e à existência e localização de válvulas controladoras de fluxo.

Os dados cadastrais das unidades operacionais em funcionamento coletados foram basicamente os seguintes:

- Manancial – capacidade de acumulação, capacidade atual, usos, estado de conservação, aspectos de qualidade, aspectos de proteção, plano de gestão do uso da água;
- Captação – tipo (de superfície, por tomada de fundo, etc.), características técnicas (vazão), estado de conservação;
- Adutora – tipo (por recalque ou gravidade; água bruta ou tratada), características técnicas (vazão, material, diâmetro), estado de conservação, presença de dispositivos de segurança (válvulas de bloqueio, válvulas de alívio, ventosas, tanque de acumulação unidirecional, etc.);
- Estação de Tratamento – descrição do tipo de tratamento, capacidade, estado atual de conservação;
- Estação Elevatória – curvas das bombas, características técnicas dos equipamentos eletromecânicos, estado de conservação dos equipamentos, incluindo boosters;
- Rede de distribuição – identificação dos principais anéis, das zonas de pressão atuais, características técnicas (diâmetros, vazões, materiais), localização das principais válvulas de bloqueio, controles de vazão e pressão e descargas, estado de conservação das

tubulações, identificação dos principais acessórios, número de ligações domiciliares (com ou sem hidrômetro, em funcionamento ou cortadas);

- Reservatórios – tipos (apoiado, enterrado, semi-enterrado e elevado), localização, áreas de influência, capacidade, cotas, estado de conservação.

As informações são verificadas através de consulta a documentos (catálogos, plantas, croquis hidráulicos, notas fiscais de compra, gráficos, plantas, entrevista a técnicos) e visitas técnicas de campo.

Nos projetos e memoriais descritivos foram identificadas as seguintes informações:

- Alcance do projeto;
- Parâmetros utilizados para o dimensionamento de todas as unidades;
- Estimativa de crescimento populacional;
- Planos de expansão previstos.

4.2 Levantamento de dados operacionais

Após os dados cadastrais terem sido levantados, a próxima etapa foi o levantamento das informações operacionais. Nesta fase, verificou-se qual o tipo de controle adotado pela concessionária, investigando-se qual a regra técnica atual adotada para a operação, quais as principais dificuldades encontradas (aspectos técnicos e de pessoal), quais os principais problemas de abastecimento enfrentados e qual a estrutura organizacional prevista para a área de operação. Para isso, as seguintes informações foram pesquisadas:

- Estrutura institucional da concessionária, voltada para a área de operação (cargos técnicos existentes, profissionais envolvidos, setores administrativos e panorama histórico da política de gestão do sistema);
 - Tipo de controle adotado (local, central ou misto);
 - Localização e cadastro dos principais equipamentos e acessórios (válvulas, macro medidores, sensores, medidores de nível, equipamentos de comunicação), utilizados no controle;
 - Caracterização do centro de controle operacional e de suas principais atividades desempenhadas;
 - Identificação do perfil atual de operação (níveis mínimos, médios e máximos dos reservatórios, funcionamento das estações elevatórias, manobras realizadas);

- Identificação das áreas com dificuldades de abastecimento e suas principais causas;
- Identificação das áreas onde houve expansão do abastecimento nos últimos anos;
- Identificação das áreas onde há perspectivas de crescimento habitacional;
- Medição de vazão nas adutoras de água tratada do sistema;
- Totalização dos volumes macromedidos e micromedidos do sistema de abastecimento.

4.3 Elaboração da curva de demanda

Os bons resultados de um plano operacional dependem de uma previsão de demanda horária e diária a mais próxima possível da realidade. Em sistemas não automatizados e com uma macromedição deficiente, essa previsão torna-se um processo muito difícil. A maior parte dos sistemas brasileiros não dispõe também de modelos computacionais de previsão. Geralmente são adotados valores estimados a partir de pesquisas consagradas na literatura, mas que muitas vezes se distanciam da realidade.

Diante disso, em cada subsistema, analisaram-se cuidadosamente dados e informações disponíveis, de modo a estimar-se a demanda com critérios confiáveis e seguros.

Nesta metodologia, a estimativa da demanda foi realizada através da técnica do balanço de massas. Para isso, utilizou-se uma série histórica de volumes horários de reservatórios de distribuição e de vazões aduzidas no mesmo período para o sistema. Através da Equação 4.1, foi determinada a vazão para cada hora.

$$Q_i = Q_{bi} - Q_r \quad (4.1)$$

Onde:

Q_i – demanda no tempo i , em m^3/h ;

$Q_r = (V_i - V_{i-1})/t$ – diferença de volume do reservatório em m^3 para o intervalo de tempo (t) de 1 hora.

Q_{bi} – vazão produzida e aduzida em m^3/h , considerada constante para o intervalo de tempo de 1 hora.

Os volumes dos reservatórios foram encontrados a partir do controle de nível no intervalo de tempo de 1 hora. As vazões aduzidas também foram encontradas a partir do controle operacional, em que são indicados quais as estações elevatórias e os conjuntos motobombas que estavam em funcionamento na hora considerada. As vazões dos conjuntos são aferidas previamente e periodicamente.

Em cada dia do mês, foram calculadas todas as vazões para cada hora. Assim, no final do mês considerado, foi calculada a média aritmética para cada hora. Desse modo, obteve-se a curva de demanda para o sistema.

A precisão da estimativa será maior, quanto maior for a quantidade e a qualidade de dados disponíveis. Para uma melhor avaliação e conhecimento do sistema, o período de um ano apresenta-se como razoável, uma vez que poderão ser avaliadas todas as variações climáticas e, além disso, aparecerão os diversos problemas cotidianos no sistema.

Como são necessários muitos dados e, na maioria das vezes, a leitura e coleta dos mesmos são manuais, como também o armazenamento, há a possibilidade de ocorrência de erros, como por exemplo, leitura ou anotação equivocada ou ainda, ausência de dados. Dessa forma, uma avaliação criteriosa é imprescindível.

No SACG, praticamente toda a água proveniente da estação de tratamento é aduzida inicialmente para os dois principais reservatórios de distribuição do sistema: o R-09 e o R-05. A partir dessas duas unidades, todos os outros reservatórios são abastecidos e conseqüentemente todas as zonas de pressão.

Os níveis dos dois reservatórios são monitorados a cada hora. Além disso, também é realizado o acompanhamento horário da estação elevatória de água tratada de Gravatá, de modo que se sabe o período de funcionamento de cada conjunto motobomba.

Assim, conhecendo-se a variação dos volumes dos reservatórios no intervalo de uma hora e o volume de água bombeado no mesmo período, considerou-se que a diferença entre esses valores é a quantidade consumida pelo sistema. Quando o balanço no reservatório é positivo, significa que a demanda foi menor que o volume produzido no bombeamento.

Dessa forma, para a aplicação da técnica do balanço de massas, considerou-se a soma das vazões das adutoras de DN 500, 700 e 800 (os valores utilizados estão na Tabela 3.1) e a variação da soma dos volumes dos reservatórios R-09 e R-05.

A série de dados utilizada para a estimativa refere-se ao ano de 2009. As informações estavam armazenadas em planilhas de operação do Centro de Controle Operacional (Figuras

4.2 e 4.3). Assim, os estudos foram realizados analisando-se 365 arquivos. Cada arquivo representou os dados para um dia do mês.

Nº horas	SISTEMA DE TRATAMENTO E ELEVAÇÃO DE GRAVATÁ												SISTEMA DE							
	ETA	PSC	EEAT-0500mm				EEAT-0700mm				EEAT-0800mm				RAP-05				EE	
	(fs)	(m)	1	2	3	4	05	06	07	08	Vol (m³)	C01C02	C03C04	P. Rec.	01	02				
01	1.151,60	3,35	F	548,00	F	F	P	2.533,16	P	P	F	M	1344,60	3,00	3,00	3,00	3,00	55	F	F
02	1.378,20	2,70	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	F	M	2.024,40	2,95	2,95	2,95	2,95	55	F	F
03	1.378,20	3,00	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	F	P	2.850,36	2,90	2,90	2,90	2,90	55	F	F
04	1.378,20	2,80	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	F	P	2.850,36	2,85	2,85	2,85	2,85	55	F	F
05	1.378,20	2,60	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	F	P	2.850,36	2,80	2,80	2,80	2,80	55	F	F
06	1.152,10	2,70	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	P	P	1.753,38	2,80	2,80	2,80	2,80	55	F	F
07	1.152,10	3,00	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	P	P	1.346,40	2,90	2,90	2,90	2,90	56	F	F
08	1.152,10	3,15	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	P	P	1.346,40	2,90	2,90	2,90	2,90	56	F	F
09	1.152,10	2,60	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	P	P	1.346,40	2,90	2,90	2,90	2,90	56	F	F
10	1.152,10	3,20	F	648,00	F	F	P	2.533,16	F	P	P	P	1.346,40	2,90	2,90	2,90	2,90	56	F	F

Figura 4.2 - Planilha do controle operacional do SACG. Em destaque, estado das bombas (F: em funcionamento; P: desligada) e nível do reservatório.

Nº horas	SISTEMA DE																		
	RAP-09				PSC	EEAT-07			REL	PSC	EEAT-03			RAP		PSC	EEAT		
	C01	C02	C03	C04	EEAT-07	01	02	Vol (m³)	18	EEAT-03	01	02	03	Vol (m³)	01	02			
03	3,50	3,50	3,50	3,50	1,00	P	P	-	3,50	F	M	P	306,36	-	-	4,00	P	P	
04	3,80	3,80	3,80	3,80	1,00	F	P	-	3,50	F	M	P	306,36	-	-	3,50	1V	P	
05	4,10	4,10	4,10	4,10	1,00	F	P	134,35	3,50	F	M	P	306,36	-	-	3,50	1V	P	
06	4,30	4,20	4,20	4,00	1,00	F	P	134,35	3,50	F	M	P	306,36	-	-	3,50	1V	P	
07	4,40	4,30	4,30	3,90	1,00	F	P	134,35	12,00	4,00	F	M	P	306,36	-	-	4,00	1V	P
08	4,60	4,40	4,40	3,60	1,00	F	P	134,35	11,00	4,00	F	M	P	306,36	-	-	4,00	1V	P
09	4,70	4,40	4,40	3,75	1,00	F	P	134,35	10,00	4,00	F	M	P	306,36	-	-	4,00	1V	P
10	4,70	4,40	4,40	3,70	1,00	F	P	134,35	9,00	4,00	P	M	P	306,36	-	-	4,00	P	P
11	4,60	4,35	4,35	3,70	1,00	F	P	134,35	8,00	4,00	P	M	P	-	-	-	4,00	P	P

Figura 4.3 - Planilha do controle operacional do SACG.

Nas planilhas, verificou-se para cada hora de todos os dias do ano em estudo, o nível (em metros) para os reservatórios R-09 e R-05 e quais os conjuntos motor bomba estavam em funcionamento na EEAT – Gravatá. Através do nível, encontrou-se o volume naquele instante de cada reservatório. Através do estado de funcionamento das bombas, estimou-se a vazão que estava sendo destinada para o sistema de distribuição.

Para cada dia foi elaborada uma planilha (ver exemplo na Tabela 4.1) com os volumes produzidos e armazenados no intervalo de uma hora. Utilizou-se então o balanço de massas (Equação 4.1), para a determinação do volume consumido pelo sistema.

Para cada mês do ano de 2009, foi calculada a média aritmética dos volumes produzidos e consumidos para cada hora do dia. Após encontrar-se a representação mensal, calculou-se novamente uma nova média aritmética, tendo-se, portanto a média mensal. Em seguida, calculou-se a média aritmética para cada mês, encontrando-se a representação anual dos consumos.

Então, elaborou-se uma curva que representa o perfil do consumo médio diário (24 horas) para o SACG.

Tabela 4.1 - Planilha para determinação dos volumes produzidos e consumidos para o dia 12 de março de 2009.

Hora	Volume armazenado (m³)			Variação (m³)	Volume	
	R9	R5	Total		Produzido (m³)	Consumido (m³)
01	14.459,15	6.938,92	21.398,07	1.700,00	4.139,64	2.439,64
02	16.759,30	6.938,92	23.698,22	2.300,15	4.755,00	2.454,85
03	18.874,70	7.146,05	26.020,75	2.322,53	5.062,68	2.740,15
04	20.942,98	7.249,62	28.192,60	2.171,85	5.062,68	2.890,83
05	23.510,69	7.249,62	30.760,31	2.567,71	5.062,68	2.494,98
06	25.173,72	7.042,49	32.216,21	1.455,90	4.336,65	2.880,75
07	26.325,13	6.835,36	33.160,48	944,27	3.870,24	2.925,97
08	27.589,77	6.628,22	34.217,99	1.057,51	3.870,24	2.812,73
09	25.400,12	7.249,62	32.649,74	1.568,26	2.748,24	1.180,24
10	24.009,07	7.249,62	31.258,69	-1.391,05	2.748,24	4.139,29
11	23.545,40	6.524,66	30.070,06	-1.188,62	2.748,24	3.936,86
12	23.081,74	6.006,83	29.088,57	-981,49	2.748,24	3.729,73
13	22.220,61	5.592,56	27.813,17	-1.275,40	2.748,24	4.023,64
14	20.988,14	5.592,56	26.580,70	-1.232,47	2.748,24	3.980,71
15	19.273,02	6.006,83	25.279,85	-1.300,86	2.748,24	4.049,10
16	18.526,87	6.421,09	24.947,96	-331,89	3.525,24	3.857,13
17	17.991,76	6.524,66	24.516,42	-431,54	4.080,24	4.511,78
18	16.738,41	6.628,22	23.366,63	-1.149,78	2.296,74	3.446,52
19	15.485,06	6.421,09	21.906,15	-1.460,48	2.073,24	3.533,72
20	14.369,41	6.213,96	20.583,37	-1.322,78	2.073,24	3.396,02
21	13.694,77	6.006,83	19.701,60	-881,77	2.073,24	2.955,01
22	12.884,26	6.628,22	19.512,48	-189,11	2.811,24	3.000,35
23	13.274,65	6.731,79	20.006,44	493,95	4.143,24	3.649,29
24	14.948,12	6.835,36	21.783,48	1.777,04	4.143,24	2.366,20

4.4 Diagnóstico do sistema

Um plano de gestão da operação eficiente e que consiga bons resultados práticos necessita, na sua fase de estudo (e após a implantação), além do cadastro técnico atualizado, da elaboração de um diagnóstico das unidades e de todo processo operacional implantado e em funcionamento. O diagnóstico permite compreender a situação vigente e objetiva também dar subsídios para a implantação de mudanças futuras. Para a sua elaboração, foram realizadas consultas a documentos (boletins operacionais, memoriais descritivos, fotografias, anotações, boletins de medição, etc.), relatórios e cadastros técnicos, plantas, croquis e esquemas hidráulicos, gráficos de registros de pressão, planilhas da operação, manuais técnicos, catálogos, cadastros de dados comerciais, entrevistas a responsáveis técnicos, gestores e realização de visitas técnicas e acompanhamento da operação.

4.4.1 Diagnóstico das unidades operacionais

Para cada unidade operacional, realizou-se o diagnóstico, conforme explicitado a seguir:

- Manancial – consulta a documentos do órgão gestor do manancial, identificação da existência de plano de gestão do uso da água e usuários outorgados, visita técnica, identificação do avanço da quantidade de localidades atendidas por SAA e atendimento de zona rural através de carro pipa, estudo do comportamento dos volumes ao longo da última década e do último ano, identificação do período em que houve os menores volumes armazenados e suas conseqüências ao sistema, consulta à área de tratamento para verificar se a água está adequada ao abastecimento da população;
- Captação – verificação se a concepção atual atende às necessidades do tratamento e se há projeto para ampliação e modificação da estrutura existente;
- Adutora – identificação do estado atual de conservação das paredes da tubulação e dos dispositivos de segurança, vazões atuais disponíveis, número de derivações (para atendimento em marcha), verificação da existência de plano de manutenção preditiva, preventiva e corretiva;
- Estação de tratamento – descrição da situação atual de funcionamento: se todas as unidades estão em operação, se há capacidade de aumento da produção de água, se o tratamento está cumprindo todas as normas e portarias em vigor;

- Estação elevatória – verificação da condição atual dos conjuntos motobombas e dispositivos de proteção, possibilidade de aumento da vazão bombeada, verificação da existência de plano de manutenção preditiva, preventiva e corretiva, verificar se novas bombas foram implantadas (principalmente boosters) adequadamente;

- Rede de distribuição – identificação das áreas que sofreram expansão das zonas de abastecimento. Verificar o comprimento, o diâmetro e o material das redes expandidas. Observar se houve execução de redes de distribuição com diâmetros inferiores a DN 50. Definir um período de tempo (em que haja dados disponíveis) e apresentar evolução do comprimento das redes de distribuição. Verificar se há regiões rurais sendo abastecidas pela malha urbana. Indicar as tubulações (materiais, diâmetros) mais antigas e as suas respectivas zonas e a necessidade de implantação de programa de reabilitação das redes. No que se refere aos serviços de manutenção, identificar se predomina a preventiva ou a corretiva e apresentar num período de tempo, a quantidade de vazamentos retirados nas redes de distribuição, ramais prediais e conexões da caixa de hidrômetros;

- Reservatórios – identificação das unidades que já foram desativadas, aquelas que necessitam de recuperação física e aquelas cuja função foi modificada (por exemplo, de reservatório de distribuição a poço de sucção de novas elevatórias para alimentar novas zonas e subzonas);

- Macromedição e micromedição – definição dos pontos de instalação de macromedidores de vazão, considerando que os locais de implantação deverão ser: tubulação de recalque das elevatórias, saída dos reservatórios para zonas e subzonas ou outros de acordo com as características do sistema, de modo a permitir a identificar o volume a ser distribuído. Para a micromedição, identificar a quantidade instalada e o seu tempo de utilização;

- Controle de Perdas – Verificação se há plano de redução das perdas reais e aparentes e avaliar a quantificação do índice de perdas para o SACG;

- Verificação se há automação no sistema ou se há previsão de implantação.

4.4.2 Diagnóstico da operação

Foi identificado o regime operacional atualmente aplicado, verificando-se a quantidade de horas de funcionamento da estação de tratamento e das estações elevatórias. Para as unidades que têm funcionamento intermitente, identificaram-se os motivos. Verificou-

se se há operadores nas unidades e o regime de trabalho deles, como se dá a leitura dos níveis dos reservatórios, e se há horário de ponta e descrevê-lo.

No que se refere ao controle operacional, observou-se inicialmente se o mesmo é do tipo central, local ou misto. Se existe um centro de controle geral, qual o canal de transmissão de informações com as unidades, quais os parâmetros operacionais que são informados e o intervalo para envio dos dados. Indagou-se a respeito do regime de funcionamento do centro de comando, se funciona as 24 horas do dia, fins de semana e feriados, como se dá a comunicação com os outros setores da concessionária, como se realiza o atendimento ao público e a manutenção. E, identificou-se como se dá o processo de tomada de decisão referente ao liga/desliga das bombas e o fechamento de válvulas.

Outro item a se diagnosticar foram as áreas do SACG com dificuldades no abastecimento. Para isso, foram necessárias análises de diversas informações: gráficos registradores de pressão (para identificação das regiões com pressão menor que 10 m.c.a.), relatórios de aferição de vazões de elevatórias, gráficos de retirada de vazamentos, relatórios de reclamações de falta de água no serviço de atendimento, identificação das regiões onde há rede de distribuição com diâmetros inferiores a DN 50, níveis dos reservatórios, cadastros técnicos, informações da planilha de operação e visitas técnicas. Assim, identificaram-se as regiões com intermitência no abastecimento, as possíveis causas para o problema e as possíveis soluções.

4.5 Modelagem do sistema

A representação do sistema de abastecimento no modelo é importante para reproduzir o mais fielmente possível todas as complexas relações funcionais, observadas no dia a dia do sistema real. Dessa forma, conhecido o maior número possível de características dos elementos do sistema e representadas bem suas relações da dinâmica operacional, há uma tendência de reduzirem-se as imprecisões no processo de simulação da realidade.

Diante disso, conhecendo-se bem a realidade em estudo e sabendo-se que haverá simplificações no modelo, deve haver habilidade técnica e maturidade no processo de representação computacional da situação a ser modificada.

Para a análise da operação do sistema de abastecimento de água, foi utilizado o modelo de simulação hidráulica EPANET 2 (ROSSMAN, 2008). O modelo foi usado para simular e ajustar o conjunto de estratégias propostas pelas regras e para avaliar diversos

cenários, considerando incertezas, objetivando a obtenção de um nível de eficiência operacional satisfatório e confiável para o sistema.

4.5.1 Descrição do modelo EPANET 2

O EPANET 2 (ROSSMAN, 2008) é um programa de domínio público para simulação hidráulica, estática e dinâmica de sistemas pressurizados de distribuição de água. O programa permite obter os valores da vazão em cada trecho, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo. Concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de SAA, pode ser utilizado em diversas situações, como por exemplo, o estabelecimento de cenários de projeto (por exemplo, a expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos.

Desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), o EPANET 2, de acordo com Biscos (2003), é aceito amplamente como padrão mundial na modelagem hidráulica e de qualidade de água.

O EPANET 2 contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, com diversas características, entre elas: dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada; cálculo da perda de carga, utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning; modelagem de bombas de velocidade constante ou variável; modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de retenção, reguladoras de pressão e de vazão; cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo; múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo; possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição ou em controles com condições múltiplas; possibilita a representação de sistemas compostos por redes de tubulações (malhadas ou ramificadas), estações de bombeamento, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo e/ou variável.

A modelagem, através do EPANET, permite representar um sistema como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle e os nós representam pontos de consumo, junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV).

4.5.2 Modelagem do SACG

O sistema foi implementado no EPANET em duas escalas:

- Inicialmente considerando a adução para os principais reservatórios da rede, ou seja, o macrossistema;
- Em nível mais detalhado, os subsistemas que compõem toda a rede.

Neste trabalho, as simulações foram realizadas para o modelo macro, que se denominou de modelo para o sistema adutor EEAT-Gravatá.

4.5.2.1 Estimativa de consumo para os nós

Como não há macromedição para as zonas de pressão e subsistemas, o consumo foi estimado pelo número de economias, ou seja, identificou-se a quantidade por nó de consumo e encontrou-se o percentual resultante. Para o modelo da EEAT-Gravatá há dois pontos de consumos, um considerando as zonas de pressão A e D (92.905 economias) e o outro para as zonas de pressão B e C (52.476 economias). Adotou-se, com base no número de economias (pontos de consumos faturados), para cada zona de pressão, o consumo de 64 % (zona A e D) e 36% (zona B e C), da demanda média.

4.5.2.2 Modelagem das unidades operacionais

Para o SACG, verificou-se que a ETA já trabalha no seu limite máximo, assim, ela praticamente não interfere na operação atual, ou seja, o próprio sistema tem que se adaptar à produção de água. Diante disso, considerou-se o R-0, poço de sucção da EEAT-Gravatá como reservatório de nível fixo.

As características da EEAT-Gravatá, inseridas no modelo foram retiradas das Tabelas 3.3 e 3.15. O conjunto da adutora de DN 500 foi denominado de B1-500. A adutora de DN 500 dispõe de 4 bombas, mas só funcionam até 2 unidades, assim, definiu-se que a B1-700 seria 1 bomba em operação, e a B2-700 representaria 2 conjuntos motobombas em operação. Para a adutora de DN 800, a B1-800 representa uma bomba em operação, já a B2-800 representa 2 bombas em funcionamento. As vazões para as bombas consideradas foram as médias das combinações correspondentes da Tabela 3.15.

As características das adutoras, adotadas para o modelo, estão na Tabela 3.3 (características da EEAT-Gravatá e das adutoras de água tratada) e complementadas pela Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Características das adutoras de água tratada (adaptado de CAGEPA, 2010).

Adutora	Material	Diâmetro interno (mm)	Coefficiente de Hazen-Williams
DN 500	Aço soldado	487,3	100
DN 700	Aço soldado	687,3	100
DN 800	Ferro Fundido	812,8	110

Os reservatórios R-09 e R-05 têm câmaras de armazenamento com seção retangular. Encontrou-se para cada um deles, a seção circular correspondente, ou seja, para o modelo, as unidades apresentam forma cilíndrica.

A EEAT-8 R5 é constituída de 5 conjuntos motobombas, funcionando no máximo com 3 unidades, simultaneamente. Assim, a bomba B1_R5 representa uma bomba, a B2_R5 representa duas bombas e a bomba B3_R5 representa três bombas, todas associadas em paralelo. Tal estação elevatória bombeia água para o R-04 e grande parte diretamente para a rede. No modelo da adutora, considerou-se um único ponto de consumo.

Consideraram-se para a análise do sistema adutor dois pontos de consumo, um sendo alimentado pelo R-09, e abastecendo as zonas A e D e outro, a partir do R-05, abastecendo as zonas B e C.

Os elementos V1, V2, V3 e V4 são válvulas sustentadoras de pressão virtuais, usadas como artifício para garantir que a entrada de água nos reservatórios R-09 e R-05 ocorra na parte superior, já que o EPANET só modela a entrada de água pela parte inferior dos reservatórios. Para tanto, as válvulas foram ajustadas para que a pressão na entrada dos reservatórios de rebombeamento fosse 0,1 mca e nos reservatórios de distribuição 0,05 mca. Nos reservatórios R-09 e R-05 não existem válvulas controladoras de vazão e pressão na entrada dos reservatórios. Porém, há uma válvula borboleta que controla a entrada de água no R-09 a partir da adutora DN 700. O principal objetivo é controlar o fluxo de água para o R-05. Todo o controle é realizado manualmente e a critério do operador. No modelo, esse controle é realizado a partir do nível do R-05, ou seja, há um faixa de nível em que toda vazão está destinada ao R-09, pois o controle manual evita justamente que o R-05 atinja o nível máximo.

4.5.2.3 Modelagem e simulação para o sistema adutor EEAT-Gravatá

A Figura 4.4 apresenta a solução escolhida para a modelagem do sistema adutor EEAT-Gravatá, cujas unidades operacionais incluídas foram: EEAT- Gravatá (bombas B1-500, B1-700, B2-700, B1-800 E B2-800), adutoras de água tratada (DN 500, DN 700 E DN 800), Reservatórios R-09 e R-05, EEAT- 8 do R-05 (bombas B3_R5, B2_R5 e B1_R5) e zonas de pressão A, B, C e D. Para o SACG, o funcionamento da EEAT-Gravatá e os volumes acumulados no R-09 e no R-05 definem o abastecimento de todo o sistema, de modo que o modelo utilizado procurou representar fielmente esta situação.

O modelo elaborado permite a avaliação de diversos cenários operacionais, que possibilita ao gestor a tomada de decisão em situações que acontecem no dia-a-dia do processo de produção e distribuição de água.

Neste trabalho, as simulações foram realizadas para diversos cenários com os seguintes objetivos:

- Definição do melhor agendamento operacional diário para a EEAT-Gravatá, observando-se os critérios de atendimento à demanda, dos limites de pressão e velocidade nas tubulações e menor custo com energia elétrica;
- Identificação do melhor horário para realização de manutenção preventiva na EEAT-Gravatá ou nas adutoras de água tratada, com o objetivo de não haver desabastecimento ou, caso haja, ser no menor intervalo de tempo possível;
- Verificação se o SACG, no seu estado atual permite suspender a produção de água, ou seja, o funcionamento da EEAT-Gravatá, no horário de ponta, das 17:30 h às 20:30 h.

4.5.3 Elaboração de regras operacionais

Foram definidas as faixas e limites de controle de acordo com suas características, os graus de liberdade da operação e os objetivos que se deseja alcançar.

A elaboração de regras operacionais para sistemas de abastecimento de água reside na determinação de um conjunto de procedimentos que irá definir o estado dos atuadores finais na operação: bombas e válvulas, de modo a garantir o cumprimento dos limites de operação e objetivos pré-estabelecidos, que podem ser, por exemplo, eficiência energética, eficiência hidráulica e redução de perdas.

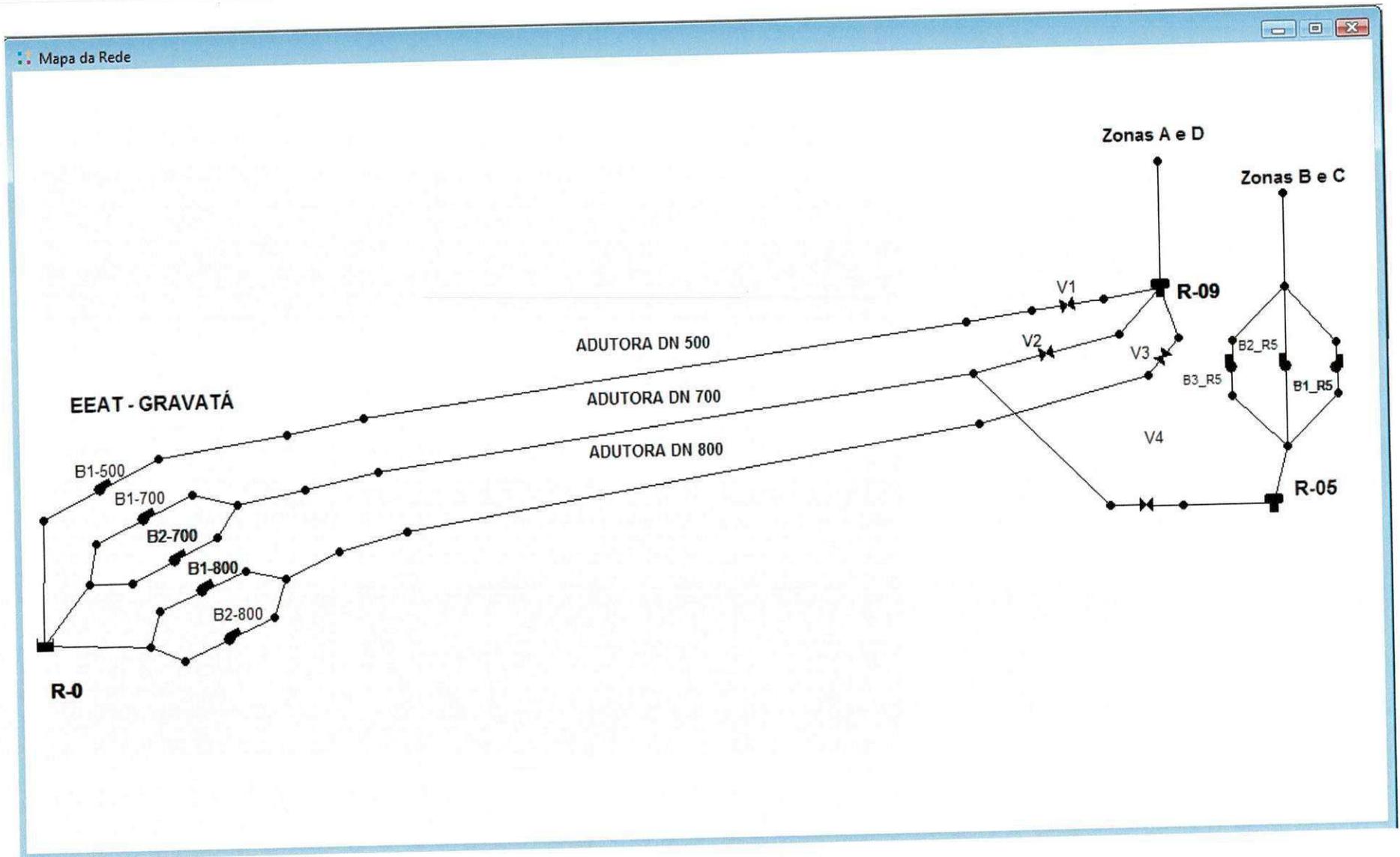


Figura 4.4 - Modelagem para o sistema EEAT-Gravatá.

A relação entre o controle de conjuntos motobombas e válvulas depende diretamente de limites hidráulicos do escoamento e dos níveis de operação dos reservatórios.

Para os limites hidráulicos em redes de distribuição, têm-se:

- pressão estática máxima de 50 mca;
- pressão dinâmica mínima de 10 mca;
- velocidade mínima de 0,6 m/s ;
- velocidade máxima de 3,5 ou 3,0 m/s.

Para adutoras, os limites de pressão são estabelecidos pelo tipo de material.

Os níveis de operação dos reservatórios muitas vezes variam daqueles estabelecidos no projeto. É muito comum não se utilizar o nível mínimo, por não atender às condições de pressão, pois pode ter havido expansão da zona de pressão e as cotas não serem mais atendidas. Às vezes, também se exige o nível máximo, devido ao critério de vazão de armazenamento para os períodos de maior consumo.

Diante disso, através da alteração do estado das bombas (ligada ou desligada) e das válvulas (aberta ou fechada) ou do ajuste da rotação de bombas que contenham conversores de frequência através da alteração do estado das bombas (ligada ou desligada) e das válvulas (aberta ou fechada) ou do ajuste da rotação de bombas que contenham conversores de frequência (possibilidade de diferentes estágios de rotação da bomba) e diferentes aberturas das válvulas (possibilidade de diferentes estágios de abertura para válvulas que assim permitam) é possível controlar os limites operacionais (vazão, pressão, velocidade e níveis de reservatórios) do sistema, desde que isso seja hidráulicamente possível e não conflitante com os objetivos pretendidos. Porém, mesmo assim, devem ser consideradas no elaborar das regras, as possíveis incertezas, decorrentes das manobras em válvulas de rede de distribuição, devido a fatores como interligação entre as zonas de pressão não cadastradas e a não utilização das válvulas (cobertas por pavimentação, por exemplo).

Para a extração das regras operacionais, observando-se as diversas variáveis, adotou-se o seguinte procedimento metodológico (LACERDA, 2009):

- Simplificação do sistema num macrossistema e subdivisão em subsistemas;
- Divisão do ciclo de operação em intervalos de tempo;
- Definição dos limites operacionais;
- Determinação das regras para cada intervalo de tempo e subsistemas;
- Elaboração das regras para configurações específicas.

Para a estruturação das regras, utilizou-se o modelo sugerido por Lacerda (2009).

REGRA R:

VERIFIQUE

HORA DO DIA

NÍVEL DO RESERVATÓRIO

PRESSÃO NA REDE

VELOCIDADE

VAZÃO (DEMANDA)

AÇÃO

BOMBA: LIGAR / DESLIGAR / ALTERAR ROTAÇÃO

VÁLVULA: ABRIR / FECHAR / ALTERAR ÂNGULO DE ABERTURA

4.5.4 Análise de robustez das regras operacionais

Para avaliar a aplicabilidade das regras operacionais, foram realizadas algumas simulações, experimentando diferentes situações, verificando-se até que ponto as regras sugeridas são capazes de atender às operações não previstas em função de fatores diversos. Neste trabalho foram selecionadas simulações com sucesso e variaram-se as demandas em 5%, 10% e 15%.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diagnóstico das unidades operacionais do SACG

5.1.1 Manancial

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam, respectivamente, o volume do açude Boqueirão no período de um ano (fevereiro de 2010 a janeiro de 2011) e na década de 2001 a 2011. Verifica-se que, na primeira situação, o nível do reservatório atingiu valores sempre acima de 70% (288.180,2 m³) de sua capacidade total (411.686 m³). Observa-se ainda, que, a partir de 2004, este volume só não foi atingido no ano de 2008.

No período de 1997 a 1999, o açude Epitácio Pessoa apresentou os mais baixos níveis de armazenamento de sua história, atingindo aproximadamente 15% de sua capacidade em novembro de 2009. A distribuição de água para o SACG foi efetivada através de regime de racionamento, com zonas permanecendo desabastecidas por até quatro dias. De acordo com Rêgo et al. (2001), a causa principal da crise foi encontrada na completa ausência de gerenciamento da bacia hidrográfica e, mais especificamente, no manejo do açude Boqueirão, feito sem qualquer apoio em informações e/ou critérios técnicos seguros e/ou atualizados.

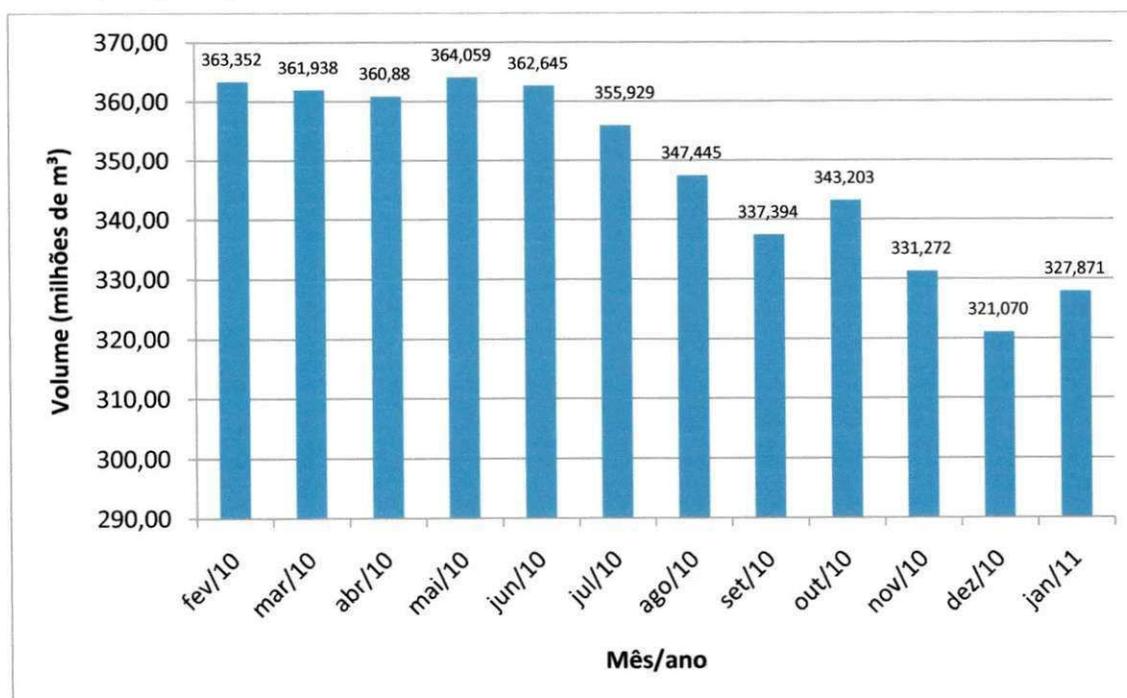


Figura 5.1 - Evolução mensal do volume armazenado no açude Boqueirão em 12 meses (adaptado de AESA, 2011).

Nos últimos anos, mais localidades passaram a ser abastecidas por este manancial, conforme demonstra o Quadro 5.1.

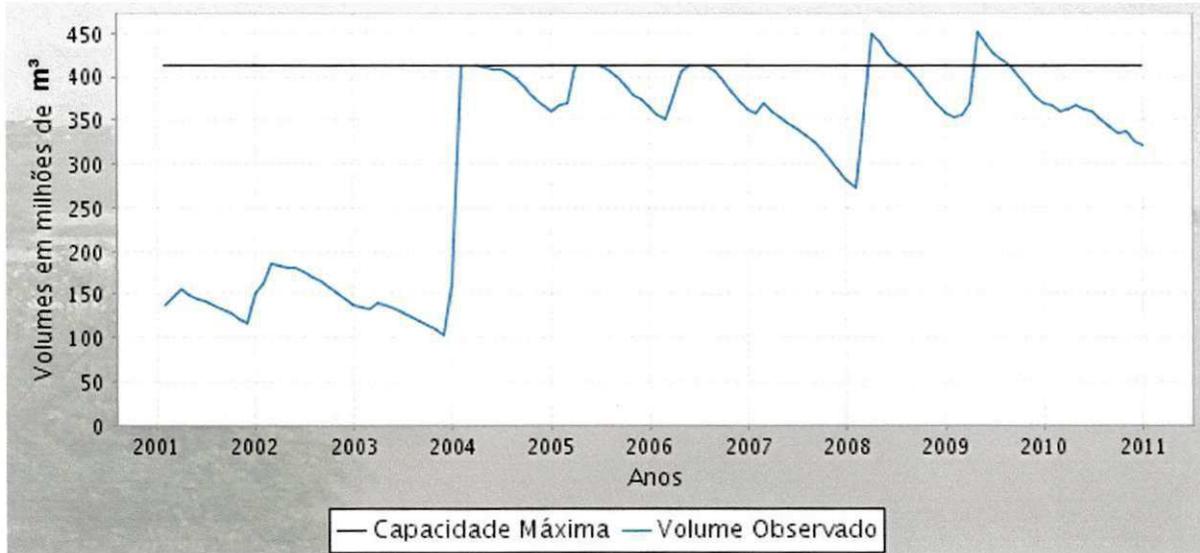


Figura 5.2 - Evolução do volume armazenado no açude Boqueirão na última década (adaptado de AESA, 2011).

Quadro 5.1 - Localidades abastecidas atualmente pelo açude Boqueirão.

Sistema	Localidades atendidas
Adutor do Cariri	Boqueirão, Boa Vista, Cabaceiras, Cubati, Juazeirinho, Olivedos, Pedra Lavrada, Seridó, São Vicente do Seridó e Soledade.
Campina Grande	Campina Grande, Barra de Santana, Caturité, Curralinho, Queimadas, Pocinhos, Galante, São José da Mata, Catolé de Boa Vista, Jenipapo.
Brejo	Alagoa Nova, Chã dos Marinhos, Floriano, Lagoa Seca, Matinhas, São Sebastião de Lagoa de Roça.

Além disso, a zona rural de diversos municípios é atendida através de abastecimento com carros-pipa, principalmente através de programa emergencial do Exército Brasileiro e das prefeituras. Entre vários municípios, são atendidos os de Puxinanã, Montadas, Queimadas, Massaranduba, Lagoa Seca, Fagundes, São Sebastião de Lagoa de Roça,

Esperança, Algodão de Jandaíra, Areial, Boa Vista, Barra de Santana e Caturité. Em média, são destinados diariamente para o abastecimento, 2.040 m³ de água.

5.1.2 Captação

Devido à captação da água ser realizada através da tomada de fundo da barragem, há um aumento nos índices dos parâmetros cor e turbidez, decorrente da tendência de sedimentação do material em suspensão, exigindo a correção do problema na etapa de tratamento com a utilização de sulfato de alumínio líquido, coagulante escolhido para a ETA do SACG. Nos períodos chuvosos, há uma intensificação da problemática, pois há uma maior entrada de material sólido, principalmente resíduos de vegetação. Assim, há maior utilização do sulfato, exigindo rígido controle de qualidade do tratamento por parte dos técnicos envolvidos no processo.

Uma provável solução para o problema seria a tomada de água ser realizada em diversos níveis da lâmina de água, onde haja o menor volume de matéria sedimentada. Já existe na barragem uma estrutura de concreto armado que funciona como torre de manobras para as comportas, de modo que ela poderia ser utilizada para a realização da captação. De acordo com a CAGEPA, há projeto elaborado para que a captação seja efetuada em vários níveis, aproveitando-se a citada estrutura, aguardando-se dotação orçamentária para a implantação. Outra forma seria a instalação de conjunto motobomba em flutuante na superfície da água, bombeando-se para a atual estação elevatória de água bruta (CAVALCANTI, 2004). Com a definição da solução adequada, a qualidade da água bruta melhoraria e todo o processo de tratamento seria facilitado e barateado.

No ano de 2004, a CAGEPA realizou inspeções técnicas, ao longo da tubulação de aço da captação, ao longo do túnel na barragem, através de ensaios ultrassônicos, verificando que a sua espessura encontrava-se em níveis aceitáveis de conservação.

5.1.3 Adutoras de água tratada

As zonas de pressão B e C do SACG são atendidas exclusivamente pela adutora de DN 700, o que exige que esta unidade operacional esteja constantemente em perfeito estado de funcionamento. Quando há necessidade de manutenção corretiva que exija um longo

tempo de execução, toda a região fica desabastecida. Além disso, o abastecimento dos carros-pipa também é realizado a partir desta adutora, no R-09.

Em todas as adutoras, há derivações antes da chegada no R-09, contrariando o que estava consubstanciado no último projeto de ampliação do sistema. Na adutora de DN 500, há três saídas, para o Catolé de Zé Ferreira, Catingueira e Bairro das Cidades e o Conjunto Nenzinha Cunha Lima. A adutora de DN 800 atende às indústrias situadas na alça sudoeste e pode atender à Catingueira e o Bairro das cidades e ainda o distrito de Galante. A adutora de DN 700 abastece o distrito industrial de Campina Grande, o distrito industrial de Queimadas e o distrito de Galante. Porém, a dependência da operação, em relação à adutora de DN 800, gera problemas ao abastecimento, pois a mesma não é operacionalizada no horário de ponta.

O projeto de ampliação do SACG previa e estudos de Cavalcanti (2006) confirmam a viabilidade econômica para a implantação de uma estação elevatória no R-09, com bombeamento para o R-05 uma vez que haveria a redução da altura manométrica da EEAT – Gravatá (e conseqüentemente menor potência em funcionamento na unidade elevatória da adutora de DN 700). Assim, as zonas de pressão B e C não ficariam dependendo exclusivamente da adutora de DN 700. A Figura 5.3 demonstra que a estação elevatória terá o R-09 como poço de sucção e como tubulação de recalque aproveitar-se-á trecho da adutora de DN 700.

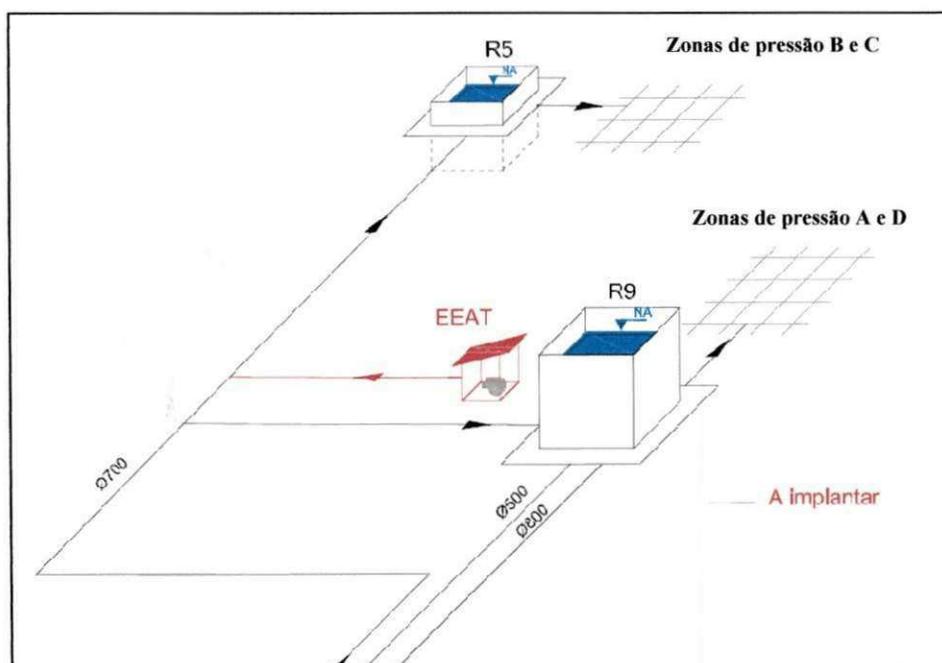


Figura 5.3 - Estação elevatória do R-09 para o R-05 (adaptado de Cavalcanti, 2006).

5.1.3.1 Estações elevatórias

A elevatória da adutora de DN 500 dispõe de apenas 1 conjunto motobomba, não havendo equipamento reserva instalado, exigindo-se que esteja constantemente em condições de funcionamento. O motor tem aproximadamente 30 anos de uso e rendimento igual a 88%.

As elevatórias das adutoras de DN 700 e 800 dispõem de conjuntos reservas e os motores têm rendimentos aproximados iguais a 92% e 90%, respectivamente.

Constatou-se que, atualmente, a realização da manutenção nas estações elevatórias objetiva principalmente “consertar o que quebrou”. Verificou-se que não há um plano de gerenciamento da manutenção. A análise de falhas é deficiente. A manutenção preventiva é precária, igualmente à preditiva. Não há relatórios de falhas dos equipamentos, de modo que as análises para tomada de decisão são prejudicadas. Falta padronização dos processos manutentivos. Não há agendamento para substituição de peças e equipamentos.

5.1.3.2 Tubulações

No que se refere ao estado físico das tubulações, verificou-se que as três adutoras encontram-se em bom estado de conservação. A mais antiga delas, a de DN 500, com mais de 50 anos de operação, já teve a maior parte de seus tubos substituídos. De acordo com a CAGEPA, um trecho de 30 m ainda precisa ser reabilitado.

Na adutora de DN 700, têm surgido vazamentos num determinado trecho aterrado, os consertos são realizados através de serviços de soldagem que exigem a suspensão do funcionamento da adutora. Além disso, verifica-se a necessidade constante da execução de serviços de retirada de vazamentos nas juntas de dilatação.

Ocasionalmente, proprietários de terras onde as tubulações estão assentadas abrem as válvulas de gaveta que funcionam como descargas com o objetivo de utilizar a água (CAGEPA, 2011).

Constatou-se que embora ocorram vistorias frequentes nas adutoras, tais procedimentos não são devidamente planejados, sem a definição de objetivos claros e sem a anotação dos serviços executados e dos pontos fiscalizados. Igualmente nas estações elevatórias, não há gestão do processo de manutenção nas adutoras.

Estão sendo executados os serviços de implantação da 4ª adutora de água tratada, em ferro fundido dúctil e DN 600 que tem como destino o R-09.

5.1.4 Rede de distribuição

Ao longo da última década, houve grande expansão da rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande, como resultado do seu crescimento, refletido principalmente, no acentuado grau da construção civil. Constata-se também que grande parte das novas redes foi executada em regiões que não estavam previstas no plano de expansão das 4 zonas de pressão projetadas. Tais fatores influenciam a operação atual dos reservatórios e elevatórias.

5.1.4.1 Sistemas de reservação

Constatou-se que diversos reservatórios do SACG foram desativados (R-16, R-08, R-3), principalmente após a entrada em operação do R-09. Outros necessitam de recuperação física, como o R-09 e o R-05 que estão com as coberturas em concreto armado necessitando de reparos. Com o crescimento do sistema, alguns reservatórios passaram a funcionar como poço de sucção de estações elevatórias (R-05, R-04 e R-01) e a alimentar outras subzonas (R-09, R-29, R-13, R-14, R-38).

Devido à expansão das redes de abastecimento, parte dos reservatórios é operada com níveis mínimos elevados (R-09, R-05, R-04 e R-14), objetivando atender ao critério de pressão mínima.

Há operadores nos reservatórios R-09, R-05, R-04, R-01, R-13 durante as 24 horas do dia. Nos reservatórios R-06, R-18, R-29 e R-07, há operadores apenas em parte do dia. Os servidores são responsáveis pela verificação do nível e envio da informação ao centro de controle operacional. Nestas unidades, não há válvulas controladoras de nível. Os reservatórios podem extravasar.

Outros reservatórios não são controlados por operadores e, portanto, não se conhecem os seus níveis ao longo do dia. Alguns são atendidos por bombeamento, R-10, R-11, R-12, R-13. Os reservatórios R-19, R-17 e R-15 dispõem de válvulas borboletas com bóia.

5.1.4.2 Estações elevatórias

As principais estações elevatórias são operadas com o máximo de sua capacidade de bombeamento, haja vista o aumento da demanda do SACG. A EE-3, responsável pela zona de pressão D, já funciona para o R-13 (que abastece São José da Mata, zona rural e a cidade de

Pocinhos) com três bombas, sem equipamento reserva. Na elevatória do R-05, o bombeamento é realizado para o R-04 e também diretamente para a rede de distribuição. Verifica-se que alguns pontos que são atendidos pelo recalque, têm cota topográfica inferior a da elevatória. Isso ocasiona pressões elevadas no Bairro da Prata. Esse problema seria resolvido com a separação das zonas de pressão B e C. Os conjuntos não dispõem de conversores de frequência e os motores já são de alto rendimento. Em algumas áreas, fez-se necessária a implantação de “boosters” para atendimento das comunidades rurais do Arruda e da Lagoa de Dentro, porém, esses equipamentos não dispõem também de conversores de frequência.

A manutenção das elevatórias é do tipo preventiva e corretiva, com predominância desta última.

5.1.4.3 Rede de tubulações e acessórios

Pode-se constatar que, nos últimos anos, ocorreu um crescimento na rede de distribuição da cidade de Campina Grande. De acordo com a Tabela 5.1, no período entre 2002 e 2010 houve a execução de 491.676,64 m de novos trechos da rede.

Tabela 5.1- Crescimento da rede de distribuição de água (CAGEPA, 2011).

Mês/ano	Extensão (m)
Setembro/2002	921.193,00
Setembro/2006	1.215.895,88
Setembro/2010	1.412.869,64

A Tabela 5.2 mostra o crescimento dos trechos com DN iguais a 50, 75 e 100, que foram aqueles que apresentaram o maior crescimento. No período de 2002 a 2010, a rede de DN 50 cresceu 337.502,25 m. As de DN 75 e DN 100 cresceram, respectivamente, 26.874,59 m e 14.591,74 m.

Dessa forma, a expansão priorizou as redes secundárias, que atendem diretamente os usuários através das ligações domiciliares e não às redes principais, que alimentam as primeiras e os anéis das zonas e subzonas, pois se verificou que, para as tubulações a partir de DN 150, não houve grande alteração nos seus comprimentos.

Tabela 5.2 - Crescimento dos trechos de menor diâmetro (CAGEPA, 2011).

Diâmetro Nominal (DN)	Extensão (m)		
	Setembro/02	Setembro/06	Setembro/10
50	582.649,00	765.978,53	920.151,25
75	51.994,00	64.684,52	78.868,59
100	71.230,00	80.704,00	85.821,74

A Figura 5.4 apresenta as áreas que passaram a ser atendidas pelo abastecimento de água e as respectivas zonas de pressão de onde houve a expansão. Verifica-se que a maior parte das novas regiões abastecidas derivou das zonas A e D e é, basicamente, localizada em zonas rurais.

A partir da zona D, diversas comunidades, localizadas próximas ao distrito de São José da Mata, foram beneficiadas: sítios Félix Amaro, Gaspar, Cajazeiras, Lagoa de Dentro, Grotão, Tambor, Lagoa de João Gomes, Bosque I, II e III, Monte Alegre, Gabriel, Serra de Joaquim Vieira I e II, Covão, Boi Velho e Capim Grande. A partir da zona A, as comunidades rurais denominadas de Jardim Verdejante, Lucas I e II, Estreito I, II e III e o distrito de Catolé de Boa Vista, não previstas no projeto de ampliação, passaram também a ser atendidas.

Outra área atendida pela zona A é o conjunto habitacional do Mutirão, localizada às margens da BR-230. Seu abastecimento é a partir de estação elevatória, cuja alimentação é a partir da rede de distribuição do bairro das Malvinas e os conjuntos habitacionais Meu Sonho e Sonho Meu.

No que se refere às zonas de pressão B e C, ainda não houve a conclusão dos serviços de separação das mesmas, de modo que o controle operacional fica prejudicado, dificultando por exemplo, a execução de retirada de vazamentos, a manobra do fornecimento de água para determinadas subzonas, exigindo o fechamento de grandes áreas, aumentando-se a perda física e o prolongamento do desabastecimento. Conforme a Figura 5.4, verifica-se que uma grande área, fora destas zonas de pressão, também dispõe de abastecimento, com destaque para o distrito de Jenipapo, localizado nos limites dos municípios de Campina Grande, Puxinanã e Lagoa Seca. A derivação foi a partir do reservatório R-29, que atende ao bairro dos Cuités. A partir de 2007, a zona C passou a atender ao sistema de abastecimento do Brejo, compreendendo 6 novas localidades: Alagoa Nova, Lagoa Seca, São Sebastião de Lagoa de Roça, Matinhas, Floriano e Chã dos Marinheiros.

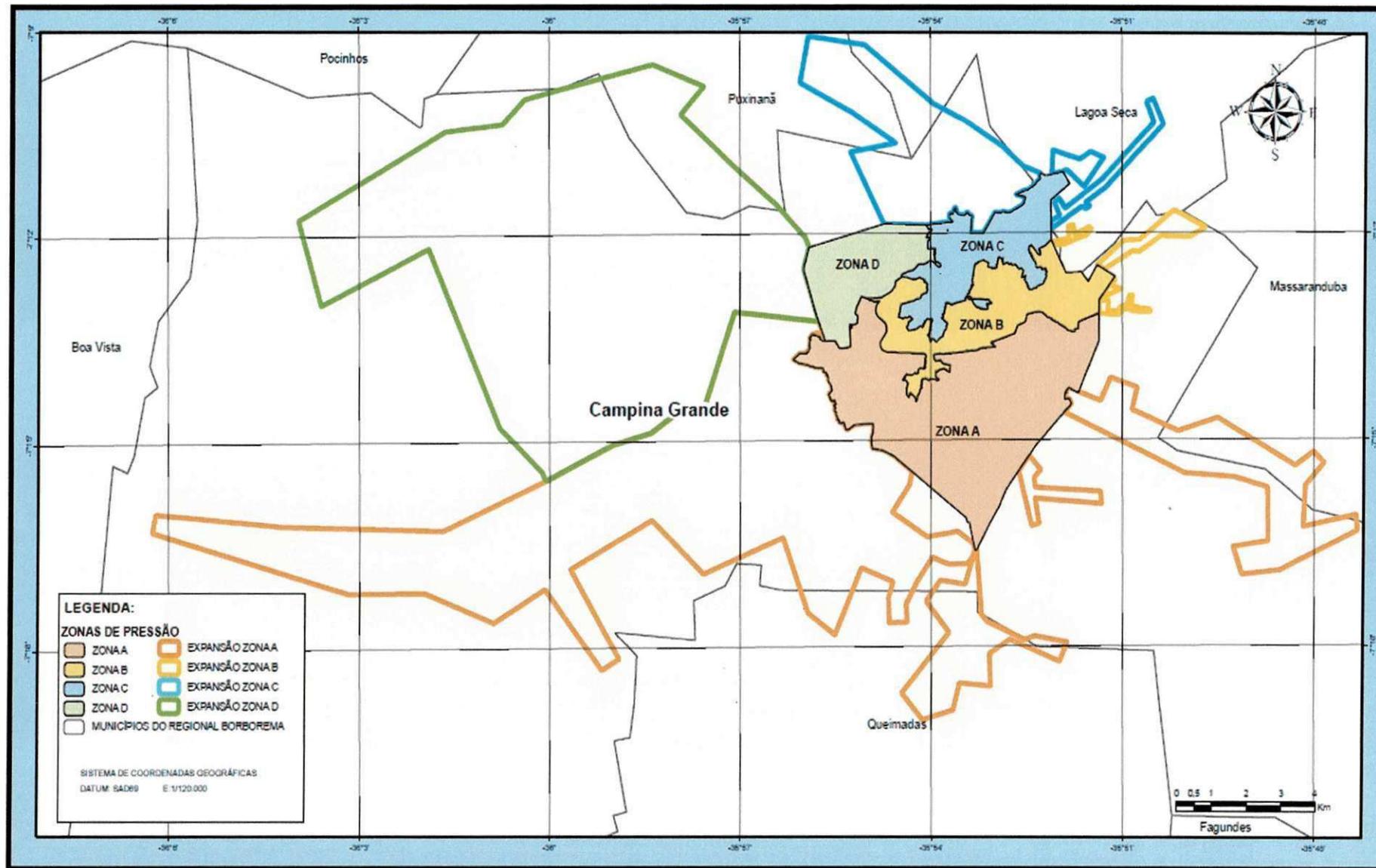


Figura 5.4 – Expansão das zonas de abastecimento da cidade de Campina Grande (adaptado de CAGEPA, 2010).

Constata-se, a partir da Figura 5.4, que a rede de distribuição de Campina Grande já atende diversas partes dos municípios de Queimadas (bairro do Ligeiro), Puxinanã (distrito de Jenipapo), Lagoa Seca e Massaranduba (distrito de Santa Terezinha).

Outro aspecto a se destacar relaciona-se à tubulação. Ainda há uma grande quantidade de tubos de cimento amianto, que, devido à inexistência de material para a manutenção, exige-se que se façam adaptações com outros materiais na execução de retirada de vazamentos, por exemplo, PVC, dificultando e aumentando o tempo do serviço. Nesta situação, há muitos trechos no Centro da cidade, nos bairros do Alto Branco, Conceição, Rosa Mística, Prata, Jeremias, Bairro das Nações, Santa Rosa, São José, José Pinheiro, Monte Castelo, Nova Brasília, Liberdade, Jardim Paulistano e Santa Terezinha. Em algumas regiões, os tubos de cimento amianto chegam a 60% dos outros materiais existentes.

Outro problema refere-se às redes executadas em ferro fundido. Há trechos antigos em que houve a redução da seção de escoamento devido a fenômenos como a incrustação e a tuberculização. Há, portanto, a diminuição da capacidade de transporte de água das tubulações, reduzindo pressão e vazão nos trechos a jusante. Há uma tendência de aumentar-se o nível do reservatório, querendo-se aumentar a pressão. Assim, surgem vários vazamentos. No bairro do Catolé, Zona A, foi constatada a retirada de diversos vazamentos onde a tubulação de DN 250 se apresentava com avançado estágio de tuberculização.

Assim, no aspecto rede de distribuição, verifica-se a necessidade de implantação das seguintes medidas:

- Separação das zonas de pressão B e C;
- Plano de reabilitação de redes, com ênfase nos estudos das tubulações de cimento amianto e ferro fundido;
- Plano de identificação e combate a vazamentos imperceptíveis;
- Planejamento para substituição das redes com diâmetros inferiores a DN 50;
- Dimensionamento e operação adequados dos boosters em funcionamento.

5.1.4.4 Macromedição e micromedição

Atualmente, o SACG dispõe de macromedidores na chegada da água na ETA (uma calha parshal para medição do volume de água bruta) e nas adutoras de água tratada, DN 500, DN 700 e DN 800 (medidores eletromagnéticos para medição do volume a ser distribuído).

Nas unidades R-04 e R-05, há manômetros para monitoramento das pressões na rede de distribuição.

Assim, a ausência de medição da vazão de distribuição nas zonas de pressão tem prejudicado o controle operacional e a análise das perdas reais e aparentes. Não se conhece qual o volume disponibilizado para cada zona. Há possibilidade de haver setores com vazão maior do que o previsto, ou ainda, o surgimento das chamadas “zonas mortas”, onde a água disponibilizada acaba não sendo consumida. Desse modo, o planejamento operacional fica prejudicado e o único parâmetro de controle existente passa a ser o nível do reservatório, que tem sua eficiência prejudicada, por exemplo, quando as zonas de pressão estão interligadas.

Neste trabalho, foram identificados os locais do SACG em que devem ser instalados medidores de vazão, com o objetivo principal de determinar-se o consumo de cada subzona, as vazões disponibilizadas pelas estações elevatórias e coleta de informação para subsidiar a análise de perdas do sistema. Assim, em todas as estações elevatórias e nas tubulações principais dos reservatórios de distribuição foi prevista a instalação dos equipamentos. Não se objetivou a escolha dos tipos ou modelos adequados ou a análise financeira da aquisição e instalação. Os resultados estão nas Tabelas 5.3, 5.4, 5.5, 5.6.

A Figura 5.5 ilustra o resultado da escolha para o R-05. Devido à complexidade operacional da unidade, foi definida a instalação de 5 medidores. Há bombeamento para o R-04 (zona de pressão C) e diretamente para a rede (zona B) e ainda alimentação por gravidade para o R-02 (zonas de pressão B e C) e para outra parte da rede (zona de pressão B). Não se conhecem os valores das vazões ofertadas para cada subdivisão. Assim, escolheu-se um medidor, na chegada da adutora (DN 700), que possibilitará o conhecimento da vazão disponibilizada para as zonas de pressão B e C e a análise da perda de água no trecho entre o R-09 e o R-05. Na tubulação de recalque, foram previstos dois medidores: um logo a jusante do bombeamento e outro logo após a derivação para o atendimento direto da subzona, de modo que se poderá determinar o valor da vazão bombeada para o R-04 e para a rede. As outras subzonas, abastecidas por gravidade diretamente do reservatório, também devem ser macromedidas.

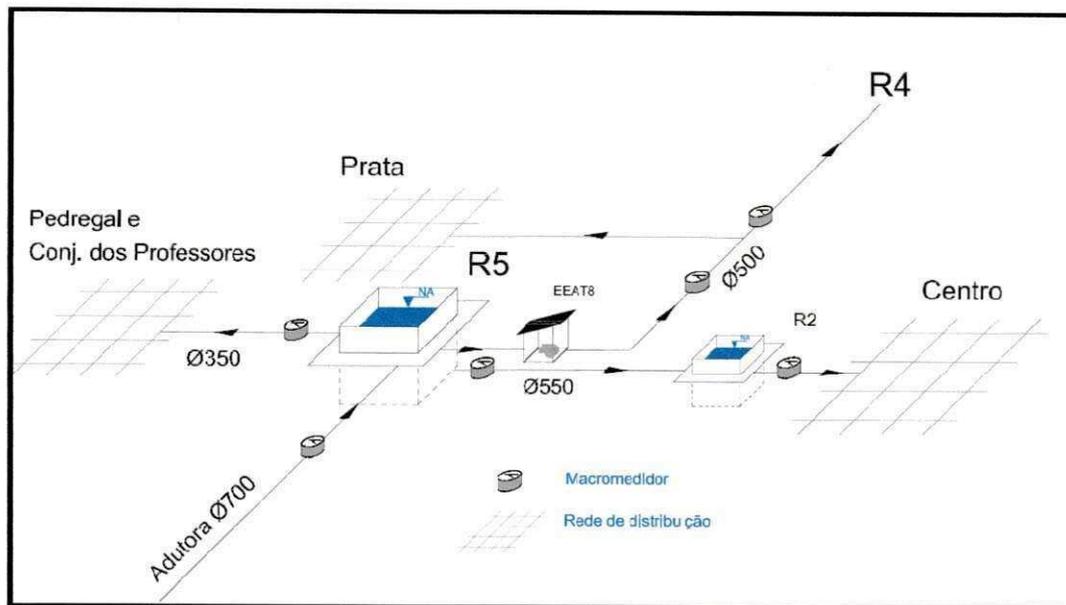


Figura 5.5 – Identificação de necessidade de ponto de macromedição de vazão no R-05.

Tabela 5.3 - Levantamento da necessidade da macromedição para a zona de pressão A.

Unidade	Instalação de macromedidores de vazão		Objetivos
	Quantidade	Local	
R-09	3 unidades	Tubulação de entrada das adutoras	Identificar o volume útil para distribuição e verificar qual o percentual que ficou nas derivações. Identificar o percentual da adutora de DN 700 que está ficando no R-09.
	1 unidade	Tubulação de DN 700 que alimenta a zona de pressão D e subzonas da zona de pressão A	Identificar o volume que está sendo disponibilizado para a zona de pressão D e as subzonas da zona de pressão A.
	1 unidade	Tubulação de DN 700 que alimenta subzonas da zona de pressão A, incluindo o R-15.	Identificar o consumo das subzonas.
R-15, R-18	2 unidades	Tubulações de distribuição a jusante dos reservatórios	Identificar o consumo das subzonas.
EE-7	1 unidade	Tubulação do recalque para o R-18.	Identificar a vazão disponibilizada para o Conjunto Mutirão.

Para a unidade do R-04, foram previstos 5 medidores, conforme demonstra a Figura 5.6. O reservatório, além de abastecimento direto por gravidade às zonas B e C, também funciona como poço de sucção para outros subsistemas. Deste modo, para o controle da

operação, faz-se necessário conhecer o perfil de consumo de cada subzona e os valores das vazões disponíveis.

Tabela 5.4 - Levantamento da necessidade de macromedição para as zonas de pressão atendidas diretamente das adutoras.

Unidade	Instalação de macromedidores de vazão		Objetivos
	Quantidade	Local	
R-06	1 unidade	Chegada da subadutora.	Identificar a vazão disponibilizada para o R-06
	1 unidade	Saída do R-06	Determinar o consumo da subzona, incluindo o distrito Industrial de Campina Grande, o R-17 e o distrito de Galante.
R-07	1 unidade	Saída do R-17	Determinar o consumo do distrito industrial de Queimadas.
R-19	1 unidade	Saída do reservatório.	Determinar o consumo do distrito industrial da alça sudoeste.
R-28	1 unidade	Tubulação de saída do reservatório	Determinar o consumo do Conjunto Nenzinha Cunha Lima.

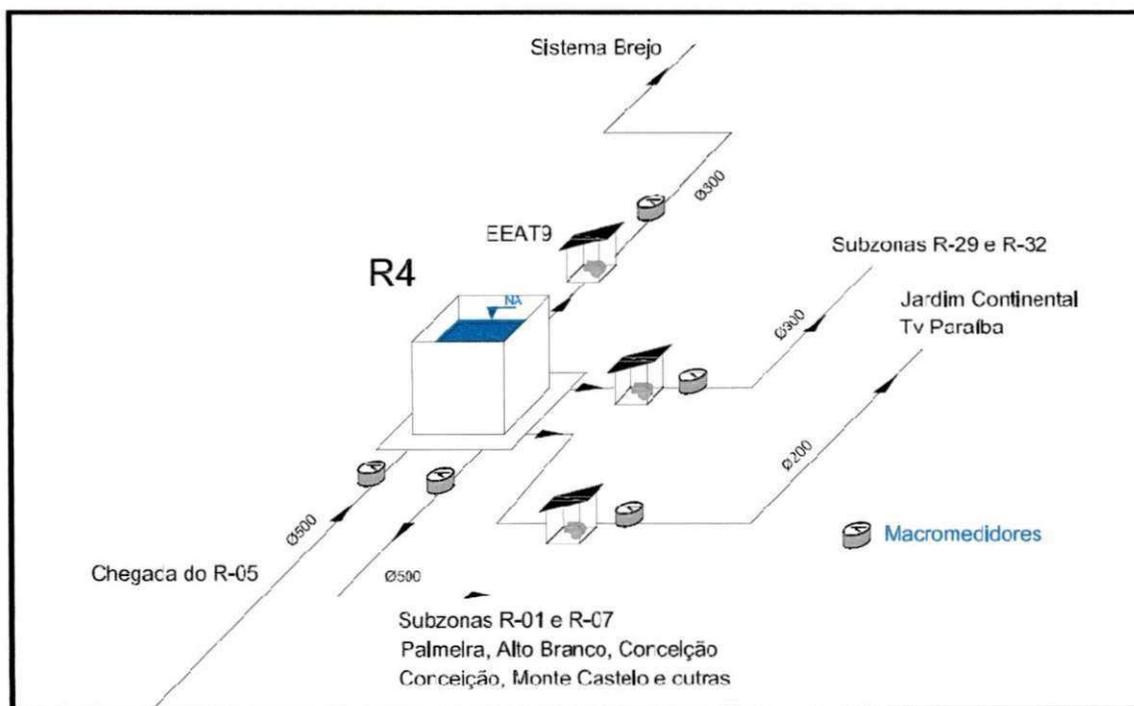


Figura 5.6 – Identificação de necessidade de ponto de macromedição de vazão no R-04.

Tabela 5.5 - Levantamento da necessidade da macromedição para as zonas de pressão B e C.

Unidade	Instalação de macromedidores de vazão		Objetivos
	Quantidade	Local	
R-04	1 unidade	Chegada da subadutora do R-05, com diâmetro DN 500.	Identificar o volume disponível para a zona C e verificar se há perdas na subadutora.
	1 unidade	Saída da elevatória do sistema do Brejo.	Identificação da vazão disponibilizada para as 6 localidades do sistema do Brejo.
	1 unidade	Saída da tubulação de recalque para o R-29.	Identificação das vazões disponíveis para as subzonas dos reservatórios R-29 e R-32.
	1 unidade	Saída da tubulação do bombeamento para a Tv Paraíba e Jardim Continental.	Identificação das vazões disponíveis para as subzonas dos reservatórios R-29 e R-32.
	1 unidade	Saída da tubulação do R-04.	Identificação da vazão disponibilizada para as subzonas que são atendidas por gravidade e também os outros reservatórios.
R-05	1 unidade	Chegada da adutora DN 700.	Identificar o volume de chegada no R-04 e perdas no trecho desde o R-09.
	1 unidade	Tubulação de DN 350, na saída para subzona do Pedregal e Conj. dos Professores.	Identificar a vazão disponibilizada para a subzona.
	2 unidades	Tubulação de recalque DN 500	Identificar a vazões disponibilizadas para o R-04 e para o abastecimento em marcha.
	1 unidade	Tubulação por gravidade de DN 550 para o R-02.	Identificar vazão disponibilizada para a subzona do R-02.
EEAT-12	1 unidade	Tubulação de recalque.	Verificar a vazão disponibilizada para o Condomínio Residence Privê
R-35	1 unidade	Rede de distribuição.	Calcular o consumo do Condomínio Residence Privê.
EEAT-11	1 unidade	Tubulação do recalque.	Verificar a vazão disponibilizada para o Condomínio o Bairro das nações, a partir do R-07.
R-07	1 unidade	Tubulação de distribuição.	Identificar o consumo da subzona.
R-29 e R-32	2 unidades	Tubulação de distribuição.	Caracterizar o consumo de cada subzona.
EEAT-16	1 unidade	Tubulação de recalque.	Identificar a vazão disponibilizada para o R-32.
R-38	1 unidade	Adutora, DN 300, oriunda do R-04.	Identificar a vazão disponibilizada para o sistema do Brejo e a perda entre o R-04 e o R-38.
	3 unidades	Tubulações que alimentam, respectivamente, as localidades de São Sebastião de Lagoa de Roça, parte de Lagoa Seca e ainda, a outra parte e ainda Matinhas e Alagoa Nova.	Determinar o consumo de cada subzona.

Tabela 5.6 - Levantamento da necessidade da macromedição para a zona de pressão D.

Unidade	Instalação de macromedidores de vazão		Objetivos
	Quantidade	Local	
EE-3	1 unidade	Chegada da tubulação de alimentação, oriunda do R-09.	Identificar a vazão disponibilizada para a Zona de pressão D.
	4 unidades	Tubulação de recalque para os reservatórios R-10, R-11, R-12 e R-13.	Identificar o volume que está sendo disponibilizado para cada subzona.
R-10, R-11 e R-12.	3 unidades	Tubulações de distribuição a jusante dos reservatórios	Identificar o consumo de cada subzona.
R-13	1 unidade	Tubulação de distribuição para subzona	Identificar o volume que está sendo disponibilizado para a região urbana.
	1 unidade	Rede para a EE-4 e para a zona rural	Identificar o volume que está sendo disponibilizado para a subzona do R-14 e para a região rural que é atendida a partir do R-13.
EE-4	1 unidade	Recalque para o R-14	Identificar a vazão da estação elevatória.
R-14	1 unidade	Tubulação principal de distribuição	Identificar o perfil de consumo a partir do R-14, incluindo o consumo da zona rural.
R-14	1 unidade	Subadutora para estação elevatória do Arruda.	Identificar a vazão disponibilizada para a cidade de Pocinhos e o distrito do Arruda.
EE - Arruda	1 unidade	Recalque para o R-22, cidade de Pocinhos.	Identificar o consumo do subsistema da cidade de Pocinhos.
R-22	1 unidade	Subadutora para o R-23 e comunidade Bela Vista.	

A Figura 5.7 apresenta a definição da macromedição para o R-09. Este é o principal reservatório do sistema. Diante disso, devem ser implantados medidores na chegada de cada uma das três adutoras. Assim, se terá o conhecimento da vazão disponível para as quatro zonas e ainda identificar-se-á o volume consumido nas derivações a montante do R-09.

No cálculo das perdas do sistema, utiliza-se a macromedição e a micromedição. Assim, com relação ao segundo item, objetiva-se reduzir o número de ligações não medidas e o de ligações submedidas. Uma das principais ações a adotar é a ampliação do parque de medidores, uma vez que a vida útil dos hidrômetros é de no máximo 5 anos.

A macromedição é fator primordial para subsidiar a definição de melhores formas de operação do sistema.

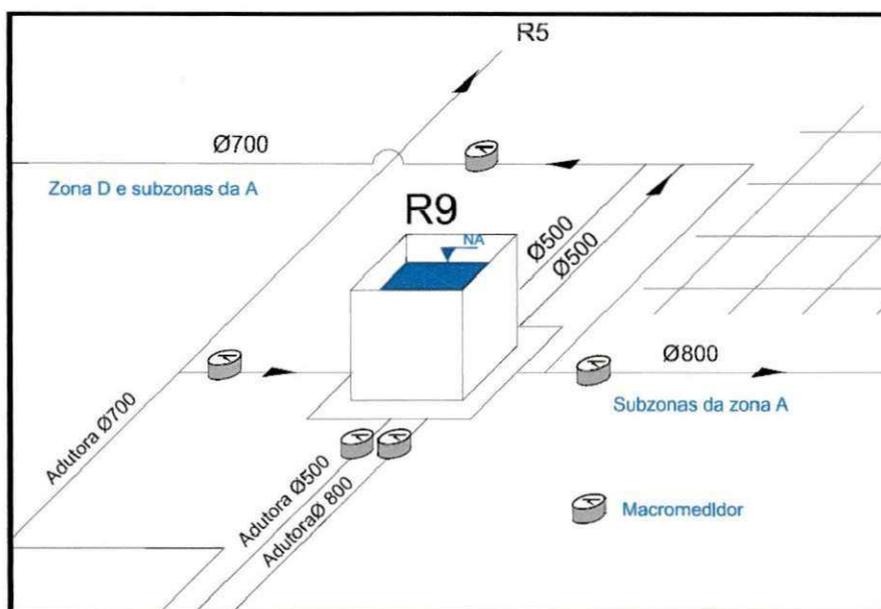


Figura 5.7 – Identificação de necessidade de ponto de macromedição de vazão no R-09.

A Tabela 5.7 apresenta dados referentes à micromedição da cidade de Campina Grande no período de 2007 a 2010. O número de ligações cadastradas aumentou em 8.397 unidades. Já, o de ligações funcionando cresceu 7.838 unidades. Verifica-se que o número de ligações desligadas manteve-se sempre num valor elevado, indicando a necessidade de implantação de um programa de fiscalização constante por parte da concessionária. O percentual de ligações com medidores manteve-se praticamente o mesmo ao longo dos anos. Porém, isso não é garantia de que a micromedição está conseguindo medir todo o volume consumido, pois, se deve observar a vida útil dos hidrômetros (não se teve acesso a informações sobre o tempo de instalação dos mesmos).

Tabela 5.7 - Comportamento do crescimento das ligações de água do SACG (CAGEPA, 2011).

Mês/ano	Medição (%)	Desligamento (%)	Número de ligações			Ligações em funcionamento	
			Cadastradas	Funcionando	Cortadas	Com hidrômetro	Sem hidrômetro
Dez/10	88,87	10,69	116.948	104.446	12.502	103.928	518
Dez/09	87,88	11,54	115.141	101.852	13.289	101.191	661
Dez/08	88,09	11,73	112.352	99.172	13.180	98.974	198
Nov/07	88,78	11,00	108.551	96.608	11.943	96.371	237

Diante disso, diagnosticou-se que referente à micromedição, três ações básicas devem ser implementadas:

- Elaboração de planejamento para substituição de hidrômetros com mais de 5 anos de uso;
- Fiscalização das ligações que se encontram cadastradas como cortadas;
- Fiscalização periódica nas ligações de água das áreas rurais.

Dessa forma, pela nossa análise, seriam necessários 49 macromedidores e 16.107,2 micromedidores para um controle efetivo dos consumos e uma melhor análise das perdas no sistema. Em função dos custos deveria ser elaborado um plano para a implantação dos mesmos em um período de 5 anos, priorizando as áreas mais críticas em monitoramento.

5.1.4.5 Manutenção preventiva e corretiva

Verificou-se que a manutenção das redes de distribuição do SACG é predominantemente de ordem corretiva e, objetiva prioritariamente, a retirada de vazamentos em tubulações e consertos de válvulas controladoras de fluxo. A Figura 5.8 apresenta o comportamento dos serviços de retirada de vazamentos em redes distribuidoras, ramais prediais e em conexões de hidrômetro, para a cidade de Campina Grande no ano de 2009.

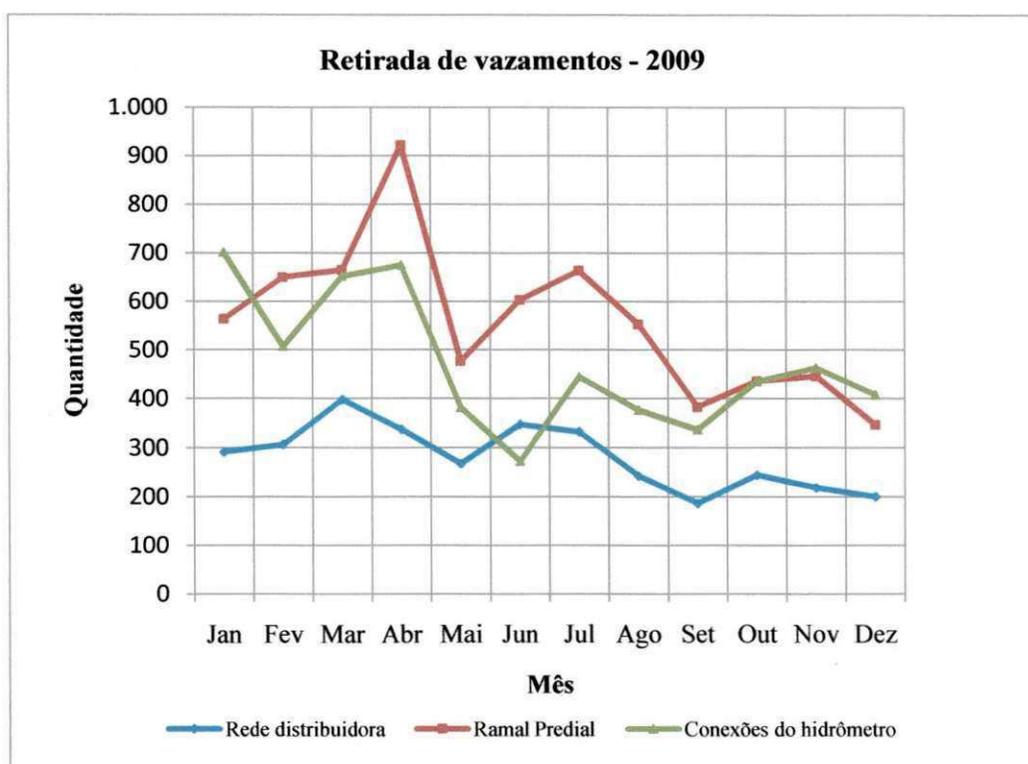


Figura 5.8 - Quantitativos dos serviços de retirada de vazamentos na cidade de Campina Grande (CAGEPA, 2010).

Os serviços de tomada de vazamentos em ramais prediais foram os que apresentaram os maiores números em quase todos os meses do ano em estudo. Em seguida, aparecem os vazamentos nas conexões (luvas de correr, adaptações, curvas, tubetes, etc.) e o das redes distribuidoras.

Os resultados da Figura 5.8 não indicam que os números são de todos os vazamentos que surgiram durante o período (podem ter surgido mais), mas sim, representam a capacidade de trabalho das equipes de manutenção. Porém, tais números podem ser utilizados para a análise da influência deles (e dos vazamentos) na operação do sistema.

A Tabela 5.8 demonstra que a média diária de retirada de vazamentos em rede de distribuição atingiu o menor valor, 6,23, em setembro, e o maior, no mês de março, 12,84. A cada execução de um serviço na rede, uma determinada área fica desabastecida. Caso não haja setorização da distribuição e a existência e funcionamento de válvulas de manobras, a área desabastecida é ainda maior, aumentando o tempo de regularização do abastecimento, além do aumento da perda, devido ao esvaziamento das redes. Por outro lado, quando do retorno da operação das redes, podem surgir outros vazamentos, originados de sobrepressão.

Tabela 5.8 - Vazamentos retirados da rede de distribuição no ano de 2009 (CAGEPA, 2011).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Quantidade	292	307	398	338	268	348	333	243	187	245	219	201
Média diária	9,42	10,96	12,84	11,27	8,65	11,60	10,74	7,84	6,23	7,90	7,30	6,48

Constatou-se que, nas subzonas que abastecem o bairro do Catolé (zona D) e o José Pinheiro, Santo Antonio e o Monte Castelo (zonas B e C), há necessidade de substituição de válvulas de manobra sem condições mecânicas de uso e a instalação de novas, uma vez que outras foram aterradas devido aos serviços de pavimentação asfáltica das vias públicas e ainda se exige a definição de novas setorizações da rede que sofreu expansão. Na ocorrência de vazamentos nessas áreas, as válvulas das tubulações alimentadoras principais são fechadas, de modo que uma grande área fica desabastecida, por um longo período.

Outros vazamentos de rede relacionam-se à necessidade de reabilitação das tubulações, a exemplo das ocorrências no bairro do Alto Branco, com grande incidência de tubos de cimento amianto.

O surgimento de vazamentos nos ramais prediais e conexões dos hidrômetros estão associados principalmente à qualidade do material e da mão-de-obra utilizados.

Os resultados apresentados sobre os serviços de recuperação de vazamentos permitem, preliminarmente, constatar que existem sérios problemas das perdas físicas na rede de distribuição do SACG. Há perdas, devido aos rompimentos na tubulação da rede, que, na maioria das vezes, são perceptíveis e desperdiçam maior volume de água; devido aos vazamentos nos ramais e nas conexões do hidrômetro, muitas vezes imperceptíveis e principalmente na retirada dos vazamentos de rede, pois constatou-se que diversas subzonas não dispõem, atualmente, de válvulas controladoras de fluxo, e faz-se necessário o esvaziamento de grandes trechos de tubulação, às vezes, até de toda a zona de pressão.

5.2 Diagnóstico da operação

5.2.1 Regime operacional atual

A maioria das unidades do sistema trabalha 24 horas/dia. No entanto, algumas unidades são operadas por um tempo menor, devido a fatores como necessidade e/ou deficiências do sistema. Como o SACG não é automatizado, há a presença de operadores nas principais unidades, que se revezam em turnos de 12 horas, com folga mínima de 36 horas, para prestarem suas atividades laborativas.

5.2.2 Controle operacional

O controle da operação é centralizado. As decisões operacionais são tomadas a partir do CCO, mediante o recebimento de informações de cada unidade operacional em que há operador. O contato do CCO com as unidades é realizado por meio de rádio ou telefone.

Todas as interferências nas unidades são realizadas de forma manual pelos operadores: acionamento e desligamento de bombas, abertura e fechamento de válvulas.

As válvulas de controle na rede de distribuição são manuseadas pelas equipes de manobristas (disponíveis 24 horas/dia) que são sempre acionadas pelo CCO. Na maioria das vezes, as ocorrências são devido a vazamentos e rompimentos das tubulações. Há sempre equipes de plantão nos fins de semana, feriados e no período noturno. Durante a noite, a equipe plantonista atua principalmente na retirada de vazamentos em ramais prediais; caso haja vazamentos em redes, as válvulas são fechadas e os serviços são realizados na manhã seguinte.

As tomadas de decisão são baseadas na experiência dos operadores do CCO, sob o cumprimento de regras básicas: níveis mínimo e máximo de reservatórios (principalmente o R-09 e o R-05) e quantidade de bombas que se pode acionar nos horários de ponta e fora de ponta. Além disso, o acionamento de bombas e o fechamento e abertura de válvulas dependem de ações manuais. Embora já exista um cadastro técnico da rede, ainda há incertezas nas informações. Assim, sob esses aspectos, as atividades de supervisão do controle operacional tornam-se essenciais, no intuito de minimização do surgimento de falhas.

O operador do CCO assume papel essencial no controle do sistema, sendo ele quem toma as decisões e quem informa aos os diversos setores da empresa (entre eles, a Assessoria de Comunicação, Centro de Atendimento ao Público, Gerência de Controle Operacional, Subgerências de Manutenção e Controle de Qualidade) a situação atual. Diariamente é enviado por e-mail dois boletins (às 09:00 h e às 16:00 h) com as áreas desabastecidas e a previsão de regularização do abastecimento. Além das informações ficarem registradas na planilha de operação, as principais orientações constam em um Quadro de anotações, apresentando as observações necessárias para o turno seguinte.

5.2.3 Áreas com falhas no abastecimento

Foi realizado diagnóstico para identificação das áreas do SACG onde há dificuldades de abastecimento, ou seja, as regiões onde os critérios hidráulicos de pressão mínima (10 mca) e vazão disponível para a demanda não são atendidos no sistema. Conforme a metodologia deste trabalho, analisaram-se projetos, gráficos de registradores de pressão, cadastros técnicos, as planilhas do controle operacional, os registros de reclamações dos usuários e visitas às localidades.

Os resultados estão no Quadro 5.2. As informações diagnosticadas indicam que, a cada ano, os problemas vêm aumentando, haja vista o crescimento rápido e desordenado das regiões e, principalmente, porque o sistema de abastecimento não vem acompanhando o crescimento, tanto no aspecto da ampliação de suas unidades produtoras e distribuidoras como na melhoria dos processos operacionais e minimização de perdas.

Quadro 5.2 - Áreas do SACG com dificuldades no abastecimento de água.

Localidade	Zona de Pressão	Problema	Possíveis causas	Possíveis soluções
Áreas rurais do distrito de São José da Mata: Sítio Grotão, Tambor, Lagoa de João Gomes, Sítios Bosques I, II e III, Monte Alegre, Gabriel, Serra de Joaquim Vieira, Covão, Boi Velho e Capim Grande.	Zona de pressão D. Subzona a partir do reservatório R-14.	Abastecimento intermitente.	Área fora da subzona a partir do R-14. Vazão disponível menor que a demanda. Parte das tubulações principais tem diâmetros iguais a DN 50 e há redes com 32 mm, 25 mm e 20 mm. Por ser zona rural, as redes e ligações domiciliares são diferentes do padrão urbano, o que facilita o surgimento de irregularidades, como desvios, ligações clandestinas e interferências no hidrômetro.	Ampliação do sistema que atende às subzonas a partir da EE-3. Substituição de redes de alimentação, aumentando a seção de escoamento e ainda substituir todas aquelas com valores inferiores a DN 50. Fiscalização rigorosa com o intuito de encontrarem-se ações de roubo de água e manutenção da micromedição em boas condições de funcionamento.
Áreas rurais próximas ao bairro de Bodocongó: Félix Amaro, Gaspar, Cajazeiras e Lagoa de Dentro.	Zona de pressão D. Subzona a partir do reservatório R-13.	Abastecimento intermitente.	Área fora da subzona a partir do R-13. Vazão disponível menor que a demanda. Parte das tubulações principais tem diâmetros iguais a DN 50 e há redes com 32 mm, 25 mm e 20 mm. Por ser zona rural, as redes e ligações domiciliares são diferentes do padrão urbano, o que facilita o surgimento de irregularidades, como desvios, ligações clandestinas e interferências no hidrômetro.	Ampliação do sistema que atende às subzonas a partir da EE-3. Substituição de redes de alimentação, aumentando a seção de escoamento e ainda substituir todas aquelas com valores inferiores a DN 50. Fiscalização rigorosa com o intuito de encontrarem-se ações de roubo de água e manutenção da micromedição em boas condições de funcionamento.
Bairro das Cidades, Catingueira e Catolé de Zé Ferreira	Parte através da zona de pressão A e parte diretamente da adutora DN 500.	Abastecimento intermitente.	Vazão disponível menor que a demanda, devido principalmente ao crescimento populacional, impulsionado pelo grande número de edificações populares construído na área.	Disponibilização de vazão através de ampliação do subsistema.
Conjunto Mutirão	Zona de pressão D, a partir da EE-7.	Abastecimento das 5:00 às 12:00 h.	Área fora da zona de pressão. A solução encontrada foi a implantação de uma elevatória a partir da rede de distribuição do Bairro das Malvinas. Porém, o seu funcionamento prejudica o funcionamento dos conjuntos Sonho Meu e Meu Sonho.	Implantação de subzona a partir da zona de pressão D para os conjuntos habitacionais Sonho Meu e Meu Sonho.

Quadro 5.2 - Continuação.

Localidade	Zona de Pressão	Problema	Possíveis causas	Possíveis soluções
Distrito de Galante.	Zona A. Subzona a partir do reservatório R-6	Abastecimento intermitente.	Zona rural, atendida a partir da adutora de Galante. Fora da zona de abastecimento.	Ampliação do sistema e fiscalização nas redes da zona rural.
Conjunto Jardim Meneses, distrito de Galante	Zona A. Subzona a partir do reservatório R-6	Abastecimento intermitente.	A cota máxima da área onde o conjunto está situado tem apenas uma diferença de 4 m em relação ao fundo do reservatório do sistema de Galante.	Implantação de booster.
Sítios Jorge, Caridade, Aragão, e distrito de Santa Terezinha	Zona de pressão A. Subzona a partir do R-15.	Abastecimento intermitente e pressões abaixo do valor mínimo.	A oferta não consegue atender a demanda.	Melhoria da micromedição, fiscalização nos trechos rurais, substituição de redes e aumento da vazão.
Cidade de Pocinhos	Zona de pressão D, a partir da EE-Sítio Arruda, alimentada pelo R-14.	Abastecimento intermitente. A cidade foi dividida em 6 setores, onde cada um é atendido por 24 h, e os demais ficam desabastecidos.	A vazão disponibilizada não atende a demanda. Além disso, com o atendimento da zona rural de São José da Mata, o R-14 é operacionalizado no seu nível máximo, de modo que a EE- Arruda durante o dia funciona com um conjunto motobomba com vazão menor. O distrito do Arruda passou também a ser abastecido a partir de 2007.	Ampliação do sistema que atende às subzonas a partir da EE-3.
Cidades de Alagoa Nova, Lagoa Seca, Matinhas, São Sebastião de Lagoa de Roça e o distrito de Floriano e Chã dos Marinheiros, atendidas pelo sistema do Brejo.	Zona C, com alimentação da estação elevatória no R-04 e abastecimento a partir do reservatório apoiado em Lagoa Seca.	Abastecimento intermitente. Com realização de manobras e agendamento do fornecimento de água.	A vazão produzida atualmente de 67 l/s não consegue atender a demanda. O sistema foi previsto para abastecer apenas Alagoa Nova, Lagoa Seca e Matinhas. Em Alagoa Nova há um trecho de tubulação de ferro fundido que precisa ser reabilitado. Devido aos efeitos da tuberculização, teve sua seção de escoamento reduzida. Áreas rurais estão sendo abastecidas. A média de micromedição é de 54%.	Ampliação do sistema, fiscalização nas ligações rurais e melhoria na micromedição.

5.3 Simulação da operação do sistema adutor EEAT-Gravatá

5.3.1 Curva de demanda

Foram elaboradas curvas que representam a produção de água e o consumo médio horário para os 12 meses do ano de 2009, conforme a metodologia adotada para este trabalho, que se apresentou como a mais adequada, principalmente, devido à inexistência de macromedição para cada zona de pressão.

A demanda representa o consumo dos usuários (residenciais, comerciais, industriais e públicos), das perdas físicas de água, e como a estimativa é realizada em função da entrada e saída de água do R-09 e do R-05, representa também a água que está sendo armazenada nos reservatórios das subzonas e no “enchimento” de redes de distribuição.

O perfil de consumo médio horário para o ano de 2009 está na Figura 5.9.

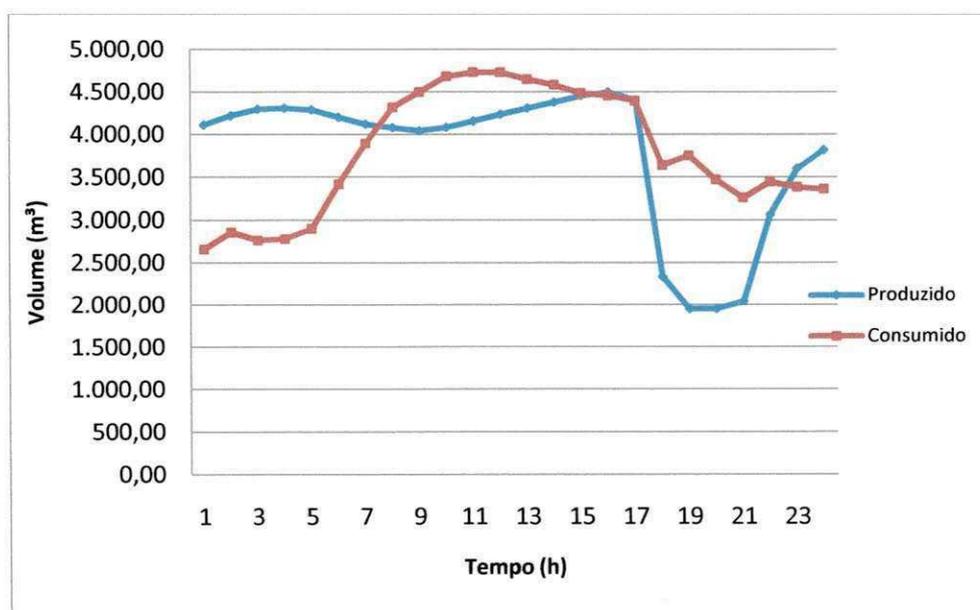


Figura 5.9 - Variação média do consumo x produção para o ano de 2009.

A demanda média encontrada para o sistema foi de 1.041 l/s. Desse modo, a curva de demanda média seguiu um mesmo padrão ao longo de todos os meses do ano.

No período da 0:00 às 6:00 h, verifica-se que o volume produzido pelo bombeamento é superior ao consumido, indicando que é o horário quando ocorrem os menores consumos do sistema e conseqüentemente há o processo de acumulação de água nos reservatórios que alimentam as 4 zonas do sistema. Os consumos do horário são da ordem de 69% (a 1:00 h) a

91% (às 6:00 h) do valor médio. Ressalta-se que o citado consumo não é apenas dos usuários diretos, mas o consumo efetivo, as perdas e os desperdícios.

No intervalo das 07:00 h às 13:00 h, o valor consumido é bem superior à produção do sistema. Este é o horário de maior consumo do sistema. A água reservada durante o período anterior permite o atendimento da demanda elevada, conforme verificado na curva da Figura 5.9.

No período das 15:00 h às 17:00 h, há uma tendência das curvas de produção e consumo coincidirem. Aqui a produção de água deve ser o maior valor possível, pois há redução da produção no horário de ponta, que inicia às 17:30 e termina às 20:30 h.

No horário de ponta, o valor consumido é bem superior ao produzido, mesmo o consumo sendo inferior à média.

Observando-se as curvas para todos os meses, um mesmo perfil manteve-se ao longo do ano com pequenas alterações pontuais e aumento do consumo em alguns períodos. Os maiores consumos foram encontrados para os meses de novembro e dezembro. Mas não se atingiram valores demasiadamente maiores que os meses anteriores. Talvez a razão para tal fato seja característica climática da época que altere o consumo de água na região.

Dessa forma, a Figura 5.9 apresenta as curvas que representam o consumo e a produção médios de água tratada para o SACG, durante todo o ano de 2009. São esses valores que servirão para a modelagem do sistema e terão papel importante nas simulações. A partir dos valores médios horários, foi elaborada a curva de demanda para o sistema, que está na Figura 5.10.

Os valores dos coeficientes de consumo serão utilizados nas simulações com o modelo EPANET. Desse modo, todos os meses tiveram o mesmo perfil para o consumo do sistema.

Ressalta-se que os valores encontrados para o consumo, durante o período da madrugada, entre 60% e 75% da média, representam o consumo de todo o sistema: consumidores, perdas, desperdícios, acumulação nos reservatórios particulares e públicos, e enchimento das tubulações, pois o estudo foi realizado para os reservatórios (R-09 e R-05) que alimentam todas as zonas e subzonas do SACG.

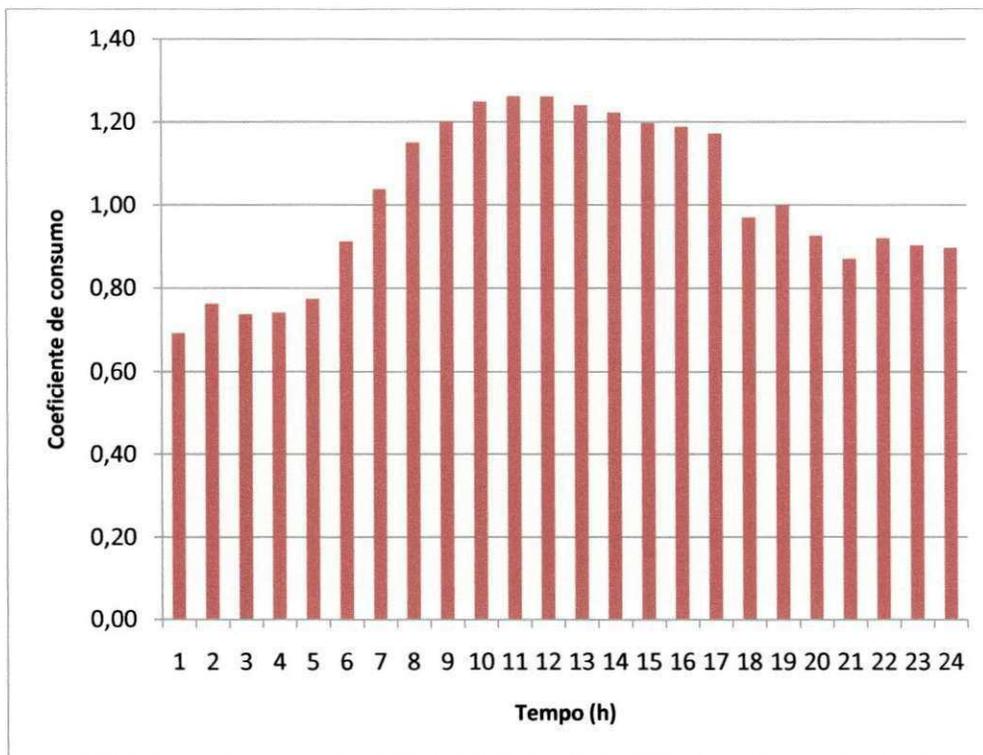


Figura 5.10 - Padrão de consumo para o SACG.

5.3.2 Simulações

Para a realização das simulações hidráulicas, selecionou-se o sistema adutor, que é responsável por cerca de 50% do custo de energia do SACG. Além disso, todas as zonas de abastecimento do sistema dependem da água produzida na EEAT-Gravatá, que é conduzida através das adutoras de DN 500, 700 e 800 e dos volumes acumulados nos reservatórios R-09 e R-05. Assim, a tomada de decisão para todo o sistema depende principalmente das condições do sistema adutor.

Independente dos objetivos a serem alcançados, as regras a serem aplicadas na operação do sistema deve atender aos critérios de limites hidráulicos (pressões, velocidades, níveis, etc.), atendimento da demanda e custos operacionais, que neste trabalho foram relativos à despesa com energia elétrica.

Dessa forma, são apresentados a seguir os resultados e análises para simulações nas seguintes situações:

- Busca do melhor agendamento operacional diário;
- Horário para realização de manutenção preventiva com suspensão do funcionamento da EEAT-Gravatá em um período de 2 horas;

- Verificação da possibilidade de suspender a operação da EEAT- Gravatá durante o horário de ponta (17:30 h às 20:30 h).

Neste trabalho, foram realizadas 120 simulações.

5.3.2.1 Agendamento operacional diário

Nesse trabalho, a melhor operação para o sistema deve ser aquela em que as pressões são atendidas (no caso em estudo, as pressões mínimas consideradas são aquelas vinculadas aos níveis mínimos do R-09 e do R-05 e tais valores foram fornecidos pela CAGEPA), a demanda é atendida (considera-se a demanda do sistema, que envolve o consumo do usuário, enchimento de redes e reservatórios e perdas do sistema), funcionamento dos conjuntos motobombas das elevatórias com a menor potência possível e o menor número de acionamentos liga/desliga das bombas.

Como o envio e recebimento das informações operacionais do SACG ocorrem a cada hora, as regras devem levar em conta esse intervalo de tempo.

Dentre inúmeras simulações realizadas, foram selecionadas 15 para as análises. As regras gerais estão dispostas no Quadro 5.3. A Tabela 5.9 apresenta o resultado de 14 simulações (realizadas para um período de 24 horas), apresentando todas as características necessárias para as análises: condições iniciais e finais para os níveis dos reservatórios R-09 e R-05 e tempo de funcionamento para cada bomba.

Quadro 5.3- Descrição das condições adotadas nas simulações da EEAT- Gravatá.

Condição	Descrição da operação
1	Para a EEAT- Gravatá, no horário de ponta (17:30 às 20:30 h) funcionam as bombas B-500 e B1-700, estando desligadas as B2-700, B1-800 e B2-800.
2	Para a EEAT- R-05, no horário de ponta funciona a bomba B2_R5 e no fora de ponta, a B3_R5.
3	Quando o R-09 atinge o nível de 5,10 m, a bomba B2-800 é desligada e a B1-800 é ligada.
4	Quando o R-05 atinge o nível de 3,6 m toda a vazão da adutora de DN 700 é destinada ao R-09.
5	B1-700 e B2-700 não funcionam concomitantemente.
6	B1-800 e B2-800 não funcionam concomitantemente.

Das 15 simulações analisadas, 14 atenderam aos critérios de pressão e demanda. As principais alterações operacionais ocorreram nas bombas B1-800 e B2-800. A bomba B-500 funciona durante as 24 horas, uma vez que a elevatória da adutora de DN 500 só dispõe dela e também devido à existência de derivações a montante do R-09. Para a adutora de DN 700, na maior parte do tempo, utilizou-se a B2-700, pois há a possibilidade de transferência de vazão para o R-09 e, além disso, há também derivações a montante deste reservatório.

Como não houve grandes variações no funcionamento das bombas B1-700 (esta só funcionou no horário de ponta) e B2-700, o nível final do R-05 manteve-se igual em todas as simulações (3,39 m). Assim, o funcionamento das bombas B1-800 e B2-800 foi o principal fator de interferência nos principais resultados das simulações.

A simulação que apresentou os maiores níveis para os reservatórios R-09 e R-05, após as 24 horas, foi a de número 3, com os valores, respectivamente iguais a 4,67 m e 3,39 m. A bomba B-500 funcionou todas as 24 horas, inclusive o horário de ponta. Para a adutora de DN 700, a B1-700 trabalhou 3 horas (durante o horário de ponta) e a B2-700, 21 horas. A Figura 5.11 apresenta a variação dos níveis dos reservatórios ao longo da simulação 3.

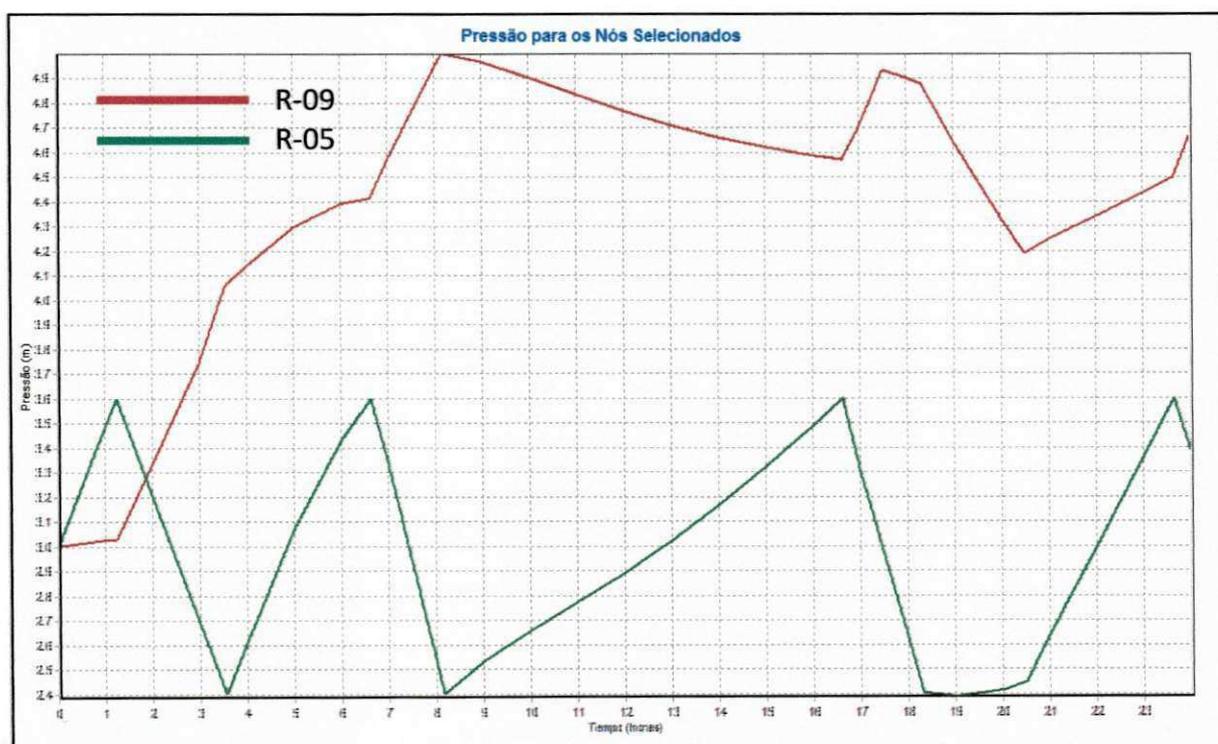


Figura 5.11 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 3.

Tabela 5.9 - Resultados das simulações para definição do agendamento operacional diário.

SIMULAÇÃO	CONDIÇÕES						FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS EEAT-GRAVATÁ									
	INICIAIS				FINAIS		B-500		B1-700		B2-700		B1-800		B2-800	
	Nível (m)				Nível (m)		Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)
	R-09		R-05		R-09	R-05										
	Mínimo	Inicial	Mínimo	Inicial	R-09	R-05										
1	2,50	3,00	1,30	3,00	3,75	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	06:30 às 15:30	9	0 às 06:30; 15:30 às 17:30; 20:30 às 24:00	12
2	2,50	3,00	1,30	3,00	3,6	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	06:30 às 16:30	10	0 às 06:30; 16:30 às 17:30; 20:30 às 24:00	11
3	2,50	3,00	1,30	3,00	4,67	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 3:00	3	3:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	18
4	2,50	3,00	1,30	3,00	4,52	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 4:00	4	4:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
5	2,50	3,00	1,30	3,00	4,37	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 5:00	5	5:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	16
6	2,50	3,00	1,30	3,00	4,22	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 6:00	6	6:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	15
7	2,50	3,00	1,30	3,00	4,08	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 7:00	7	7:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	14
8	2,50	3,00	1,30	3,00	3,93	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 8:00	8	8:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	13
9	2,50	3,00	1,30	3,00	3,78	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 9:00	9	9:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	12
10	2,50	3,00	1,30	3,00	3,63	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 10:00	10	10:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	11
11	2,50	3,00	1,30	3,00	3,48	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 11:00	11	11:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	10
12	2,50	3,00	1,30	3,00	3,32	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 12:00	12	12:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	9
13	2,50	3,00	1,30	3,00	3,17	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 13:00	13	13:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	8
14	2,50	3,00	1,30	3,00	3,02	3,39	0:00 às 24:00	24	17:30 às 20:30	3	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0 às 14:00	14	14:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	7

Durante toda a simulação, o R-09 manteve seu nível acima de 3,0 metros, principalmente porque, a partir das 3:00 h, passou a receber a contribuição da bomba B2-800. A partir das 7:00 h, a demanda já passou a ser maior que o valor médio diário, mas mesmo assim, o reservatório acumulou água até as 8:00 h, chegando a 5,0 m, suportando, portanto, o período de maior consumo, que vai das 11:00 às 15:00 h. A reserva existente permitiu chegar ao fim deste período com nível satisfatório e, no final da simulação, o nível supera o valor inicial. O R-05 também apresentou boas condições de armazenamento, atingindo o seu menor nível (2,39 m) às 19:00 h, no horário de ponta e o maior, 3,60 m em quatro horários: 1:14 h, 6:38 h, 16:38 h e 23:38 h. Após o R-05 atingir 3,60 m, toda a vazão é destinada ao R-09, só retornando quando atingir 2,40 m.

A simulação 14 foi aquela que apresentou os menores níveis para os reservatórios R-09 e R-05 após as 24 h. O R-09 chegou a 3,02 m e o R-05 a 3,39 m. O principal fator de interferência foi o tempo de operação das bombas B1-800 e B2-800. A B2-800 funcionou apenas 7 horas, enquanto que a B1-800, 14 horas, o que já evidencia a possibilidade de economia de energia elétrica. A Figura 5.12 apresenta a variação dos níveis dos reservatórios ao longo da simulação. O R-09 atingiu seu menor nível, 2,53 m, às 20:30 h, término do horário de ponta. Tal valor é bem próximo do limite mínimo de 2,50 m. No início do horário de ponta, o reservatório apresentava-se com 3,27 m. Um valor menor que esse contribuiria para o não atendimento da pressão mínima.

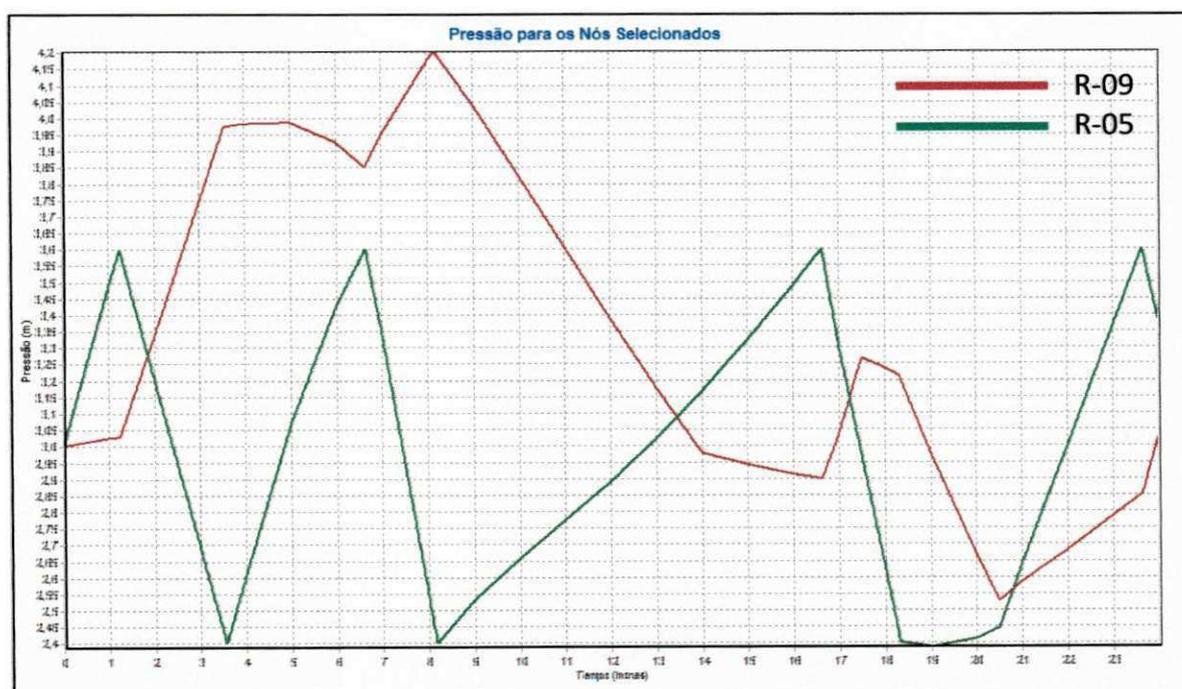


Figura 5.12 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 14.

No que se refere ao número de desligamentos das bombas, as simulações 1 e 2 apresentaram 2, para a B2-800, além de 1 para a B1-800, B1-700, e B2-700. Nas demais simulações, igualmente ao caso anterior, com a bomba B2-800 parando 2 vezes. As Figuras 5.13 e 5.14 demonstram o funcionamento das bombas nas simulações 2 e 3, respectivamente. A bomba B-500 não sofreu nenhum desligamento, indicando que nesta situação haverá um maior desgaste mecânico, pois não há conjunto reserva instalado. Na simulação 2, a bomba fica funcionando por um período maior. Percebe-se que o agendamento das simulações realizadas prevê um pequeno número de ações de acionamento liga/desliga, contribuindo para a permanência de um bom estado de conservação dos conjuntos motor-bomba, exigindo apenas a realização de manutenção preventiva.

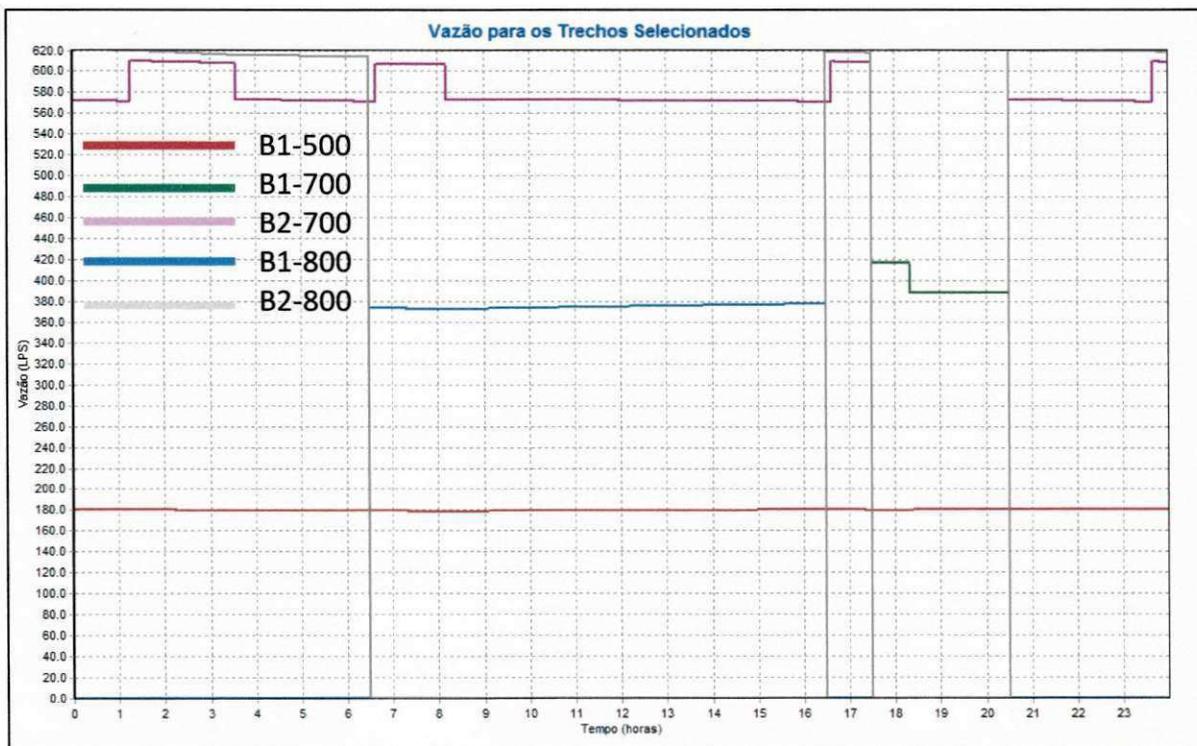


Figura 5.13 – Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 2.

A partir da simulação 3, o tempo de operação da bomba B1-800 vai aumentando a cada hora, e o da B2-800 vai diminuindo. O nível do R-09 também vai diminuindo, permanecendo igual apenas nas simulações 6 e 7.

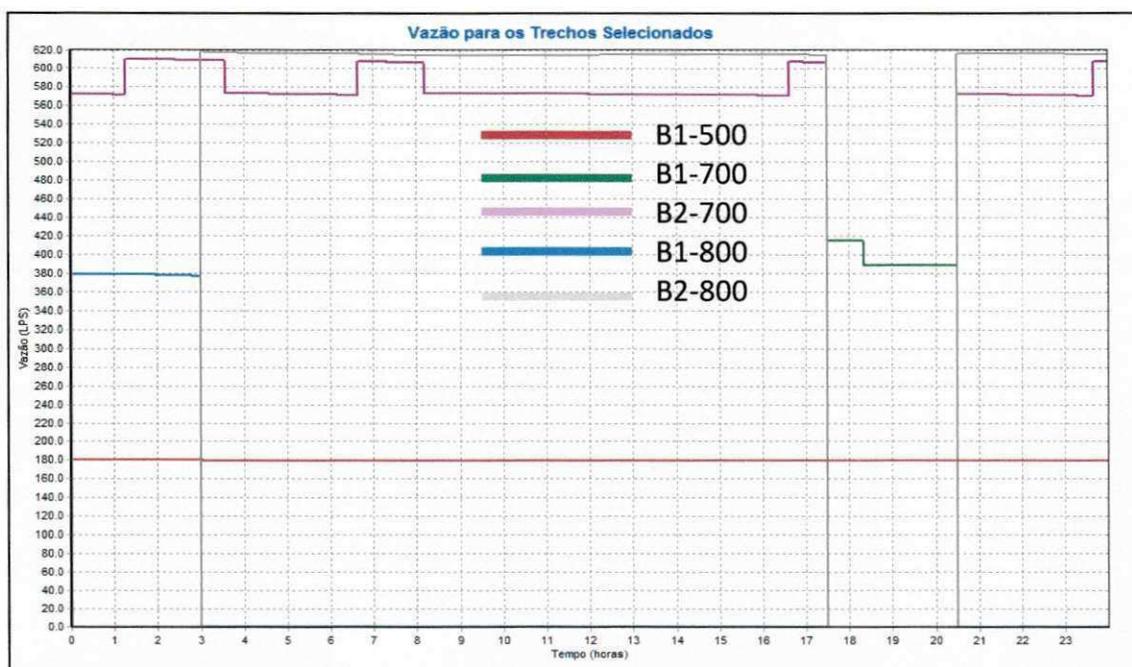


Figura 5.14 – Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 3.

A variação dos níveis dos reservatórios para as simulações 1 e 2, ao longo das 24 horas foi praticamente igual para ambas as simulações. A bomba B2-800 funcionou durante toda a madrugada, possibilitando o nível máximo para o R-09 às 8:08 h nas duas simulações. No início do horário de ponta, o nível estava igual a 4,01 m para a simulação 1 e 3,85 m para a simulação 2. Já, no término, 3,27 m e 3,11 m, respectivamente. Com a operação da bomba B2-800 no tempo restante, chegou-se no final do período aos níveis de 3,75 m e 3,60 m. Assim, verifica-se que o bombeamento máximo nos períodos de menor consumo, permitindo que os reservatórios iniciem os de maior consumo com seus níveis máximos, pode favorecer ao desligamento de bombas e resultar num menor consumo de energia.

Em todas as simulações, a operação do subsistema do R-05 manteve um mesmo padrão.

De acordo com a curva de demanda do sistema, para os reservatórios do SACG, recomenda-se que os deixe cheios, no intervalo entre as 6:00 h e 8:00 h, para que esvaziem gradativamente ao longo do dia (principalmente no intervalo de maior consumo), repetindo o mesmo processo no dia posterior, sempre respeitando os limites operacionais. Além disso, eles devem suportar a demanda do horário de ponta, já que a produção é reduzida ou até mesmo interrompida totalmente.

Outro aspecto importante é que a mudança de turno de trabalho dos operadores e controladores do sistema ocorre às 06:00 h, então, os reservatórios devem ser entregues com o

maior nível possível nesse horário, para que no próximo turno apenas gerencie-se o consumo no período diurno.

A partir da simulação 3, buscaram-se identificar as situações em que se pôde reduzir o funcionamento da bomba B2-800 e aumentar o da B1-800. Nesta simulação, iniciou-se a operação com a bomba B1-800 e indo até às 3:00 h. A partir daí, operou-se com a B2-800 até as 17:30 h, e depois, após as 20:00 h. O R-09 atingiu 5,00 m às 8:09 h. No início do horário de ponta, estava com 4,93 m e no término, 4,19 m. O que contribuiu também para a manutenção dos níveis do R-09 foi a operação para o R-05, quando atingia 3,60 m de nível, toda a vazão através da adutora de DN 700 era destinada para o R-09, só retornando após chegar-se a 2,4 m. Isso aconteceu por 4 períodos, ao longo das 24 horas: da 1:15 às 3:33 h, 6:37 às 8:09 h, das 16:30 às 19:21 h e a partir das 23:38 h.

Na simulação 4, a bomba B1-800 funcionou até as 4:00 h e a B2-800 nos demais horários (exceto o de ponta). O R-09 atingiu o maior nível às 8:09 h. No início do horário de ponta estava com 4,78 m e no final, 4,04 m. Igualmente à simulação anterior, recebeu aporte da adutora de DN 700 nos intervalos de 1:15 h às 3:33 h, 6:37 h às 8:09 h, das 16:30 h às 19:21 h e a partir das 23:38 h. A operação da adutora de DN 700 não sofreu alteração.

Em todas as simulações seguintes, diminuiu-se uma hora de operação na bomba B2-800 e aumentou-se uma na B1-800. A operação para o R-05 continuou a mesma da anterior.

Para a simulação 5, a bomba B1-800 funcionou da 0:00 às 5:00 h. Como esperado, com a redução do funcionamento da bomba B2-800, o nível do R-09 tendeu a cair. Às 8:00 h o nível foi de 4,69 m. Às 17:30 h, verificou-se 4,63 m e às 20:30 h, 3,89 m. Verifica-se que tais níveis permitem certa “folga” à operação do sistema, principalmente quando ocorrerem interrupções momentâneas, como falta de energia ou a necessidade de uma manutenção corretiva de pequeno porte.

Na simulação 6, a bomba B1-800 trabalhou da 0:00 às 6:00 h. O maior nível do R-09 foi de 4,54m às 8:09 h. No horário de ponta apresentou 4,48 e 3,74, no início e término, respectivamente. O nível final foi de 4,22 m. Percebe-se mais uma vez que nos horários já citados, a adutora de DN 700 contribui satisfatoriamente para a manutenção de bons níveis no R-09 sem atrapalhar a demanda a partir do R-05.

Na simulação 7, a bomba B1-800 funcionou no período entre 0:00 e 7:00 h. O R-09 atingiu seu maior nível (4,38 m) às 8:09 h. Nos horários limites do período de ponta, os valores encontrados foram de 4,33 e 3,59 m. O nível final foi de 4,22 m.

Na simulação 8, verificou-se que quando a bomba B1-800 foi operada com uma duração de tempo a partir de 8 h, o nível final do R-09 apresentou-se abaixo de 4,00 m. Neste evento, a bomba B2-800 foi operacionalizada durante 13 horas, enquanto que a B1-800, 8 horas. O maior nível do R-09 foi de 4,22 m, às 8:08 h. Às 17:30 h, 4,18 m e às 20:30 h, 3,44 m. Percebeu-se que no final do período horosazonal, o nível já está próximo de 3,0 m, valor de início da simulação. O nível final foi de 3,93 m.

A simulação 9 apresentou nova diminuição do nível do R-09, uma vez que houve a redução do funcionamento da B2-800 em uma hora. O maior nível foi de 4,20 m. No final do horário de ponta o nível verificado foi de 3,29 m.

Para as simulações 10, 11, 12 e 13, a quantidade de horas que a bomba B2-800 funcionou foi, respectivamente, 11, 10, 9 e 8. Já para a B1-800, verificou-se que o funcionamento foi de 10, 11, 12 e 13 horas.

Para a simulação 10, verificou-se o nível mais elevado igual a 4,20 m às 8:07 h, situação que se repetiu também nos eventos 11, 12 e 13. No horário de pico, no início verificou-se um nível de 3,88 m e para o término, 3,14 m. Assim, percebe-se a diminuição dos níveis, mas ainda em atendimento aos critérios hidráulicos e de demanda. Percebe-se ainda, a grande contribuição da adutora de DN 700, que quando o R-05 apresentou-se com nível maior que 3,60 m atendia-se o R-09, até chegar a 2,40 m. O valor de 3,14 m no fim do horário de pico indica que os menores níveis de operação estão se aproximando. A Figura 5.15 apresenta o comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 14.

As simulações 11, 12 e 13 mostraram o mesmo perfil de variação para os níveis. No início do horário de pico, os níveis para o R-09 foram iguais a 3,73 m, 3,57 m e 3,42 m. No final do horário de ponta, encontraram-se os seguintes valores: 2,99 m, 2,83 m e 2,68 m. Os níveis finais verificados foram 3,48 m, 3,32 m e 3,17 m.

Conforme já explicitado, a simulação 14 foi a que apresentou o menor nível no término da operação diária para o R-09, 3,02 m e durante todo o evento atendeu aos critérios de pressão e demanda, com a menor potência em operação de todos os outros eventos.

Desde a simulação 3 até a 14, estão os resultados de diversos ajustes, com a programação dos conjuntos motobombas objetivando atingir níveis mínimos predeterminados. No intervalo de 1 hora, foi-se reduzindo a potência em funcionamento e verificando-se se as condições ainda estavam sendo atendidas. Assim, o valor de 3,02 m encontrado para o nível final do R-09 foi o limite para o sucesso do evento.

Realizou-se a simulação 15. A programação para as bombas da adutora de DN 800 foi a seguinte: a B1-800 funcionou de 0:00 às 15:00 h e a B2-800 das 15:00 às 17:30 h e das 20:30 às 24:00 h. No início do horário de pico, o nível do R-09 estava igual a 3,11 m. Às 20:02 h, atingiu o nível mínimo de 2,50 m, violando um dos critérios preestabelecidos, o de pressão. O perfil de variação dos níveis para este evento está na Figura 5.17. Assim, percebeu-se que o volume apresentado às 17:30 h não conseguia atender à demanda do horário de ponta, não recuperando satisfatoriamente o nível até o término da simulação.

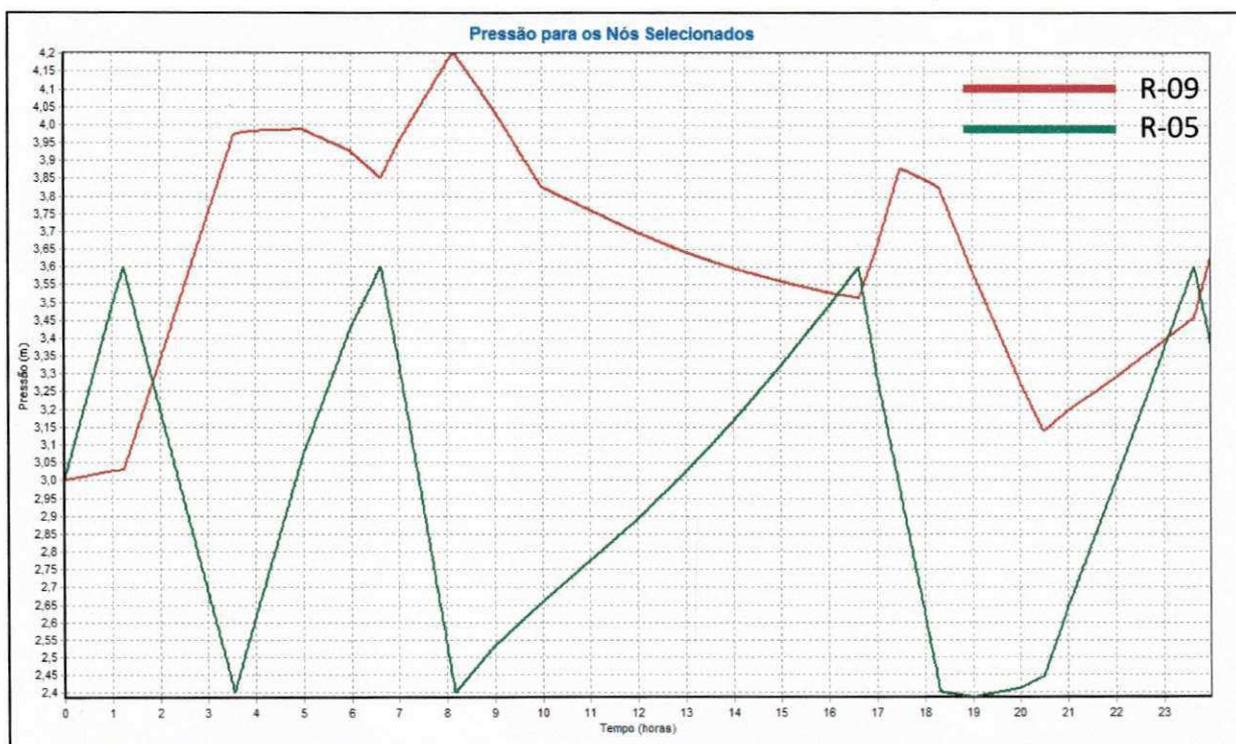


Figura 5.15 – Variação dos níveis dos reservatórios na simulação 10.

A partir da simulação 3, verifica-se para o R-09 que a cada simulação e com a redução da operação da bomba B2-800 há uma diminuição do nível final em média igual a 15 cm. Assim, na simulação 3 a B-800 funcionou 18 h e a B1-800 3 h. Já na simulação 14, a B-800 trabalhou durante 7 horas e a B1-800, 14 h. Para o evento 14, em comparação com o evento 3, houve uma diminuição do nível final do R-09 em 1,65 m. Durante as 3 horas do período de ponta, a queda do nível do reservatório foi de 74 cm.

Com o tipo de operação aplicado nas simulações, o R-05 manteve o perfil em todos os eventos, de modo que, atualmente, não há muitas modificações a se realizar no agendamento operacional daquela unidade, principalmente porque a capacidade do reservatório não permite o acúmulo de um maior volume, e além disso, o R-05 é abastecido somente através da adutora

DN 700, que, antes de chegar ao R-09 atende usuários através de abastecimento em marcha e cerca de 150 carros-pipa por dia. Por outro lado, com a operação do sistema do Brejo a partir do ano de 2007, houve a exigência de se disponibilizar 69 l/s desta unidade operacional. O distrito de Jenipapo (e grande área rural no seu entorno) passou também a ser atendido dessa zona de pressão. Diante disso, os objetivos principais da operação da unidade são o atendimento da demanda e o não extravasamento do reservatório.

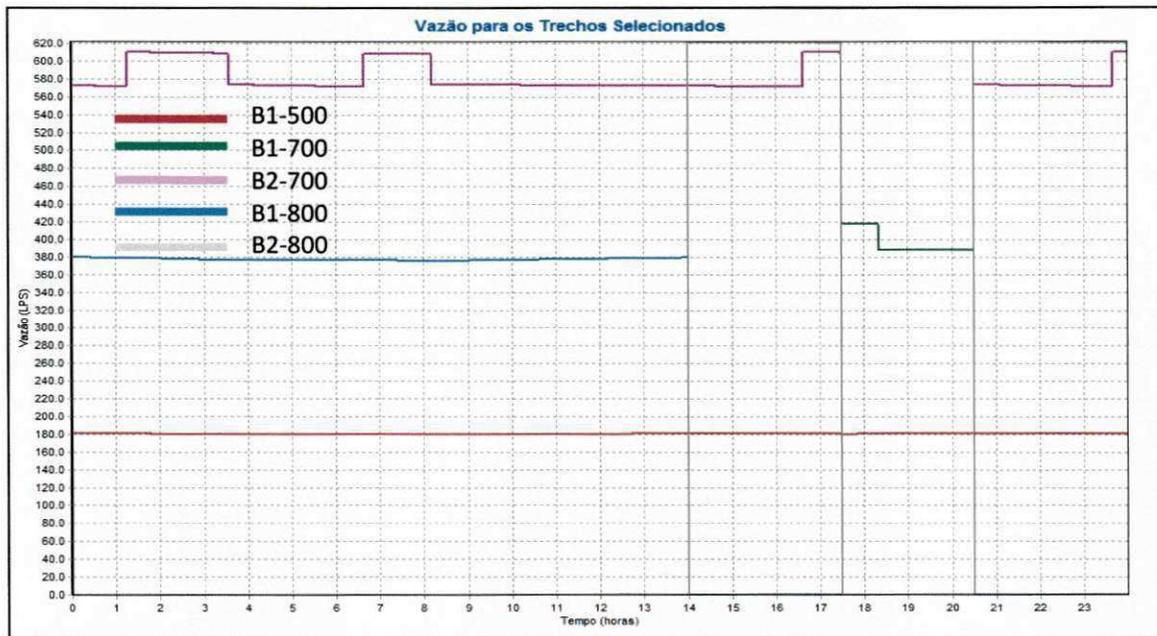


Figura 5.16 – Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 14.

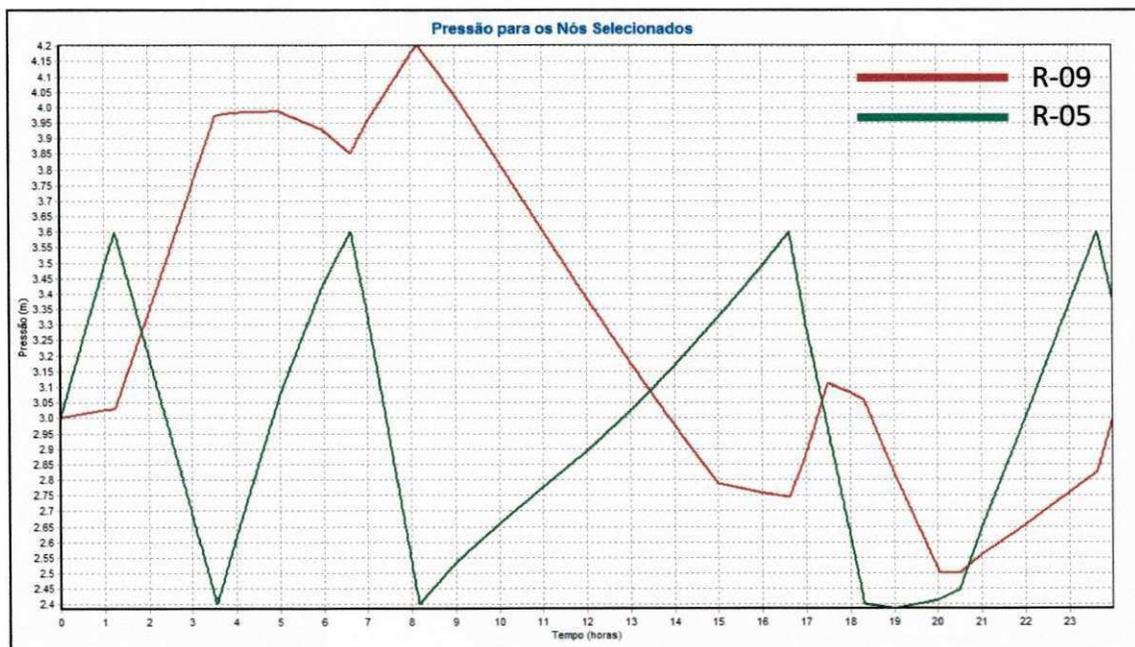


Figura 5.17 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 15.

Dessa forma, na escolha do melhor agendamento operacional para o sistema em nível de adução, diversos fatores devem ser analisados para a tomada de decisão. Do ponto de vista da operação com menor potência (menores custos de energia) e atendimento aos critérios mínimos de pressão e demanda, a programação que se apresentou melhor foi aquela que indicou os menores níveis para o R-09 no final das 24:00 h. Por outro lado, a simulação com maior potência funcionando resultou nos maiores níveis. Na situação em que os níveis são mais baixos, deve haver uma alta confiabilidade no bom funcionamento das unidades operacionais, tanto dos equipamentos eletromecânicos, quanto das ações executadas pelos operadores, principalmente quando os sistemas não dispõem de automação. Quando se opta pelo agendamento das bombas de maior potência, tem-se uma maior despesa com energia elétrica. A Tabela 5.10 apresenta os valores referentes ao consumo de energia elétrica para a EEAT- Gravatá no período de 24 horas. Os valores das tarifas são de setembro de 2010 e os encargos não foram considerados. Neste caso, para a despesa diária, não se levou em conta a demanda de energia elétrica.

A simulação que apresentou os maiores níveis finais para o R-09, foi também a que mostrou os maiores custos com energia elétrica. Por outro lado, a de menores gastos, foi a que apresentou os menores níveis no seu estado final.

Tabela 5.10 - Custo diário com consumo de energia elétrica para as simulações.

Simulação	Consumo (KWh)		Tarifa		Custo (R\$)		Total (R\$)
	Ponta	Fora de ponta	Consumo (R\$/KWh)		Ponta	Fora de ponta	
			Ponta	Fora de ponta			
1	4.914	80.526	0,1794	0,1124	881,57	9.048,71	9.930,28
2	4.914	79.790	0,1794	0,1124	881,57	8.966,00	9.847,57
3	4.914	84.942	0,1794	0,1124	881,57	9.544,93	10.426,50
4	4.914	84.206	0,1794	0,1124	881,57	9.462,23	10.343,80
5	4.914	83.470	0,1794	0,1124	881,57	9.379,52	10.261,10
6	4.914	82.734	0,1794	0,1124	881,57	9.296,82	10.178,39
7	4.914	81.998	0,1794	0,1124	881,57	9.214,12	10.095,69
8	4.914	81.262	0,1794	0,1124	881,57	9.131,41	10.012,98
9	4.914	80.526	0,1794	0,1124	881,57	9.048,71	9.930,28
10	4.914	79.790	0,1794	0,1124	881,57	8.966,00	9.847,57
11	4.914	79.054	0,1794	0,1124	881,57	8.883,30	9.764,87
12	4.914	78.318	0,1794	0,1124	881,57	8.800,59	9.682,17
13	4.914	77.582	0,1794	0,1124	881,57	8.717,89	9.599,46
14	4.914	76.846	0,1794	0,1124	881,57	8.635,19	9.516,76

A diferença entre a situação mais e a menos favorável economicamente é de R\$ 909,74 por dia, que pode resultar ao final de 30 dias, num valor igual a R\$ 27.292,20.

Porém, ao se adotar a situação economicamente mais viável, deve haver uma grande garantia de bom funcionamento de todas as unidades operacionais do sistema.

5.3.2.2 Agendamento para execução de manutenção programada

As atividades de manutenção das estações elevatórias, adutoras e dos dispositivos acessórios podem ser classificadas em preditiva, preventiva e corretiva. Normalmente, a preditiva não exige a interrupção no funcionamento das unidades. A corretiva pode exigir a interrupção de imediato e tem caráter de urgência. A preventiva é programável e pode necessitar da suspensão no funcionamento da unidade operacional e seu principal objetivo é evitar as ações corretivas, diminuindo os prejuízos no abastecimento do sistema. Quanto maior o tempo de uso dos equipamentos, maior a incidência de atividades de manutenção.

Quando a ação de manutenção exige a suspensão total ou parcial do sistema, faz-se necessário um planejamento adequado, de modo que se escolham os horários em que vai haver o mínimo desabastecimento possível, ainda se definirem as áreas que poderão ser atingidas e o período de normalização do fornecimento de água.

No caso em estudo, através da simulação, foram verificados quais os melhores horários para a realização de manutenção na estação elevatória de Gravatá ou nas adutoras de água tratada, de modo em que houvesse a suspensão do funcionamento da mesma, em um período de 2 (duas) horas, tempo no qual as equipes de manutenção conseguem realizar a maior parte das ações de ordem preventiva (lubrificação, limpeza de quadros de comandos, substituição de rolamentos e gaxetas, manutenção em válvulas de retenção, juntas de dilatação e válvulas ventosas, por exemplo). A maior parte das atividades exige o contato com equipamentos elétricos de grande porte, de modo que elas são executadas durante o dia (06:00 h às 18:00 h), com objetivo de proporcionar uma maior segurança à equipe de técnicos escalada para os serviços e caso haja imprevistos (por exemplo, a necessidade de um material ou de um técnico não escalado), será mais fácil resolvê-los.

Os critérios para a escolha do melhor agendamento foram: atendimento da demanda, pressão (nível mínimo dos reservatórios), menor número de acionamentos das bombas, níveis finais dos reservatórios maiores ou iguais aos níveis iniciais e menor potência em funcionamento dos conjuntos motobombas, que incide no menor custo de energia. As

condições gerais adotadas nas operações simuladas são as mesmas do Quadro 5.3, acrescentando apenas a condição 7 que está disposta no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Descrição das condições adotadas nas simulações da EEAT- Gravatá.

Condição	Descrição da operação
7	As simulações foram realizadas, considerando os seguintes períodos de interrupção total do funcionamento das bombas: 6:00 às 8:00 h; 7:00 às 9:00 h; 8:00 às 10:00 h; 9:00 às 11:00 h; 10:00 às 12:00 h; 11:00 às 13:00 h; 12:00 às 14:00 h; 13:00 às 15:00 h; 14:00 às 16:00 h; 15:00 às 17:00 h.

Assim, foram realizadas 10 simulações, considerando a suspensão do funcionamento da estação elevatória de Gravatá durante 2 horas a partir das 06:00 h e até as 17:00 h. A Tabela 5.11 apresenta os resultados das simulações (realizadas para um período de 24 horas), apresentando todas as características necessárias para as análises: condições iniciais e finais para os níveis dos reservatórios R-09 e R-05 e tempo de funcionamento para cada bomba. Para essa análise não foram consideradas as manutenções realizadas diretamente na rede de distribuição (retirada de vazamentos, conserto de válvulas, reabilitação, etc.).

Quando houve necessidade, fizeram-se ajustes em cada simulação com o objetivo de atendimento dos critérios pré-definidos. Tais ajustes foram realizados necessariamente no liga/desliga de bombas.

Para os eventos 16, 17 e 18, o tempo de funcionamento das bombas durante as 24 horas foi igual, bem como o número de acionamentos e desligamentos. A bomba B-500 só foi desligada no horário estabelecido para a parada, funcionando 22 horas, inclusive no horário de ponta. A bomba B1-700 só foi utilizada durante as 3 horas do horário de ponta. A bomba B1-800 não foi acionada. As bombas B2-700 e B2-800 foram as que sofreram maior quantidade de paradas: no período estabelecido e no horário de ponta. A variação que houve em cada simulação foi nos níveis dos reservatórios R-09 e R-05. A Figura 5.18 apresenta os níveis dos reservatórios para a simulação 18.

Nas simulações 16 e 17, condicionou-se que quando o R-05 atingisse o nível 3,6 m, toda a vazão da adutora de DN 700 seria destinada ao R-09. Somente quando o nível chegasse a 2,4 m foi que a vazão voltaria a ser destinada integralmente para o R-05. Já na simulação 18, o limite superior de 3,60 m continuou, mas a vazão passou a ser destinada para o R-05 quando o mesmo chegou a 2,87 m.

No final das simulações 16 e 17 não se conseguiu manter o nível do R-05 maior ou igual a 3,0 m, não atendendo dessa forma, a uma das condições de escolha da melhor operação, pois, respectivamente encontraram-se valores iguais a 2,80 e 2,42 m. A principal razão resume-se no controle de vazão para o R-05 e o R-09, a partir das 17:30 h (início do horário de ponta), uma vez que em todas as simulações o nível às 17:00 h foi de 3,0 m.

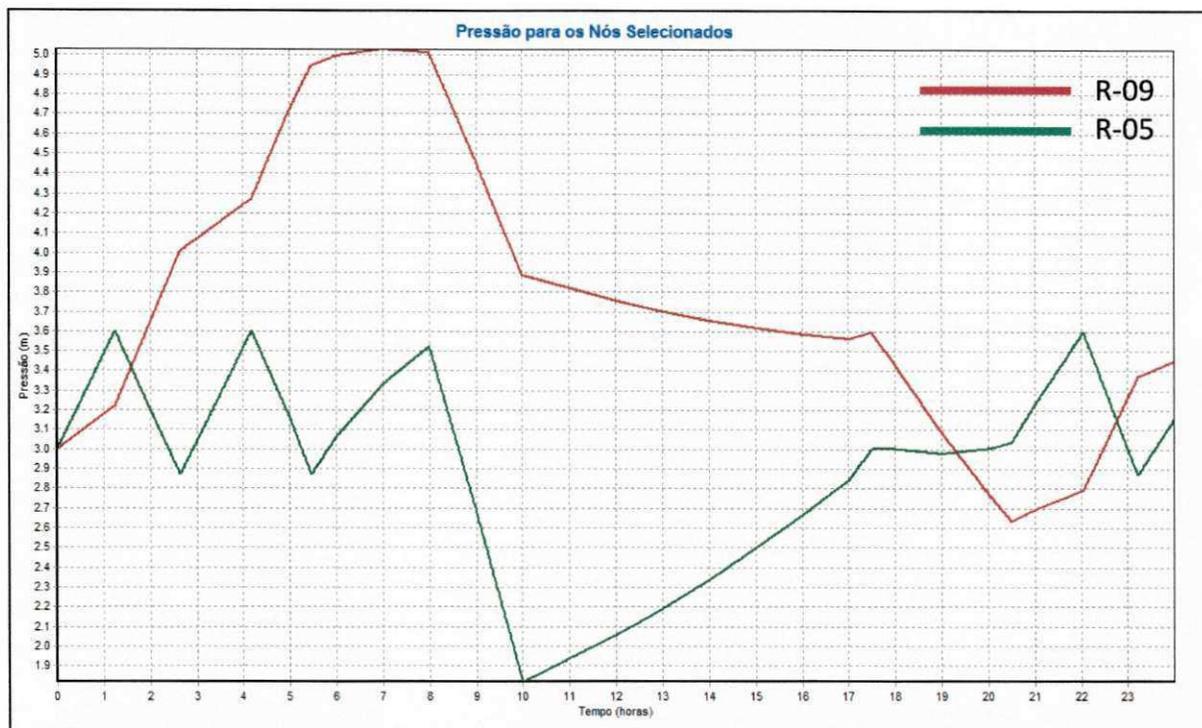


Figura 5.18 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 18.

A partir da simulação 18, procuraram-se adotar alternativas que contribuíssem para o aumento do volume armazenado no R-05. A principal delas foi aumentar a vazão disponibilizada para o R-05 no período após o horário de ponta (a partir das 20:30 h).

O menor nível do R-05, na simulação 18, foi de 1,82 m (o limite é de 1,30 m) às 10:00 h, término do período programado para a manutenção e início do período de maior consumo (10:00 às 13:00 h). Em seguida, houve um aumento no volume até o horário de ponta, quando o mesmo permaneceu praticamente constante, voltando a aumentar até as 22 h, quando atingiu o valor máximo e em seguida voltou a reduzir, chegando até 3,16 m, atendendo a todas as condições pré-estabelecidas.

No que se refere ao R-09, todas as condições foram estabelecidas nas três simulações, observando-se a repetição de um mesmo perfil da variação do nível ao longo das 24 h, procurando-se sempre armazenar o máximo possível nos períodos de menor consumo.

Tabela 5.11 - Resultados das simulações para as paradas programadas na EEAT- Gravatá.

SIMULAÇÃO	HORÁRIO DA PARADA	CONDIÇÕES						FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS EEAT-GRAVATÁ									
		INICIAIS				FINAIS											
		Nível (m)				Nível (m)		B-500		B1-700		B2-700		B1-800		B2-800	
		R-09		R-05		R-09	R-05	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)
		Mínimo	Inicial	Mínimo	Inicial												
16	06:00 às 08:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,60	2,80	0 às 06:00; 8:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 06:00; 08:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	-	0	0 às 06:00; 08:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19
17	07:00 às 09:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,75	2,42	0 às 07:00; 9:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 07:00; 09:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	-	0	0 às 07:00; 09:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19
18	08:00 às 10:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,45	3,16	0 às 08:00; 10:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 08:00; 10:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	-	0	0 às 08:00; 10:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19
19	9:00 às 11:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,07	3,35	0 às 09:00; 11:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 09:00; 11:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 09:00; 11:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
20	10:00 às 12:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,06	3,36	0 às 10:00; 12:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 10:00; 12:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 10:00; 12:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
21	11:00 às 13:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,05	3,39	0 às 11:00; 13:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 11:00; 13:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 11:00; 13:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
22	12:00 às 14:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,04	3,38	0 às 12:00; 14:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 12:00; 14:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 12:00; 14:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
23	13:00 às 15:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,03	3,39	0 às 13:00; 15:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 13:00; 15:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 13:00; 15:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
24	14:00 às 16:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,19	2,98	0 às 14:00; 16:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 14:00; 16:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 14:00; 16:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17
25	15:00 às 17:00	2,50	3,00	1,30	3,00	3,19	2,98	0 às 15:00; 17:00 às 24:00	22	17:30 às 20:30	3	0 às 15:00; 17:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19	06:00 às 08:00	2	0 às 06:00; 08:00 às 15:00; 17:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	17

A Figura 5.19 demonstra o funcionamento das bombas ao longo da simulação 18. A bomba B1-800 não funcionou. Já a bomba B-500 só foi desligada no horário previsto. A bomba B2-800 foi parada em duas situações: no horário da manutenção e no horário de ponta, igualmente à bomba B2-700.

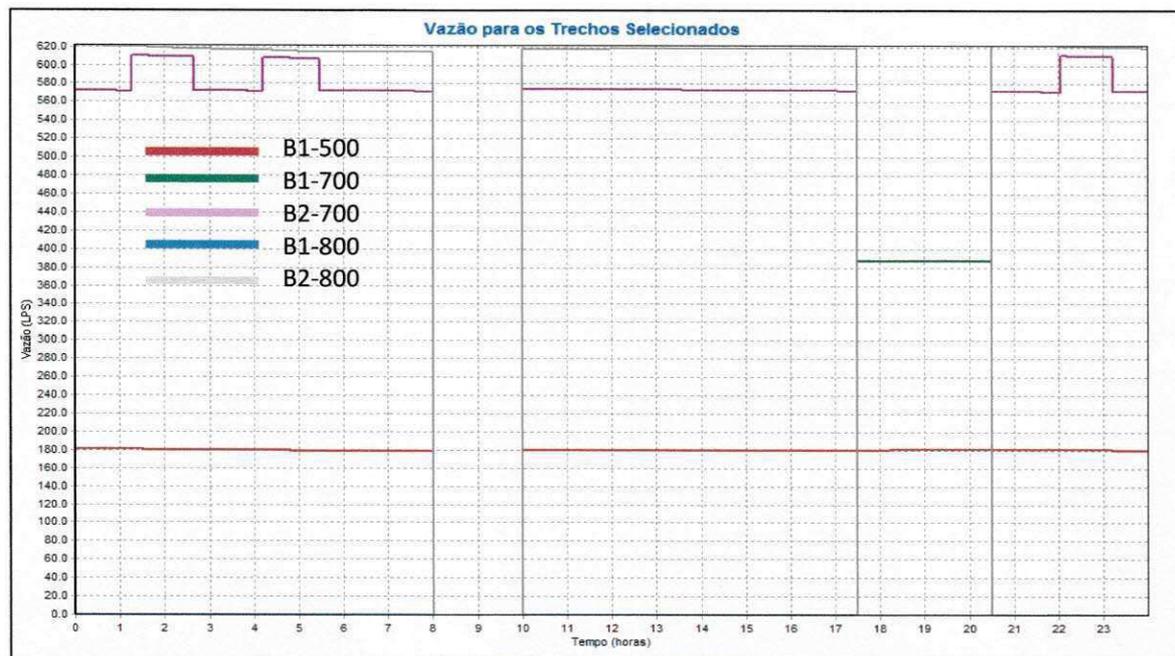


Figura 5.19 - Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 18.

A partir da simulação 19, buscaram-se novos agendamentos, objetivando reduzir o funcionamento dos conjuntos motobombas ou escolher aqueles com menor potência. Encontrou-se para todas as simulações, operação com 22 horas para a B-500, 3 horas para a B1-700, 19 horas para a B2-700, 2 horas para a B1-800 e 17 horas para a B2-800. O número de acionamentos liga-desliga para cada conjunto foi igual em todas as simulações.

Para as simulações 19, 20, 21, 22 e 23 obtiveram-se valores muito próximos para os níveis finais dos reservatórios. O R-05 apresentou os melhores resultados com valores variando entre 3,35 e 3,39 m. O R-09 apresentou resultados variando entre 3,03 e 3,07 m. Para estas simulações optou-se pela substituição da B2-800 pela B1-800 no período das 6:00 às 8:00 h. Além disso, quando o R-05 atingiu o nível de 3,6 m, toda a vazão foi destinada ao R-09, só retornando quando o nível foi de 2,95 m.

Na simulação 19, o R-05 atingiu o nível de 1,35 m às 11:00 h, bem próximo ao valor mínimo de 1,30 m. Nos horários de menor consumo, conforme a Figura 5.20, atingiu o nível máximo, o que possibilitou a manutenção dos níveis dentro dos limites estabelecidos. Na

simulação 5, o nível mínimo foi de 1,47 m às 12:00 h. Para o R-09 durante as simulações em análise, praticamente não houve variação do nível final do R-09, havendo diminuição de 1 cm a cada intervalo de parada.

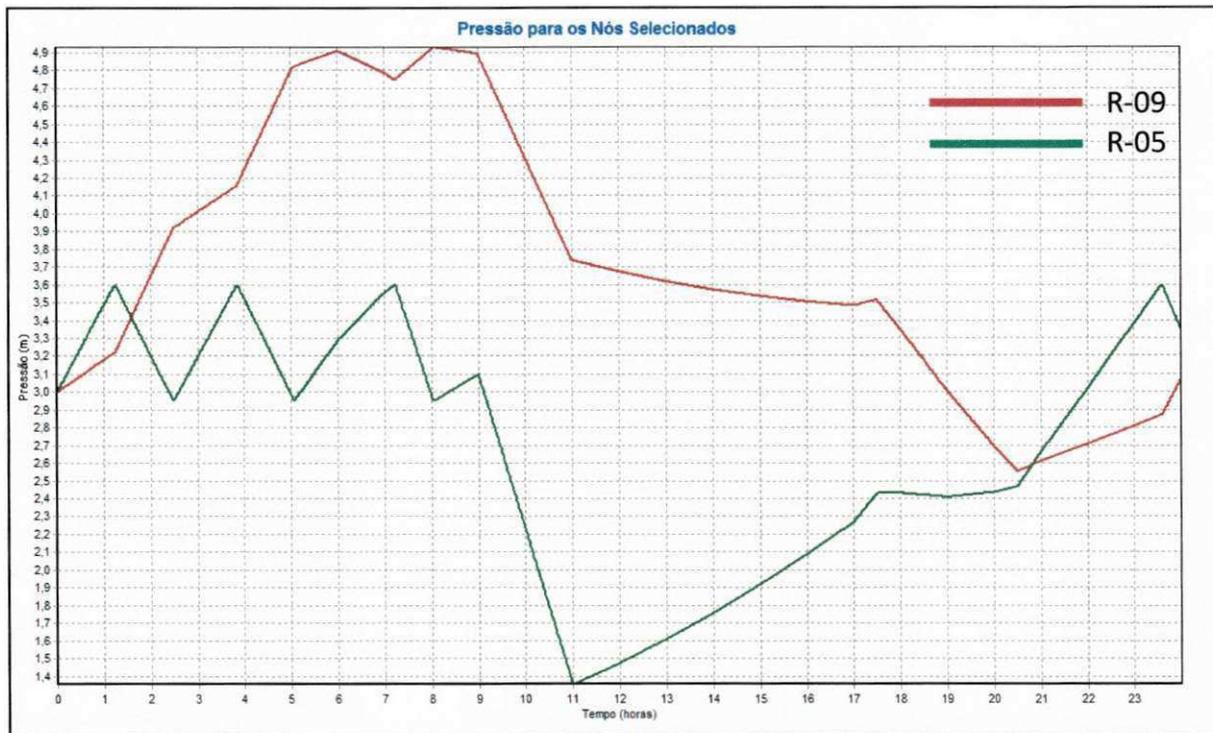


Figura 5.20 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 19.

A Figura 5.21 apresenta o funcionamento das bombas durante o período da simulação 19. A bomba B-500 só não funcionou no horário estabelecido para a manutenção (10:00 às 12:00 h). As bombas B1-800 e B1-700 funcionaram um único período cada uma, respectivamente, 6:00 às 8:00 h e 17:30 às 20:30 h. As bombas B2-700 e B2-800 tiveram duas paradas: no horário da manutenção e no horário de pico.

Nas simulações 19 (Figura 5.20) e 20 (Figura 5.22), verificou-se que o perfil de variação dos níveis para o R-09 e o R-05 seguiu o mesmo padrão para as várias simulações, ou seja, com o bombeamento máximo nos horários de menor consumo, houve uma tendência de extravasamento dos reservatórios, que não ocorreu pela substituição de bombas na adutora de DN 800 e pela mudança de destino da vazão da adutora de DN 700. A adutora de DN 500, por dispor de apenas um conjunto motobomba não possibilita interferência significativa na melhoria da operação, principalmente quando houver parada programada. Assim, os reservatórios devem iniciar o período de parada com os níveis elevados, pois haverá no período de ponta, nova redução da produção de água.

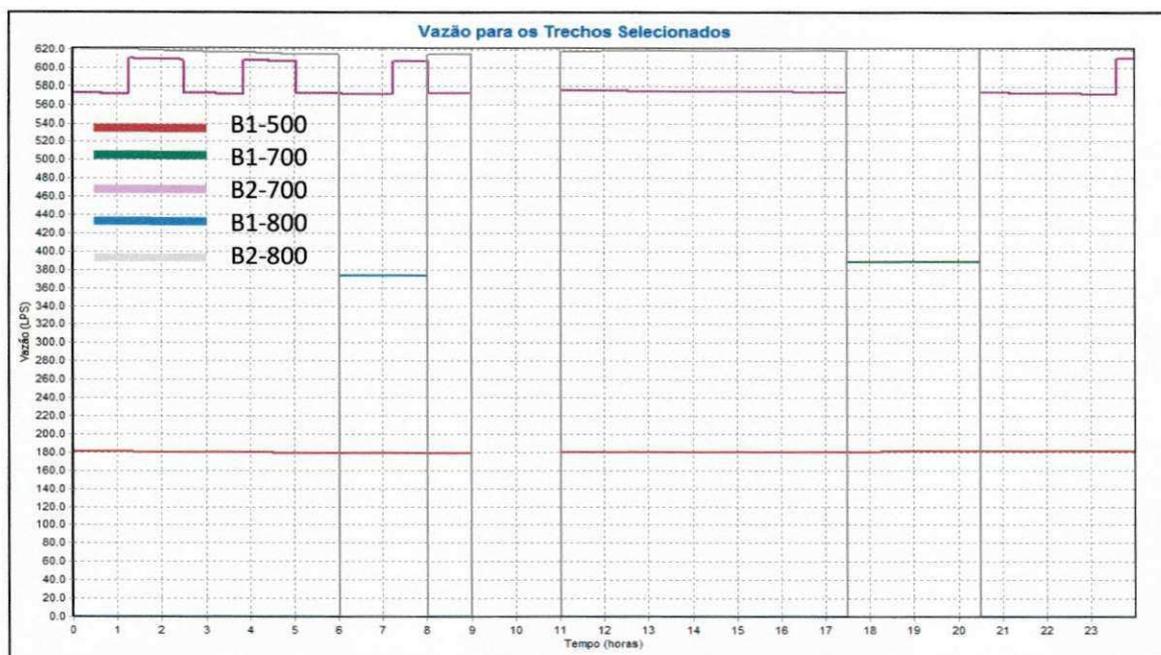


Figura 5.21 – Funcionamento dos conjuntos motobombas na simulação 19.

Para as simulações 24 e 25, com as paradas no período da tarde, encontraram-se os menores níveis para o R-05: 2,98 m para os dois casos, inferiores ao valor limite de 3,0 m. Tal situação ocorreu principalmente devido à proximidade com o horário de ponta e também pelo consumo ainda ser elevado até às 17:00 h. A Figura 5.23 apresenta o perfil do comportamento dos níveis para a simulação 24. Verifica-se que os níveis do R-09 atenderam à condição, mas com o valor de 3,19 m muito próximo do limite. Além disso, percebe-se que os perfis de variação dos níveis seguiram um mesmo padrão ao longo do dia. Às 6:00 h, o R-09 chegou próximo ao nível máximo, com 4,93 m. Nesse instante desligou-se a bomba B2-800 e acionou-se a B1-800, que permaneceu funcionando até as 8:00 h, uma vez que a partir das 7:00 h parte da vazão da adutora de DN 700 também estava sendo direcionada para o R-09, de modo que novamente chegou-se próximo ao nível máximo.

Assim, verifica-se que a manutenção programada deve ser realizada no período da manhã, uma vez que há o cumprimento dos critérios de atendimento à demanda e pressão, e caso haja algum imprevisto, e os serviços tenham que se prorrogar, haverá mais tempo para recuperação do sistema, até a chegada do horário de ponta.

Diante disso, as simulações que representaram as melhores condições para a execução de serviços, exigindo a parada por até 2 (duas) horas do sistema de produção de água foram as de número 18, 19 e 20. Porém, a de número 19 apresentou para o R-05 um nível mínimo de 1,35 m, muito próximo do limite de 1,30 m.

Dessa forma, analisar-se-ão as simulações de números 18 e 20, quanto ao consumo de energia.

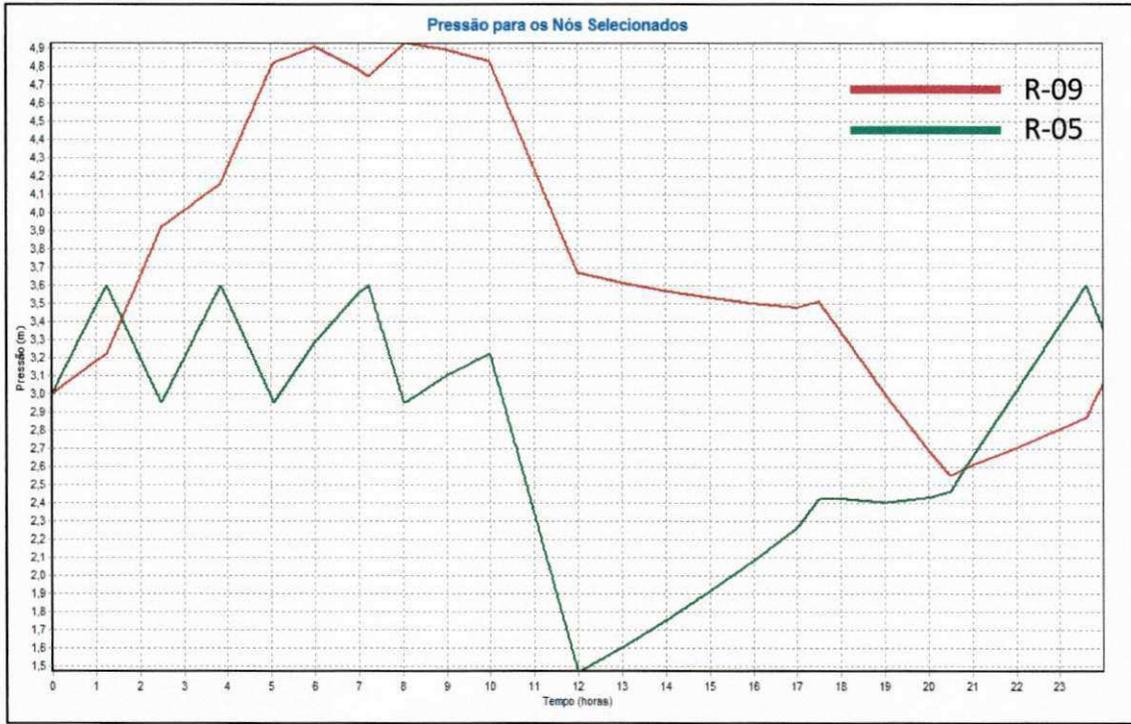


Figura 5.22 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 20.

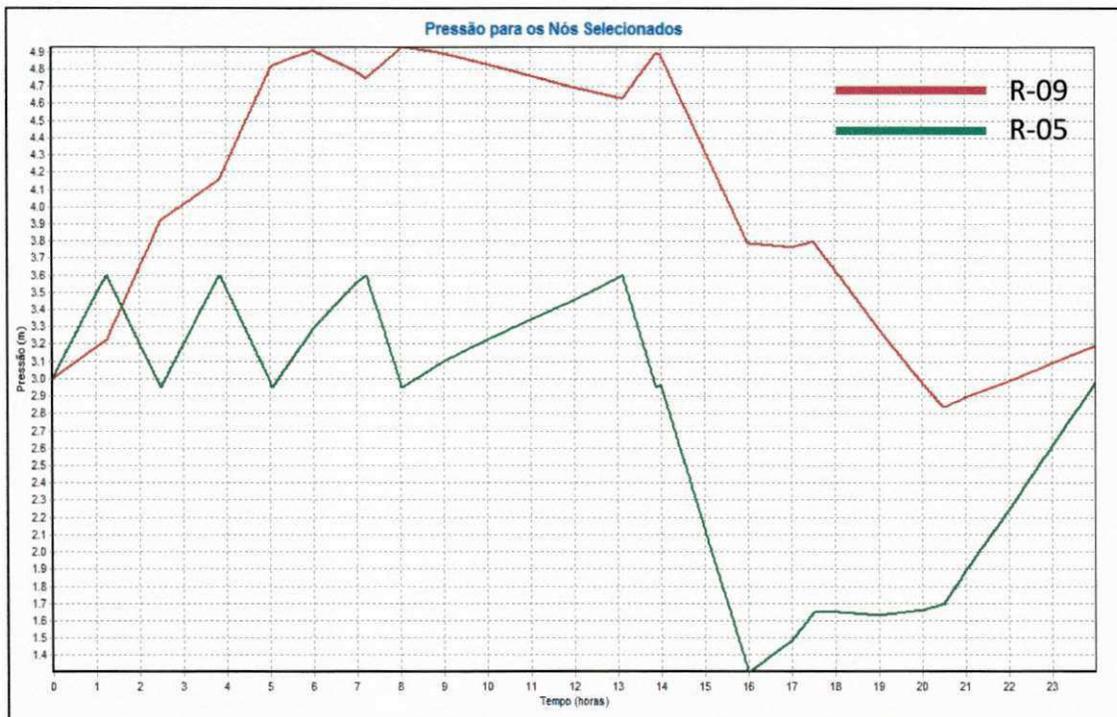


Figura 5.23 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 24.

Horosazonal Azul 69.000 Volts, cuja despesa com o uso da energia é a soma dos custos do consumo e da demanda elétrica para os horários de ponta e fora de ponta. Os encargos (PIS, COFINS e ICMS) não foram considerados. De acordo com Sousa (2011), os motores das elevatórias das adutoras de DN 500, DN 700 e DN 800 têm respectivamente, rendimentos iguais a 80%, 92% e 90%. A Tabela 5.12 apresenta os custos para as duas simulações. Ressalta-se que, na análise da operação, não foi considerado o valor da demanda elétrica, que independe da quantidade de h trabalhadas.

Tabela 5.12 - Custo diário de energia elétrica para as simulações 3 e 5 (adaptado de ENERGISA, 2010).

SIMULAÇÃO 18							
Adutora	Consumo (KWh)		Tarifa		Custo (R\$)		Subtotal (R\$)
	Ponta	Fora de ponta	Consumo (R\$/KWh)		Ponta	Fora de ponta	
			Ponta	Fora de ponta			
DN 500	1.794,00	11.362,00	0,1794	0,1124	321,84	1.276,75	1.598,59
DN 700	3.120,00	39.520,00	0,1794	0,1124	559,73	4.440,86	5.000,59
DN 800	0,00	27.968,00	0,1794	0,1124	0,00	3.142,76	3.142,76
						Total (R\$)	9.741,95
SIMULAÇÃO 20							
Adutora	Consumo (KWh)		Tarifa		Custo (R\$)		Subtotal (R\$)
	Ponta	Fora de ponta	Consumo (R\$/KWh)		Ponta	Fora de ponta	
			Ponta	Fora de ponta			
DN 500	1.794,00	11.362,00	0,1794	0,1124	321,84	1.276,75	1.598,59
DN 700	3.120,00	39.520,00	0,1794	0,1124	559,73	4.440,86	5.000,59
DN 800	0,00	26.496,00	0,1794	0,1124	0,00	2.977,36	2.977,36
						Total (R\$)	9.576,54

Assim, observa-se que, em relação ao custo do consumo de energia elétrica, a simulação 20 apresentou-se mais econômica, com uma diferença de R\$ 165,41 em relação à simulação 18. Isso aconteceu porque nesta última utilizou-se conjunto B2-800 (potência igual a 1.800 CV) por 19 horas e na outra, por 17 horas. Porém, dada a pequena diferença de custos, pode-se afirmar que as duas simulações são equivalentes em termos econômicos.

Outros aspectos devem ser destacados e avaliados.

O período das 10:00 h às 13:00 h é o de maior consumo do sistema. Na simulação 20, porém, nas horas anteriores, conseguiu-se chegar aos maiores volumes armazenados no R-09, ou seja, às 8:01 h, atingiu-se o maior nível, 4,93m. Às 10:00 h, o nível verificado foi de 4,83

m. Assim, a água acumulada atendeu a toda a solicitação do horário. No final do horário da manutenção, verificou-se que o nível estava 3,67 m. Por outro lado, iniciou-se o horário de ponta com 3,60 m e terminou-se com 2,64 m (valor já próximo do limite de 2,50 m).

Todavia, a simulação 18 apresentou níveis mais elevados para o R-09 nos horários anteriores à parada: 5,03 m às 6:53 h e às 8:00 h, 5,00 m. No final da suspensão estava com 3,88 m e iniciou o horário de ponta com 3,60 m. O R-05 teve como menor nível, 1,82 m às 9:59 h.

Embora a simulação 20 seja economicamente mais viável, a número 18 é a que permitiu maiores níveis para o R-09, nos períodos que antecedem a realização da manutenção, de modo a permitir uma maior garantia ao sistema.

Assim, para que não haja prejuízos (ou que os mesmos sejam amenizados), no abastecimento de água do sistema em análise, em decorrência da realização de manutenção programada durante o dia, duas providências básicas devem ser tomadas: bombeamento máximo no período que antecede o de maior demanda e parada logo em seguida, quando os reservatórios atingirem os maiores níveis.

5.3.2.3 Operação com funcionamento apenas no horário fora de ponta

A unidade operacional do SACG- EEAT/ETA Gravatá é a que consome mais energia. Como etapa do programa de eficiência energética da CAGEPA, no ano de 1998, foi realizado contrato com a ENERGISA Paraíba (na época, SAELPA), cuja classe de tarifação foi a A3H – alta tensão horo-sazonal azul 69.000 volts, que prevê diferenciação nos custos de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta. Ao longo dos anos, adaptações e modificações foram sendo implementadas no contrato. A Tabela 5.13 apresenta os valores máximos contratados para a demanda e uma estimativa do máximo consumo na atualidade, segundo Leite (2011).

Tabela 5.13 - Valores do contrato de uso de energia elétrica no período de um mês.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	QUANTITATIVO
1	Consumo ponta máximo previsto (KWh).	240.000
2	Consumo fora de ponta máximo previsto (KWh).	2.400.000
3	Demanda elétrica ponta contratada (KW)	2.100
4	Demanda elétrica fora de ponta contratada (KW)	4.000

Na área da estação de tratamento, além das estações elevatórias das adutoras de Campina Grande, há utilização de energia elétrica para as unidades de elevação dos sistemas de Queimadas, Caturité e Barra de Santana, dos conjuntos motobombas para o sistema de dosagem de sulfato líquido, cal, iluminação interna dos prédios e área externa. Conclui-se que o maior consumo advém das bombas B-500, B1-700, B2-700, B1-800 e B2-800.

Através da simulação, verificou-se a possibilidade de suspender a produção de água no horário de ponta da EEAT/ETA Gravatá, de modo que haja reserva suficiente para o atendimento durante o período de pico.

Porém, ressalte-se que, normalmente, para que num sistema do porte do SACG não haja produção de água no horário de ponta é necessário um planejamento prévio com diversas etapas a se cumprir e várias modificações a se implantar (de acordo com o diagnóstico do estado atual), como por exemplo: substituição de motores por outros de alto rendimento, adequação dos rotores de determinadas bombas, implantação de soft-starter para acionamento dos motores, aumento da capacidade de reserva de zonas e subzonas, substituição dos registros por válvulas de controle automáticas, substituição dos conjuntos motobombas para se adequarem às novas características hidráulicas do sistema, implantação do sistema de automação e controle, programa de redução de perda de água, etc.

Neste trabalho, verificou-se se o sistema, nas suas condições atuais, permite a suspensão do funcionamento da ETA-Gravatá e da EEAT no período entre 17:30 h e 20:30 h. Assim, estimar-se-á também o valor máximo monetário que se poderá economizar.

A Tabela 5.14 apresenta o valor máximo (sem encargos) que se economizará com o não funcionamento da EEAT – Gravatá, de acordo com o contrato. Pode-se chegar a R\$ 95.199,00 por mês, adotando-se tarifas do mês de setembro de 2010.

Tabela 5.14 - Economia máxima com energia elétrica no horário de ponta, no período de um mês (adaptado de CAGEPA, 2010).

Demanda		Consumo		Despesa		Total (R\$)
Ponta (KW)	Tarifa (R\$/KW) Ponta	Ponta (KWh)	Tarifa (R\$/KWh) ponta	Demanda na ponta(R\$)	Consumo na ponta (R\$)	
2.100	24,8300	240.000	0,1794	52.143,00	43.056,00	95.199,00

A Tabela 5.15 apresenta valores faturados e medidos num período de um ano para o horário de ponta na EEAT-Gravatá. Para o cálculo dos custos, adotaram-se os valores das tarifas para o mês de setembro de 2010. Assim, verifica-se que os gastos com energia elétrica (sem os encargos) perfazem um total de R\$ 770.070,60.

Tabela 5.15 - Despesa com energia elétrica no horário de ponta, no período de 12 meses (ENERGISA, 2010).

Mês/Ano	Demanda		Consumo		Despesa		Total (R\$)
	Ponta (KW)	Tarifa (R\$/KW)	Ponta (KWh)	Tarifa (R\$/KWh)	Demanda na ponta(R\$)	Consumo na ponta (R\$)	
Ago/10	1.980,00	24,8300	114.000	0,1794	49.163,40	20.451,60	69.615,00
Jul/10	1.740,00	24,8300	108.000	0,1794	43.204,20	19.375,20	62.579,40
Jun/10	1.740,00	24,8300	108.000	0,1794	43.204,20	19.375,20	62.579,40
Mai/10	1.740,00	24,8300	108.000	0,1794	43.204,20	19.375,20	62.579,40
Abr/10	1.740,00	24,8300	102.000	0,1794	43.204,20	18.298,80	61.503,00
Mar/10	1.920,00	24,8300	120.000	0,1794	47.673,60	21.528,00	69.201,60
Fev/10	1.980,00	24,8300	96.000	0,1794	49.163,40	17.222,40	66.385,80
Jan/10	1.740,00	24,8300	102.000	0,1794	43.204,20	18.298,80	61.503,00
Dez/09	1.740,00	24,8300	108.000	0,1794	43.204,20	19.375,20	62.579,40
Nov/09	1.740,00	24,8300	102.000	0,1794	43.204,20	18.298,80	61.503,00
Out/09	1.740,00	24,8300	108.000	0,1794	43.204,20	19.375,20	62.579,40
Set/09	1.980,00	24,8300	102.000	0,1794	49.163,40	18.298,80	67.462,20
				Total (R\$)	540.797,40	229.273,20	770.070,60

As regras gerais, adotadas para a simulação, denominada de 26, estão no Quadro 5.5. Assim, o principal objetivo do evento foi chegar-se ao início do horário de ponta com os reservatórios R-09 e R-05 com os maiores volumes acumulados possíveis, de modo a manterem o abastecimento quando da suspensão da produção de água por 3 horas. A regra 4 é função da derivação existente na adutora DN 700 a montante do R-09 e com destino ao R-05. As regras 7 e 8 foram elaboradas em conformidade com informações da CAGEPA.

Quadro 5.5 - Condições gerais para simulação com operação fora do horário de ponta.

CONDIÇÃO	DESCRIÇÃO
1	Para a EEAT- Gravatá, no horário de ponta (17:30 às 20:30 h), nenhum conjunto motor-bomba funcionará.
2	Para a EEAT- R-05, no horário de ponta funciona a bomba B2_R5 e no fora de ponta, a B3_R5.

Quadro 5.5 – Continuação.

CONDIÇÃO	DESCRIÇÃO
1	Para a EEAT- Gravatá, no horário de ponta (17:30 às 20:30 h), nenhum conjunto motor-bomba funcionará.
2	Para a EEAT- R-05, no horário de ponta funciona a bomba B2_R5 e no fora de ponta, a B3_R5.
3	Quando o R-09 atingir o nível de 5,10 m, a bomba B2-800 é desligada.
4	Quando o R-05 atingir o nível de 3,6m toda a vazão da adutora de DN 700 é destinada ao R-09, retornando o fluxo quando estiver com 2,95 m.
5	B1-700 e B2-700 não funcionam concomitantemente.
6	B1-800 e B2-800 não funcionam concomitantemente.
7	Os níveis iniciais para o R-05 e o R-09 são iguais a 3,0 m.
8	Os níveis mínimos para o R-05 e o R-09 são respectivamente iguais a 2,5 e 1,30 m.

A Tabela 5.16 apresenta os principais resultados da simulação 26.

Tabela 5.16 - Resultado da simulação com operação fora do horário de ponta.

NÍVEL FINAL (m)		FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS EEAT-GRAVATÁ									
		B-500		B1-700		B2-700		B1-800		B2-800	
R-09	R-05	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)	Período (horário)	Tempo (hora)
3,89	2,85	0:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	0	0	0 às 17:30; 20:30 às 24:00	21	5:00 às 7:00	2	0 às 05:00; 7:00 às 17:30; 20:30 às 24:00	19

Na Figura 5.24 tem-se o comportamento dos níveis durante a simulação 26. As condições de atendimento à demanda e pressão mínima foram atendidas.

O R-09 atingiu o nível mais elevado, 4,93 m às 8:01 h. Às 17:30 h estava com 4,85 m e às 20:30 h, 3,54 m. No final da simulação, o nível foi de 3,89 m. Durante o horário de ponta, a queda de nível foi de 1,31 m. Assim, o agendamento proposto atendeu a todas as condições exigidas. A Figura 5.25 apresenta o funcionamento das bombas durante a simulação. Para isso, a bomba B2-800 funcionou 19 horas. Enquanto que a B1-800 trabalhou 2 horas, objetivando evitar o extravasamento do R-09. Outro ponto importante foi o aporte de vazão a

partir da adutora de DN 700. Aconteceu em 4 situações: da 1:14 às 2:29 h, 3:51 às 5:03 h, 7:12 às 8:02 h e das 13:05 às 13:53 h.

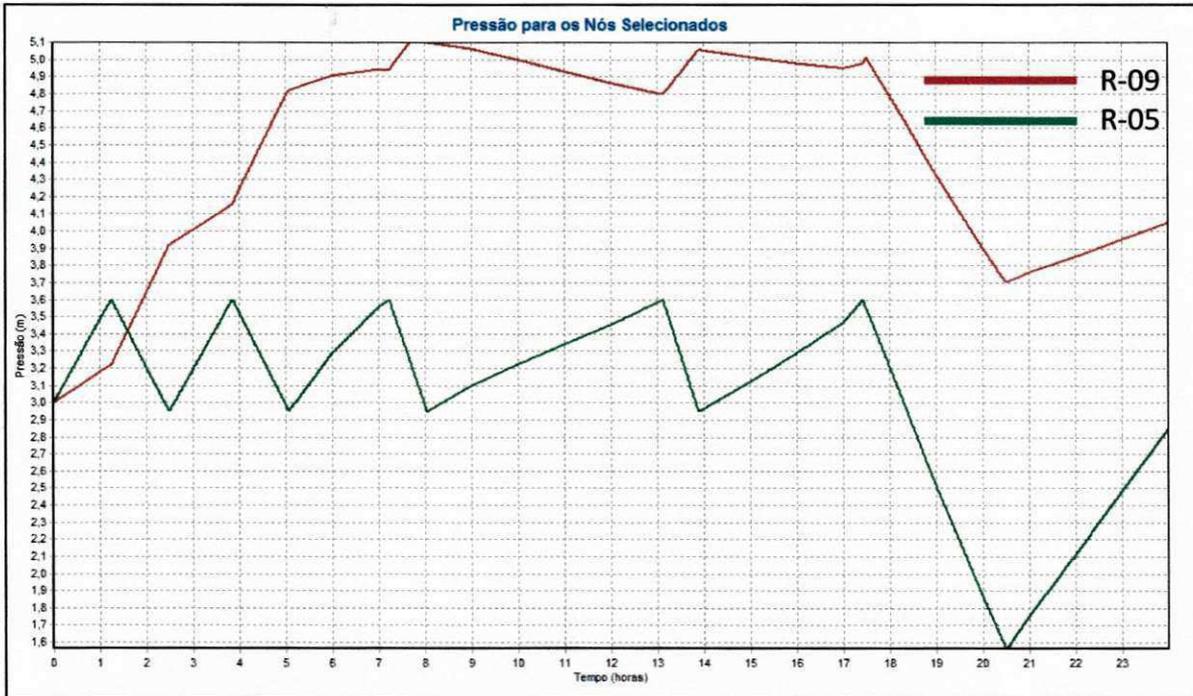


Figura 5.24 – Comportamento dos níveis dos reservatórios, operando fora do horário de ponta (simulação 26).

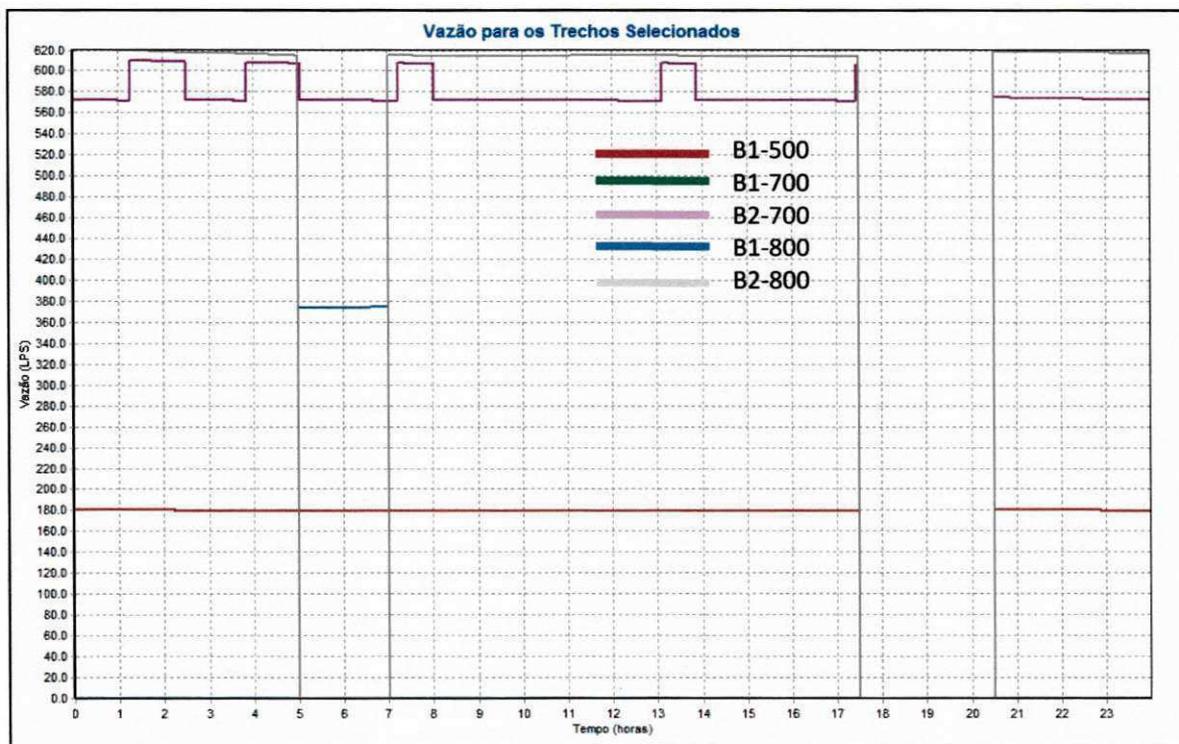


Figura 5.25 – Funcionamento dos conjuntos motobombas operando fora de ponta (simulação 26).

O R-05 atingiu o nível máximo de operação, 3,60 m, nas quatro situações em que toda a água foi destinada ao R-09: às 1:14 h, 3:51 h, 7:12 h e às 13:05 h. No início do horário de ponta, o nível (3,55 m) estava bem próximo do limite máximo operacional. No término, estava com 1,56 m, ou seja, a diminuição no nível foi de 1,99 m. Mas chegou-se ao final das 24 horas a um nível de 2,85 m, abaixo do valor de 3 m, estabelecidos para o início da simulação.

Diante dos resultados, verifica-se que a operação proposta para o R-09 permite que a quantidade de água armazenada até as 17:30 h atenda à demanda solicitada pelo sistema. O agendamento do bombeamento apresentou, como nível final para o R-05, um valor 15 cm abaixo daquele no início da simulação. Mesmo que o limite mínimo de operação seja 1,3 m, não há garantia para o abastecimento na situação estudada, principalmente porque, na maior parte do dia, a vazão de chegada já é o valor máximo atual da adutora de DN 700 e, além disso, não há mais capacidade de reserva suficiente.

Por outro lado, nos sistemas desprovidos de automação, como é o caso do SACG e que são operados em situações limite, o grau de incertezas no controle é bastante elevado.

Diante disso, o SACG, nas suas condições atuais, não dispõe de garantias para que a produção de água na ETA e o funcionamento da EEAT-Gravatá sejam suspensos no período das 17:30 h às 20:30 h. Conforme comentado anteriormente, para que o sistema não funcione no horário de ponta, deverá haver um planejamento detalhado, baseado no diagnóstico das unidades operacionais, identificando-se os principais pontos a se modificar.

Um aspecto importante são as perdas físicas no sistema. Conforme a CAGEPA, as perdas para o SACG têm atingido valores aproximados de 40%. Então, percebe-se a necessidade de implantação de um plano de gestão privilegiando o uso racional da água e priorizando as seguintes atividades: reabilitação das redes, macromedição, melhoria da micromedição, campanhas educativas, pesquisas de vazamentos imperceptíveis, automação, práticas da manutenção preditiva e preventiva e melhoria da corretiva.

Assim, no item seguinte, serão realizadas novas simulações com o objetivo de verificar se o sistema consegue ter a operação da EEAT-Gravatá suspensa durante o horário de ponta, desde que a demanda seja reduzida em 5%, 10% e 15%, respectivamente.

5.3.2.4 Operação com funcionamento apenas no horário fora de ponta e com redução da demanda

Em curto prazo, as práticas para a redução das perdas devem priorizar ações de fiscalização nas ligações domiciliares cadastradas como cortadas (Tabela 5.8) e no abastecimento da zona rural, melhoria do parque de hidrômetros e melhor eficiência nos serviços corretivos de retirada de vazamentos. Assim, haverá uma diminuição na demanda do sistema.

Foram realizadas as simulações 27, 28 e 29, considerando a redução da demanda de 5%, 10% e 15 % no valor 1.114 l/s, utilizado no evento do item 5.3.1. As condições gerais para a simulação são as mesmas do Quadro 5.5. Os principais resultados estão na Tabela 5.17.

Em todas as simulações, as pressões mínimas e as demandas foram atendidas. O reservatório R-09 apresentou os melhores resultados: no início do horário de ponta, seu nível esteve próximo do valor máximo, de modo que a reserva atendeu à demanda e ainda porque, no término das simulações, apresentava-se com níveis maiores que 4,0 m. Contribuiu para isso também o aporte de vazão a partir da adutora de DN 700.

O R-05 também apresentou bons níveis, no início do horário de ponta, mas apresentou baixos valores às 20:30 h, muito próximos do valor mínimo: 1,35 m na simulação 1 e 1,34 m na simulação 29. Mas isso ocorreu devido às regras operacionais previstas na simulação e não devido ao consumo. Na simulação 27, o reservatório atingiu nível máximo (3,60 m) em 4 situações: 3:47 h, 6:54 h, 11:27 h e 15:39 h. A partir do último horário, a água foi toda destinada ao R-09, só retornando após o término do horário de ponta. Na simulação 28 (Figura 5.26), atingiu nível máximo em 6 situações: às 1:07 h, 3:44 h, 6:45 h, 10:33 h, 14:19 h e 17:30 h. Na simulação 29, o R-05 atingiu o nível máximo às 1:03 h, 3:42 h, 6:39 h, 10:00 h, 13:25 h e às 16:34 h. Quando isso acontece, toda a vazão da adutora de DN 700 é destinada ao R-09, só retornando quando o R-05 atingir, 2,95 m. Assim, após atingir, pela última vez, o nível máximo, 1 hora antes do horário de ponta, o R-05 só voltou a receber água a partir das 20:30 h, o que resultou num nível inferior aos 3,0 m no final da simulação.

Tabela 5.17 - Resultado da simulação com operação fora do horário de ponta, considerando redução de demanda.

Simulação	DEMANDA (l/s)			CONDIÇÕES						Nível (m) no horário de ponta			
	Redução (%)	Zonas de pressão A+D	Zonas de pressão B+C	INICIAIS				FINAIS		Início		Término	
				Nível (m)				Nível (m)		R-09	R-05	R-09	R-05
				R-09		R-05		R-09	R-05				
				Mínimo	Inicial	Mínimo	Inicial						
27	5	677,31	380,99	2,50	3,00	1,30	3,00	4,28	2,75	5,10	3,26	3,86	1,35
28	10	641,66	360,94	2,50	3,00	1,30	3,00	4,41	3,31	5,10	3,6	3,92	1,81
29	15	606,02	340,88	2,50	3,00	1,30	3,00	4,63	2,96	5,18	3,03	4,07	1,34

Logo, verifica-se que, para o SACG, é possível a suspensão do funcionamento da EEAT- Gravatá no horário de ponta, sem a necessidade do aumento da oferta, mas sim com a implantação de um programa de gestão de uso da demanda, priorizando, principalmente, a redução de perdas no sistema e realizando-se ajustes operacionais no sistema, conforme as simulações anteriores indicaram.

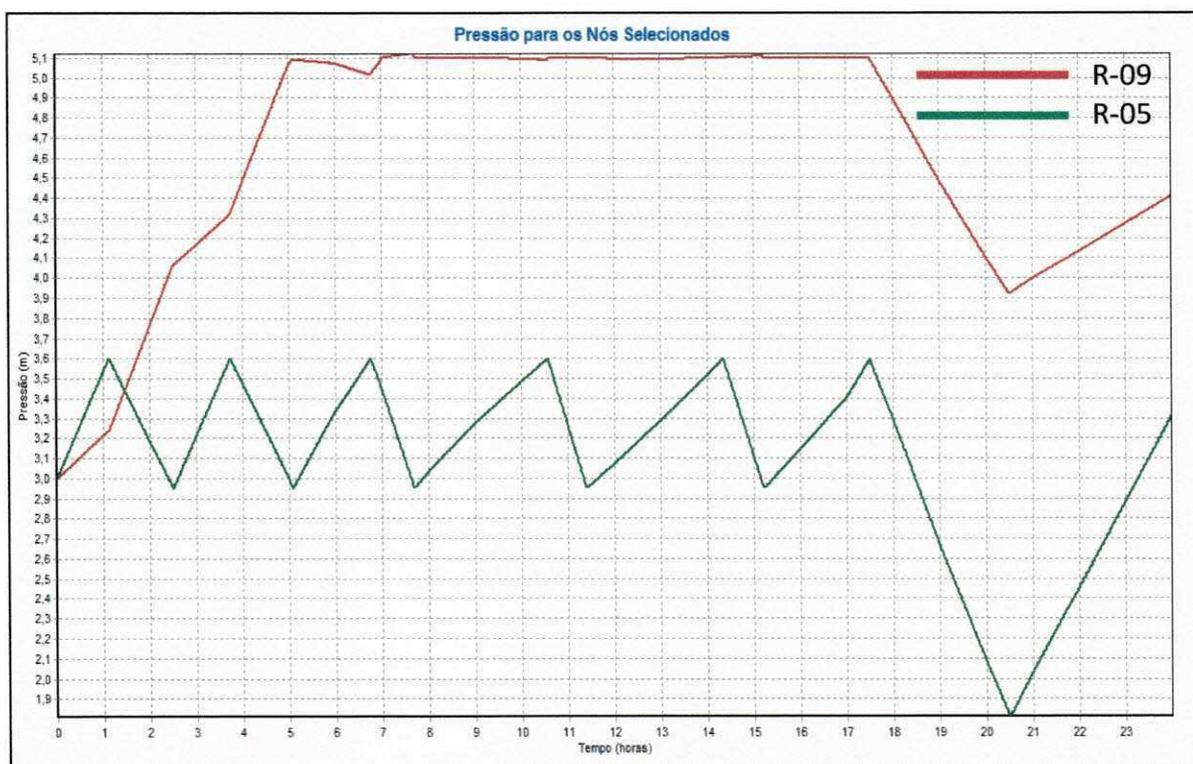


Figura 5.26 – Comportamento dos níveis dos reservatórios na simulação 28.

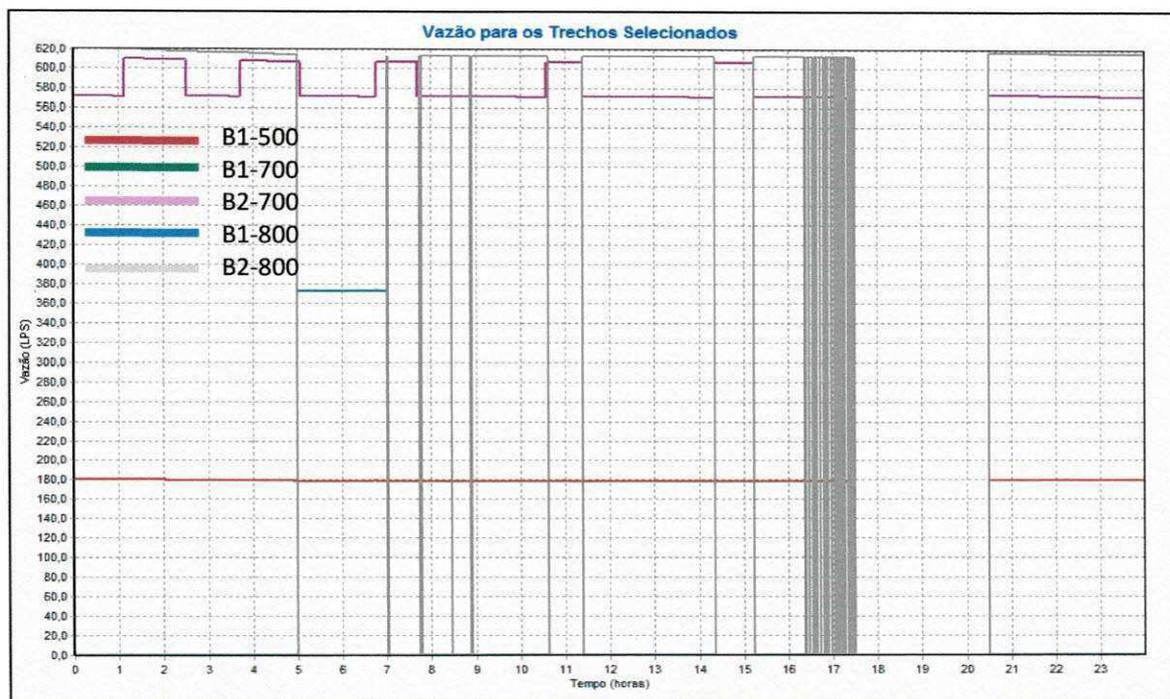


Figura 5.27 – Funcionamento dos conjuntos motobombas operando fora de ponta na simulação 28.

5.4 Regras operacionais

Outro aspecto a se analisar é como o sistema no seu estado atual pode reagir aos aumentos de demanda. Assim, realizaram-se novas simulações, propondo-se o aumento de 5%, 10% e 15% no valor de 1.114 l/s, utilizado nos eventos dos itens 5.3.2.1 (agendamento operacional diário) e 5.3.2.2 (agendamento para execução de manutenção programada). Para isso, consideraram-se as análises da contribuição e aplicabilidade de regras operacionais no sistema de automação, a robustez das regras e os agendamentos propostos.

5.4.1 Agendamento operacional diário

Para o item agendamento operacional diário, foram experimentadas as simulações 3 (mais favorável hidráulicamente), 8 (situação intermediária hidráulica e economicamente) e 14 (mais viável economicamente). Referindo-se aos custos com energia elétrica, a simulação 3 é maior 4,13% que a de número 8 e 9,56% maior que a simulação 14. Já a simulação 8 custa 5,21% a mais que a de número 14.

As Tabelas 5.18 e 5.19 apresentam os principais resultados das simulações.

Tabela 5.18 - Análise da simulação 3 com o aumento da demanda para a operação do item 5.3.2.1 (agendamento operacional diário).

ACRÉSCIMO NA DEMANDA (%)	DEMANDA (l/s)			RESULTADO POR SIMULAÇÃO		
	TOTAL	ZONA A+D	ZONA B+C	3	8	14
5	1169,7	748,608	421,092	Atendeu a todos os critérios.	Atingiu-se a pressão mínima.	Atingiu-se a pressão mínima.
10	1225,4	784,256	441,144	Atendeu a todos os critérios.		
15	1281,1	819,904	461,196	Atingiu-se a pressão mínima.		

A Tabela 5.19 nos indica que apenas a operação da simulação 3 conseguiu atender aos critérios pré-estabelecidos nas situações em que o acréscimo foi de 5 e 10%. A Figura 5.28 demonstra a variação dos níveis dos reservatórios R-09 e R-05 ao longo da simulação 3 para um acréscimo de 5% na demanda. No período de maior consumo (11:00 h às 14:00 h), o nível do R-09 variou de 4,51 m a 4,25 m. No início e término do horário de ponta, respectivamente, os níveis foram de 4,10 m e 3,07 m. No fim da simulação, o nível indicava o valor de 4,06 m. Para um acréscimo na demanda de 15%, a simulação 3 reagiu negativamente, com o R-09 atingindo o nível mínimo (2,50 m) no horário de ponta, às 19:04 h.

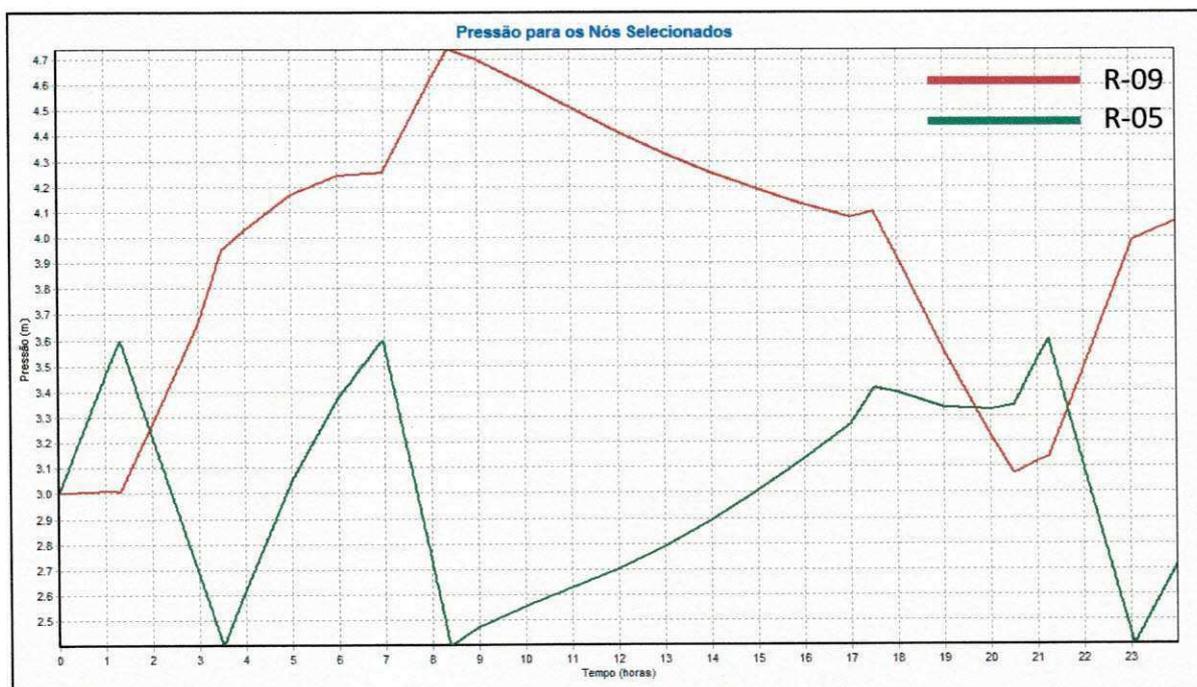


Figura 5.28 – Comportamento dos níveis dos reservatórios, com aumento de 5% na demanda.

Ressalte-se também que, conforme a Tabela 5.19, as outras simulações analisadas (simulação 8 e simulação 14), mais viáveis economicamente, reagem negativamente, ao

aumento da demanda, o que mostra pouca flexibilidade na operação atual. Isso é em função, principalmente, de não se conseguir reserva para os períodos de maior consumo e para o horário de ponta no principal reservatório do sistema, o R-09, que, ao atingir o nível de 2,50 m ocasiona desabastecimento em diversas localidades do sistema, principalmente naquelas situadas nas zonas de pressão A e D.

Tabela 5.19 - Resultados das simulações com o aumento da demanda para a operação do item 5.3.2.1 (agendamento operacional diário).

Acréscimo na demanda (%)	CONDIÇÕES						Nível (m) no horário de ponta				Observações
	INICIAIS				FINAIS		Nível (m)				
	Nível (m)						Início		Término		
	R-09		R-05		Nível (m)		R-09	R-05	R-09	R-05	
	Mínimo	Inicial	Mínimo	Inicial	R-09	R-05					
Simulação 3											
5	2,50	3,00	1,30	3,00	4,06	2,72	4,1	3,41	3,07	3,34	
10	2,50	3,00	1,30	3,00	3,09	2,98	3,61	2,98	2,52	2,82	
15	2,50	3,00	1,30	3,00	2,64	3,21	2,86	3,21	2,5	2,26	O R-09 atingiu 2,50 m às 19:04 h.
Simulação 8											
5	2,50	3,00	1,30	3,00	3,5	2,72	3,35	3,41	2,5	3,34	O R-09 atingiu 2,50 m às 19:54 h.
10	2,50	3,00	1,30	3,00	3,07	2,98	2,86	2,98	2,5	2,82	O R-09 atingiu 2,50 m às 18:26 h.
15	2,50	3,00	1,30	3,00	2,64	3,21	2,7	3,21	2,5	2,26	O R-09 atingiu 2,50 m às 11:56 h.
Simulação 14											
5	2,50	3,00	1,30	3,00	3,5	2,72	2,53	3,41	2,5	3,34	O R-09 atingiu 2,50 m às 15:04 h.
10	2,50	3,00	1,30	3,00	3,07	2,98	2,52	2,98	2,5	2,82	O R-09 atingiu 2,50 m às 12:42 h.
15	2,50	3,00	1,30	3,00	2,64	3,21	2,7	3,21	2,5	2,26	O R-09 atingiu 2,50 m às 9:55 h.

Para a simulação 8, as condições desfavoráveis de pressão, foram atingidas nos horários de maior pressão e no horário de ponta. Isso também ocorreu para a simulação 14. Porém, para a última simulação, na situação mais desfavorável (aumento de 15% na demanda), a pressão mínima foi atingida às 9:55 h (início do horário de maior consumo).

Na situação atual de consumo do SACG, a simulação 3 apresenta as melhores garantias no aspecto variabilidade da demanda, pois, conseguiu os melhores resultados para

os níveis do R-09, quando se aumentava a demanda até um valor de 10%. As simulações mais favoráveis, economicamente (simulação 8 e 14), apresentam condições negativas de pressão, pois, são justamente aquelas em que o agendamento operacional prevê o funcionamento mínimo possível de conjuntos motobombas, e em consequência, uma menor reserva de água.

Por outro lado, além da redução de custos com energia elétrica, a aplicação do agendamento, baseado nas simulações 8 e 14, poderá contribuir para a mudança de paradigmas na gestão operacional do sistema. Os setores de operação e manutenção atuarão preventivamente, evitando-se as falhas em todo o processo operacional e exigindo uma atenção maior no controle. Além disso, os recursos economizados poderão ser utilizados no treinamento do pessoal e na aquisição programada de equipamentos e peças de reposição eletromecânica.

Essa situação, como se constata na simulação 3, revela que ainda existe uma possibilidade de flexibilização da operação do sistema, podendo-se adotar com segurança todos os critérios discutidos, na operação do sistema, principalmente quando o controle operacional for mais confiável e eficiente. Acredita-se que isso irá ocorrer quando o sistema de automação estiver em funcionamento.

5.4.2 Agendamento para execução de manutenção programada com aumento de demanda

Foram realizadas novas simulações para a simulação 18 e para a simulação 20 do item 5.3.2.2, selecionadas como aquelas em que se poderia basear o agendamento da realização de manutenções preventivas no sistema. A Tabela 5.20 apresenta os principais resultados.

O agendamento proposto para a realização de manutenção preventiva na EEAT-Gravatá, com previsão de parada de 2 horas, baseado nas simulações 18 e 20, reagiu negativamente com o acréscimo de demanda de 5%, 10% e 15%. Todos os níveis mínimos para o R-09 foram atingidos em ambas as simulações. Para a simulação 20, o R-05 atingiu o nível mínimo, 1,30 m, em duas situações: com o aumento de 10%, às 11:52 h e com o aumento de 5%, às 11:55 h. Isso indica que, nas condições atuais, a EEAT-Gravatá só consegue ter sua operação suspensa por 2 horas e no limite de atendimento da demanda, não dispondo de flexibilidade para o aumento da mesma.

Tabela 5.20- Resultados das simulações com o aumento da demanda para a operação do item 5.3.2.2 (agendamento para manutenção programada).

Acréscimo na demanda (%)	CONDIÇÕES						Nível (m) no horário de ponta				Observações
	INICIAIS				FINAIS		Início		Término		
	Nível (m)				Nível (m)		R-09		R-05		
	R-09		R-05		R-09	R-05	R-09	R-05	R-09	R-05	
	Mínimo	Inicial	Mínimo	Inicial							
Simulação 18											
5	2,50	3,00	1,30	3,00	2,81	3,57	3,13	2,51	2,5	2,45	O R-09 atingiu 2,50 m às 19:15 h.
10	2,50	3,00	1,30	3,00	2,72	2,92	2,67	2,01	2,5	1,85	O R-09 atingiu 2,50 m às 17:56 h.
15	2,50	3,00	1,30	3,00	2,64	2,32	2,5	1,61	2,5	1,36	O R-09 atingiu 2,50 m às 14:33 h.
Simulação 20											
5	2,50	3,00	1,30	3,00	2,79	3,16	3,03	2,04	2,5	1,99	O R-09 atingiu 2,50 m às 18:57 h e o R-05, 1,30, às 11:55 h.
10	2,50	3,00	1,30	3,00	2,72	2,73	2,51	1,82	2,5	1,67	O R-09 atingiu 2,50 m às 18:26 h e o R-05, 1,30 às 11:52 h.
15	2,50	3,00	1,30	3,00	2,64	2,38	2,5	1,67	2,5	1,42	O R-09 atingiu 2,50 mm às 11:51 h.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após todo o desenvolvimento deste trabalho, são apresentadas conclusões e recomendações acerca do SACG.

6.1 Conclusões

Após a análise do SACG pode-se concluir que:

Pelo diagnóstico realizado para as unidades operacionais, verifica-se que nos últimos anos houve grande expansão da rede de distribuição de água para áreas não previstas nas zonas de abastecimento do sistema. A maior parte das novas tubulações assentadas tem diâmetros entre DN 50 e DN 150. Nos trechos existentes, há tubos de cimento amianto e ferro fundido em avançado grau de desgaste, sinalizando a necessidade de implementação de programa de reabilitação.

Constatou-se a necessidade de implantação de programa de gestão da manutenção preditiva e preventiva nas redes de distribuição, adutoras e nas estações elevatórias.

Verificou-se a necessidade de implantação de programa de planejamento da macromedição (instalação de equipamentos) e micromedição (substituição de hidrômetros e fiscalização nas ligações que se encontram cortadas).

O número de vazamentos na rede de distribuição, a falta de controle automático dos reservatórios e a inexistência de manutenção preventiva indicam que o índice de perdas físicas é elevado.

Com a estação de tratamento trabalhando no limite máximo de sua produção, não há muitas possibilidades de flexibilização da operação do SACG.

Verificou-se que, em diversas regiões atendidas pelo sistema, há dificuldades no abastecimento, decorrentes principalmente da expansão da rede, sem planejamento técnico prévio.

Os níveis mínimos de diversos reservatórios foram elevados e algumas estações elevatórias já funcionam na capacidade máxima.

Constatou-se que o perfil de consumo, elaborado para o SACG, indica que não há grandes variações da demanda ao longo do dia e dos meses do ano.

Verificou-se que é possível elaborar um agendamento operacional diário para a EEAT-Gravatá, a EEAT-8 (elevatória do R-05) e os reservatórios R-09 e R-05, objetivando-

se o atendimento da demanda e de pressões mínimas com menores custos de energia elétrica, em que o agendamento selecionado reage bem a um aumento de até 10% na demanda atual.

Identificou-se que é possível, durante o turno da manhã, suspender por 2 horas consecutivas, o funcionamento da EEAT- Gravatá para realização de atividades de manutenção (nesta unidade ou nas adutoras de água tratada) com o sistema de reservação existente, conseguindo suprir a demanda do sistema. Sendo recomendável essa paralisação no período das 8:00 h às 10:00 h.

Não é possível suspender a produção de água durante o horário de ponta (17:30 h às 20:30 h). Porém, caso haja a implantação de um programa de controle e redução de perdas e se consiga reduzir a demanda do sistema a partir de valores iguais a 5%, consegue-se operacionalizar o sistema sem o funcionamento da EEAT- Gravatá.

Constatou-se que, com uma redução da demanda a partir de 5%, possibilita-se a elaboração de um melhor agendamento operacional para as unidades operacionais.

As regras utilizadas para a operação das estações elevatórias e dos reservatórios do SACG, ajustadas através do modelo EPANET, indicam ser uma boa ferramenta de gestão da operação e da tomada de decisão para gestão do sistema, por permitir a visualização de diversos cenários específicos e permitir possibilidades de mudanças na operação, decorrentes das diversas incertezas e do crescimento da população atendida.

6.2 Recomendações

Com base nas análises realizadas neste trabalho, para futuros estudos, recomenda-se:

- Fazer novo estudo para o problema, utilizando modelos de otimização.
- Elaborar um estudo para o SACG, com a modelagem em nível detalhado, considerando todos os subsistemas.
- Elaborar um estudo para determinação das perdas físicas do SACG.
- Desenvolver um estudo minucioso sobre as zonas de pressão da rede.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Açudes Monitorados. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=531>>. Acesso em 10 fev. 2011.

ACQUAPLAN. Sistema de abastecimento de água. Cidade de Campina Grande. Volume III – Tomo I, concepção do sistema de distribuição de Campina Grande. Recife, 1979.

ACQUAPLAN. Sistema de abastecimento de água. Cidade de Campina Grande. Volume IV - Projeto Técnico, 4ª Parte (Especificações da solução), 1980.

ALBUQUERQUE, A. A. Análises e Métodos de Otimização para Eficiência Energética de Estações Elevatórias em Sistemas de Abastecimento de Água. Tese de Doutorado. Programa Institucional de Doutorado Temático em Recursos Naturais da UFCG. Campina Grande, 2007.

ALMEIDA, S.A.B. Contribuição à aplicação de coeficientes de consumo em projetos de Abastecimento de Água. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Civil e Ambiental da UFCG. Campina Grande, 2007.

BARBOSA, J.M.S.G.; GALVÃO, C.O.; GOMES, H.P., et al., Operação otimizada de parte do sistema adutor de Campina Grande-PB. In: Anais do Seminário Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água: O Estado da Arte e Questões Avançadas, 2002.

BARBOSA, J.M.S.G. Simulação da operação de bombas em sistemas de abastecimento de água. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPB. Campina Grande, 2001.

BARBOSA, P.S.F.; COSTA, A.A.; SANTOS Jr, J.B.S. Um algoritmo de programação linear para análise de redes hidráulicas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 4, n. 4, 1999.

BEZERRA, S.T.M.; SILVA, S.A. Automação e Controle. In: GOMES, H.P., (Org.). Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energética. 1ª ed., capítulo 5, João Pessoa, Brasil, Editora Universitária da UFPB, 2009.

BISCOS, C.; MULHOLLAND, M.; LANN, M.V. L.E., et al, Optimal operation of water distribution networks by predictive control using MINLP. Water AS, vol. 29, 2003.

BORGES, V.M.N.A; Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real – Estudo de Caso: Sistema adutor metropolitano de São Paulo, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, 2003.

CASTRO, M.A.H. O sistema UFC para simulação hidráulica de redes de abastecimento de água, de esgoto e adutoras. In: GOMES H., GARCIA R., REY (EDS). Abastecimento de

Água – O Estado da Arte e Técnicas Avançadas. 1ª ed., capítulo 15, João Pessoa, Brasil, Editora Universitária da UFPB, 2007.

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Relatório de Informações Cadastrais. Campina Grande, 2008.

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Relatório de Informações Cadastrais. Campina Grande, 2009.

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Relatório de Informações Cadastrais. Campina Grande, 2010.

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Relatório de Informações Cadastrais. Campina Grande, 2011.

CARRIJO, I.B.; REIS, L.F.R.; CHEUNG, P.B. SOARES, A.K., SILVA, F.G.B., Otimização da Operação de Sistemas de Distribuição de água utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivo. In: Identificar qual a publicação: O Estado da Arte e Questões Avançadas, 2002.

CARRIJO, I.B. Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2004.

CARRIJO, I. B.; REIS, L. F. R. Extração de Estratégias Operacionais Ótimas de Sistemas de Distribuição de Água Utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivo e Aprendizado de Máquina – Aplicação ao Sistema de Macro-distribuição de Água de Goiânia. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 11, n.2 Abr/Jun, 2006.

CARRIJO, I. B; FORMIGA, K. T. M.; SIQUEIRA, E.Q. Abastecimento de água: usos de modelos e softwares de análise de redes. RECESA - Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental, 1. ed. Brasília, 2008.

CAVALCANTI, A. F. D. Projeto para implantação de estação elevatória do R-09 para o R-05. Campina Grande, 2006.

CAVALCANTI, A. F. D. Projeto de captação superficial para o açude Epitácio Pessoa, sistema de abastecimento de Campina Grande. Campina Grande, 2004.

CHEUNG, P.B.; REIS, L.F.R. Gerenciamento da Qualidade da Água em Sistemas de Distribuição – Técnicas Computacionais. In: GOMES H., GARCIA R., REY (EDS). Abastecimento de Água – O Estado da Arte e Técnicas Avançadas. 1ª ed., capítulo 1, João Pessoa, Brasil, Editora Universitária da UFPB, 2007.

CONSTRUTORA PAN-AMÉRICA LTDA. Abastecimento de água de Campina Grande, PB. Rede de distribuição. Projeto – Orçamento, João Pessoa. 1959.

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H.; RAMOS, H. Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Volume 15, n.2, Abr/Jun, 2010.

CULLINANE M. J.; LANSEY K.E.; MAYS L.W. Optimization- Availability- Based Design Of Water-Distribution Networks. Journal of Hydraulic Engineering, v. 118, n. 3, p. 420-441, 1992.

FARMANI, R.; INGEDULD, P.; SAVIC, D.; et al., Real-time modeling of a major water supply system. Water Management. v. 160, n. 2, Jun, 2007.

FRANCATO, A.L. Otimização Multiobjetivo para a Operação de Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

FUNASA. Manual de Saneamento: Orientações Técnicas. Brasília, 2006.

FALKENBERG, A.V. Previsão de Consumo Urbano de Água em curto prazo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

GAIO, M.M., Mecânica computacional aplicada ao abastecimento de água. In: HELLER, L., LÚCIO DE PAULA, V. (orgs). Abastecimento de água para consumo humano. Capítulo 16, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Editora UFMG, 2006.

GOMES, H.P. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GOMES, H. P. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. 2ª ed, João Pessoa, Brasil, Editora UFPB, 2009.

GOMES, H. P.; BEZERRA, S. T. M.; LUCENA, W. L. C.; CARNEIRO, G. B. Otimização operacional dos sistemas adutores Prata e Jucazinho, Pernambuco, Brasil. In: GOMES H (org). Sistemas de saneamento – Eficiência energética. 1ª ed., João Pessoa, Brasil, Editora Universitária da UFPB, 2010.

GUMIER, C.C. Aplicação de modelo matemático de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

HELLER, L., Concepção de instalações para o abastecimento de água. In: HELLER, L., LÚCIO DE PAULA, V. (orgs). Abastecimento de água para consumo humano. Capítulo 1, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Editora UFMG, 2006.

HERNANDEZ, V.; MARTINEZ, F., et al. HIPERWATER: A High Performance Computing EPANET-Based Demonstrator for Water Network Simulation and Leakage Minimisation. Water Industry Systems: modeling and optimization applications. Volume 1. Research Studies Press Ltd. Exeter, England, 1999.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Sinopse/Unidades_da_Federacao/sinopse_uf_Paraiba.zip>. Acesso em 15 jan. 2011.

INGEDULD, P. Real-Time Forecasting with EPANET. In: World Environmental and Water Resources Congress, ASCE 2007: Restoring Our Natural Habitat, Florida, USA, 2007.

INGEDULD, P, PRADHAN, A., SVITAK, Z., et al. Modelling intermittent water supply systems with EPANET. In: Proceedings of the 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, USA, 2006.

JAMES, K.; CAMPBELL, S. L.; GODLOVE, C. E. Água e energia - Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas municipais. Alliance - Aliança para Conservação de Energia. Washington, USA, 2002.

JARRIGE, P.A. Optimal Control of Water Distribution networks. Technical Survey and Practical Applications. In: Water Supply Systems of the Art and Future Trends, Valencia, Spain: Ed. by E. Cabrera and F. Martinez, 1993.

LACERDA, I. S., Regras de Operação para Sistemas de Abastecimento de Água com baixo nível de automação e sujeitos a incertezas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG. Campina Grande, 2009.

LACERDA, I. S.; LUCENA, K. F. M.; GALVÃO, C. O.; MACHADO, E. C. N.; PEDROSA FILHO, L., Operação multi-objetivo de sistemas de abastecimento de água: regras heurísticas. In: Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água – VIII SEREA, Lisboa, 2008.

LEITE, D. U., Manual do Usuário – Sistema Gestão Contas de Energia Elétrica versão 3.4.00. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. João Pessoa, PB, 2010.

LEITE, D. U., Relatório de gestão de energia. Gerência de Gestão de Energia – GEGE. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. João Pessoa, PB, 2011.

LUVIZOTTO JÚNIOR, E., Controle operacional de redes de distribuição de água auxiliado por computador. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

MACHELL, J.; MOUNCE, S.R.; BOXALL, J.B. Online modelling of water distribution systems: a UK case study. Drinking Water Engineering and Science, 2010.

MAYS, L.W.; YEOU-KOUNG, T. Hydrosystems Engineering and Management . MC Graw Hill. USA, 1992.

MONTENEGRO, L.L.B. Eficiência Hidráulica e Energética da operação do bombeamento para o abastecimento do Bairro de Mangabeira em João Pessoa. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em engenharia urbana e ambiental da UFPB. João Pessoa, 2009.

NEVES, L.A. Otimização de redes do ponto de vista da confiabilidade do Sistema de Abastecimento de Água. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPB. Campina Grande, 2002.

ODAN, F.K. Previsão de Demanda para Sistema de Abastecimento de Água. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

OHARA, C.; LACERDA, F. R. et al. Metodologia e aplicativo computacional para definição de limites operacionais de segurança dos reservatórios do sistema adutor metropolitano de São Paulo. Revista Saneas, Vol. 01, nº 14, 2002.

O'NEIL, M. B.; EDWARDS, W. R. Complexity measures for rule-based programs. IEEE Transactions of Knowledge and Data Engineering, v. 6, n.5, 1994.

ORMSBEE, L.E., REDDY, S.L., Nonlinear Heuristic for Pump Operations. In: Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1995.

ORMSBEE, L.E; LANSEY, K.E., Optimal Control of Water Supply Pumping Systems. Journal of Water Resources Planning and Management, v.120, n.2, 1994.

OSHIMA, N.; KOSUDA, T. Distribution reservoir control with demand prediction using deterministic-chaos method. Water Science and Technology, vol. 37, n. 12, 1998.

PEDROSA FILHO, L. A., 2006. Um modelo de operação de sistemas adutores de abastecimento de água com vistas à minimização dos custos energéticos. Tese de Doutorado. Programa Institucional de Doutorado Temático em Recursos Naturais da UFCG. Campina Grande, 2006.

PEDROSA FILHO, L. A.; GOMES, H. P.; REY, P. L. I., Um modelo para definição de estratégias operacionais ótimas em sistemas adutores de abastecimento de água. Seminário Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Morelia, Mich.México, 2007.

PROTOPAPAS, A. L.; KATCHAMART, S.; PLATONOVA, A. Weather effects on daily water use in New York city. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, vol. 5, n. 3, 2000.

RÊGO, J. C.; RIBEIRO, M. M. R.; ALBUQUERQUE, J. P. T. e GALVÃO, C. O. Participação da Sociedade na Crise 1998-2000 no Abastecimento d'água em Campina Grande – PB, Brasil. In: IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. Foz do Iguaçu: ABRH/IWRA, 2001.

RIBEIRO, L. C. L. J.; LUVIZOTTO JUNIOR, E. Modelo Híbrido para Redução de Consumo de Energia Elétrica Garantindo Manutenção de Pressões Mínimas de Serviço. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volu. 11 n.2, 2006.

RIBEIRO, L. C. L. J. Modelo híbrido multiobjetivo para obtenção de roteiros operacionais de bombas de rotação variável em instalações hidráulicas. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

- RIGHETTO, A. M. Operação ótima de sistema urbano de distribuição de água. Seminário: Planejamento, projeto, e operação de redes de abastecimento de água. O estado da arte e questões avançadas. João Pessoa, Paraíba, CD-ROM, 2002.
- ROSSMAN, L.A. Computer Models/Epanet. In: MAYS, L.W., Water Distribution Systems Handbook., capítulo 12, New York, EUA, Editora McGraw-Hill Handbooks, 2000.
- ROSSMAN, L. A. EPANET 2.00. 12. Users Manual. U.S. Environmental Protection Agency – EPA, Cincinnati, Ohio, 2008.
- SAKARYA, B.A.; MAYS, L. W. Optimal Operation of Water Distribution Pumps Considering Water Quality. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 126, N.4, 2000.
- SECCO, C. K. Z. Regras operacionais. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3ª edição. Capítulo 8, São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - USP, 2006.
- SEIXAS FILHO, C. Muito além da sala de controle. Revista Saneas, Vol. 02, nº 24, 2006.
- SIQUEIRA, E. Q. Complexity and uncertainty in hydrological modeling for urban areas of varying database quality. Tese (Doctor of Philosophy). University of Guelph. Guelph, Canada, 2003.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - Ano 2008. Disponível em <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em 12 jan. 2011.
- SOUSA, R. T. Subgerência de Manutenção de Água, Gerência Regional da Borborema, CAGEPA, Campina Grande, PB, 2011. (Comunicação Pessoal).
- TAHA, H.A. Operations Research: Na Introduction. Fourth Edition, New York: Macmillan Publishing Company, 1987.
- TARDELLI, J.F. Aspectos Gerais Relativos a um centro de controle operacional de um sistema de abastecimento de água. Relatório apresentado à OPS e ao Serviço Nacional de Abastecimento de Água Potável do Peru, 1987.
- TEIXEIRA, A. Relatório de informações sobre consumo de energia. Comunicação Pessoal, 2010.
- TSUTIYA, M.T. Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água, 1ª Ed., São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
- TSUTIYA, M.T. Abastecimento de Água. 3ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - USP, 2006.

TOMOVIC, S.; NIKOLIC, V.; MILICEVIC, D., Modelling of Water System of City of Budva. BALWOIS. Ohrid, Republic of Macedonia, 2010.

TROJAN, F.; KOVALESKI, J.L., Automação no abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho. XII SIMPEP. Bauru, SP, 2005.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a infância. Estudio conjunto UNICEF/OMS sobre El abastecimiento de água y El saneamiento como componentes de La atención sanitária primaria. UNICEF, 1978.

VENTURINI, M.A.A.G.; Contribuição ao Estudo de Otimização de Redes Hidráulicas através de um Modelo de Programação Linear. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. UNICAMP, 1997.

VICENTE, R.V. Modelo de Operação para centros de controle de abastecimento de água. Estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da USP. São Paulo, 2005.

WALSKI, T.M. Using Water Distribution Systems Models. In: Journal of the American Water Works Association, 1983.

WALSKI, T.M. Advanced Water Distribution Modeling and Management, First Edition, Waterbury, USA: Haestad Methods, 2003.

WHITTLE, A. J.; GIROD, L.; et al., Waterwise@sg: a testbed for continuous monitoring of the water distribution system in Singapore. Water Distribution System Analysis 2010 – WDSA2010, Tucson, AZ, USA, Sept. 12-15, 2010.

ZHOU, S. L.; M.C MAHON, T. A.; WALTON, A.; LEWIS, J. Forecasting daily urban demand: a case study of Melbourne. Journal of Hydrology, ASCE, vol. 236, 2000.

ZIMOCH, I. Application of Computer Simulation in Assisting of Water Supply System Management. International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering Ohrid, Macedônia, 2009.