

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

ANTÔNIO VIEIRA BATISTA DE NAZARÉ

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA ADUTOR PRINCIPAL DA BACIA
LEITEIRA EM ALAGOAS UTILIZANDO O EPANET**

Maceió

2012

ANTÔNIO VIEIRA BATISTA DE NAZARÉ

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA ADUTOR PRINCIPAL DA BACIA
LEITEIRA EM ALAGOAS UTILIZANDO O EPANET**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS), da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Professor Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza

Maceió
2012

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Maria Auxiliadora G. da Cunha

N335m Nazaré, Antônio Vieira Batista de.
Modelagem e simulação do sistema adutor principal da bacia leiteira em Alagoas utilizando o EPANET / Antônio Vieira Batista de Nazaré . – 2012.
206 f. : il. tabs., gráfs.

Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 165-169.

Apêndices: f. 170-206.

1. Sistema de abastecimento de água. 2. Modelagem e simulação no EPANET.
I. Título.

CDU: 556.531:628.1.033/034



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS



MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA ADUTOR PRINCIPAL DA BACIA LEITEIRA UTILIZANDO O EPANET

ANTÔNIO VIEIRA BATISTA DE NAZARÉ

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 13 de abril do ano de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
(Orientador/PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Nélia Henriques Callado
(PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa
(PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Luisa Fernanda Ribeiro Reis
(EESC/USP)

AOS MEUS PAIS (*in memoriam*)

Maria José Vieira de Nazaré

Licurgo Batista de Nazaré

AOS MEUS TIOS MATERNOS (*in memoriam*)

Avelino Vieira dos Santos

Maria de Jesus Vieira dos Santos

À MINHA FAMÍLIA

A minha esposa Aldery e aos meus filhos Fábio e Cristiane,
por acreditarem em mim e por me darem a tranquilidade
e o apoio necessários, sempre com uma palavra de
incentivo nos momentos mais difíceis dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pela graça de estar aqui, por me dar forças para superar as dificuldades, saúde para trabalhar e por me guiar pelas sendas da vida.

Aos colegas professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento e em especial, ao Professor Doutor Vladimir Caramori Borges de Souza, meu orientador e amigo, pelas valiosas orientações e por não medir esforços no sentido de me proporcionar as condições para a consecução deste trabalho.

À Direção da Unidade Acadêmica de Ensino - CTEC, nas gestões dos Professores Doutores Aline da Silva Ramos Barbosa e Valmir de Albuquerque Pedrosa, respectivamente, pelo apoio logístico a esse trabalho.

À Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL por liberar as informações gerenciais imprescindíveis à realização deste trabalho, especialmente a Professora Doutora Nélia Henriques Callado Sarmento e os Engenheiros Luis Emanuel de França Costa, Gerente de Engenharia e Mauro Azevedo de Borba Delgado, Supervisor de Eficiência Energética da CASAL.

Agradeço de forma particular aos técnicos José Arnaldo Pereira, Coordenador Operacional e Erickson Aquino Dantas, Coordenador de Produção e Distribuição da Unidade de Negócios da Bacia Leiteira – UNBL, por todos os dados repassados e por todo o apoio logístico ao longo das três campanhas de campo, pois certamente, sem a contribuição deles tudo teria sido mais difícil.

Agradecimentos também ao técnico Fróbel Alex Martins da Silva, supervisor de macro-medição da Casal, à funcionária Ione Leopoldino de Oliveira Barros, responsável pelo setor de arquivo e mapoteca da Gerência de engenharia da Casal e aos alunos do curso de graduação da engenharia civil da UFAL Carlos, Stephanie e Rita Dantas pela importante ajuda na elaboração dos desenhos em CAD. Finalizando, agradeço ao Professor Doutor Carlos de Oliveira do projeto SegHidro2 da UFCG e ao engenheiro civil e mestre Ivonaldo de Souza Lacerda pelos importantes e imprescindíveis aconselhamentos ao longo de todo o trabalho.

RESUMO

Nazaré, A.V.B. **Modelagem e simulação do sistema adutor principal da bacia leiteira em Alagoas utilizando o EPANET**. 2012. 209 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

Este trabalho apresenta um estudo de caso real de um sistema adutor de abastecimento d'água utilizando o simulador computacional EPANET, determinando 6 (seis) cenários ou estratégias operacionais com foco na redução do custo energético, mantendo a confiabilidade do sistema. Os resultados mostram que, atualmente, o uso da simulação computacional é uma metodologia viável possibilitando, de forma rápida e eficiente, a construção de regras e alternativas operacionais que possibilitam à equipe gestora tomar decisões mais rápidas e de forma mais eficiente visando à otimização operacional do sistema.

Palavras-chave: Sistema de abastecimento de água. Modelagem e simulação no EPANET.

ABSTRACT

Nazaré, A.V.B. Modeling and simulation of a pipelined water supply system using the computational simulator EPANET. 2012. 209 f. Dissertation (MSc in Water and Sanitation) - Graduate Program in Water and Sanitation - PPGRHS - Federal University of Alagoas, Maceió, 2012.

This work presents a real case study of a pipelined water supply system using the computational simulator EPANET, determining 6 (six) operational sceneries or strategies focused on the reduction of the energy cost, maintaining the reliability of the system. The results show that, nowadays, the use of computational simulation is a viable methodology; enabling the development of rules and operational alternatives which assist the management team in the decision-making process in a fast and efficient way, aiming the operational optimization of the system.

Keywords: Water supply system. Modeling and simulation using EPANET.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1	Esquema técnico-gerencial de um sistema de abastecimento de água	15
FIGURA 2.1	Diagrama típico de um sistema de abastecimento d'água	19
FIGURA 2.2	Tipos de reservatórios e sua posição no terreno	20
FIGURA 2.3	Curvas diárias de consumo de Itaquera – região metropolitana de São Paulo	29
FIGURA 2.4	Curvas diárias de consumo de 22 setores da região metropolitana de São Paulo	29
FIGURA 2.5	Rotina para ajuste das regras operacionais	31
FIGURA 2.6	Mapa de rede gerado pelo EPANET	34
FIGURA 2.7	Tabela de dados gerados pelo EPANET	35
FIGURA 2.8	Gráfico de séries temporais gerado pelo EPANET	35
FIGURA 2.9	Gráfico de escolinhas gerado pelo EPANET	36
FIGURA 2.10	Sistemas coletivos de oferta de água em Alagoas	47
FIGURA 2.11	(a) Nascente do rio São Francisco; (b) Placa indicando a nascente do rio S. Francisco	48
FIGURA 2.12	Foz do rio São Francisco na praia do Peba em Alagoas	49
FIGURA 2.13	Trajetória do canal do sertão em Alagoas	50
FIGURA 3.1	Fluxograma esquemático da metodologia adotada	51
FIGURA 3.2	Topologia do sistema coletivo da bacia leiteira	56
FIGURA 3.3	Tomada de água no rio São Francisco em Pão de Açúcar/AL	58
FIGURA 3.4	Estação Elevatória EE-1	58
FIGURA 3.5	Altitude e tipo de abastecimento dos reservatórios do sistema adutor principal	61
FIGURA 3.6	Kit de uma medição proporcional	64
FIGURA 3.7	Gráfico do padrão de consumo horário para a cidade de Santana do Ipanema	65
FIGURA 3.8	Curvas característica e de rendimento das bombas B1, B2 e B3	72
FIGURA 3.9	Busca e análise dos projetos executivos do sistema Adutor	74
FIGURA 3.10	Levantamento em campo: (a) características das bombas B1, B2 e B3 e, (b) reservatório pulmão do sistema em Olho d'Água das Flores.	75
FIGURA 3.11	Levantamento em campo: (a) características das bombas B4 e, (b) detalhes da placa da bomba B4.	76
FIGURA 3.12	Etapas de medição pitométrica	77
FIGURA 3.13	Detalhe da tela de computador gerada pelo soft da maleta de medição LAMON	78
FIGURA 3.14	Variações dos níveis de água dos 5 principais reservatórios da bacia leiteira	82
FIGURA 3.15	Secção interna de uma tubulação antiga retirada da rede	84
FIGURA 3.16	Diagrama esquemático do sistema adutor principal da bacia leiteira	93
FIGURA 4.1	Operação dos RNV's de Olho d'Água das Flores, Carneiros e Senador Rui Palmeira	97
FIGURA 4.2	Operação das bombas B25 e B26	98
FIGURA 4.3	Resultado simulado dos reservatórios de Ouro Branco e Maravilha – 240 horas	99
FIGURA 4.4	Resultado simulado dos reservatórios de Ouro Branco e Maravilha – 50 horas	99
FIGURA 4.5	Resultado simulado nos reservatórios S. Ipanema e P. Trincheiras – 240 horas	99
FIGURA 4.6	Resultado da simulação nos reservatórios S. Ipanema e P. Trincheiras – 50 horas	100
FIGURA 4.7	Resultado da simulação da operação das bombas B10 e B11 – 240 horas	101
FIGURA 4.8	Resultado da simulação da operação das bombas B10 e B11 – 140 horas	101
FIGURA 4.9	Resultado simulado da operação das bombas B12 e B13 – 240 horas	101
FIGURA 4.10	Resultado simulado da operação das bombas B12 e B13 – 50 horas	102
FIGURA 4.11	Níveis de água no reservatório no povoado de Areia Branca	103
FIGURA 4.12	Curva X da bomba B14_15	103
FIGURA 4.13	Operação simulada da bomba B14_15	104
FIGURA 4.14	Variação do nível da água no reservatório de Olivença	104
FIGURA 4.15	Variação do nível da água nos RNV's de Cacimbinhas, M. Isidoro e Jaramataia	105
FIGURA 4.16	Variação do nível da água no reservatório de Batalha e Chaminé	105
FIGURA 4.17	Simulado da operação das bombas B18 e B18A	106
FIGURA 4.18	Regime de Operação das bombas B19 e B20	106
FIGURA 4.19	Regime de Operação das bombas B23 e B24	107
FIGURA 4.20	Regime de Operação do reservatório de Jacaré dos Homens	107
FIGURA 4.21	Regime de Operação do reservatório de Belo Monte	108
FIGURA 4.22	Regime de Operação do reservatório de Monteirópolis	108
FIGURA 4.23	Regime de Operação dos reservatórios de Olivença e São José da Tapera	109
FIGURA 4.24	Regime de Operação do reservatório de Pão de Açúcar	110
FIGURA 4.25	Vazão no trecho alimentador da cidade de Palestina	110
FIGURA 4.26	Regime de Operação do reservatório de Olho d'Água das Flores	111
FIGURA 4.27	Regime de Operação do reservatório EE2	111
FIGURA 4.28	Regime de Operação do reservatório EE1	111
FIGURA 4.29	Regime de Operação das bombas B1 e B2 na Captação	112
FIGURA 4.30	Regime de Operação do reservatório EE1	112
FIGURA 4.31	Regime de Operação das bombas B7 e B8	113

FIGURA 4.32	Operação simulada das bombas B1 e B2 da Captação – 240 horas	115
FIGURA 4.33	Operação simulada das bombas B1 e B2 da Captação – 50 horas	115
FIGURA 4.34	Operação simulada das bombas B4 e B5 da EE1 – 240 horas	116
FIGURA 4.35	Operação simulada das bombas B4 e B5 da EE1 – 50 horas	116
FIGURA 4.36	Operação simulada das bombas B7 e B8 da EE2 – 240 horas	116
FIGURA 4.37	Operação simulada das bombas B7 e B8 da EE2 – 50 horas	117
FIGURA 4.38	Operação simulada do nível de água no reservatório EE1	117
FIGURA 4.39	Operação simulada do nível de água no reservatório EE2	118
FIGURA 4.40	Operação simulada do nível de água no reservatório de Olho d'Água das Flores	118
FIGURA 4.41	Operação simulada do nível de água no reservatório de Santana do Ipanema	119
FIGURA 4.42	Operação simulada do nível de água no reservatório de Batalha	120
FIGURA 4.43	Simulação do nível de água no RNV's de Trincheiras, Maravilha e O. Branco	120
FIGURA 4.44	Operação simulada do nível de água no RNVs Major Isidoro, Cacimbinhas e Jaramataia	121
FIGURA 4.45	Variação de nível do reservatório EE1	123
FIGURA 4.46	Regime de operação das bombas B1 e B2	124
FIGURA 4.47	Variação de nível do reservatório EE2	124
FIGURA 4.48	Regime de operação das bombas B4 e B5	125
FIGURA 4.49	Operação do reservatório de Olho d'Água das Flores	125
FIGURA 4.50	Regime de Operação das bombas B7 e B8	126
FIGURA 4.51	Variação de nível dos reservatórios do povoado de Areia Branca	126
FIGURA 4.52	Regime de operação da bomba B14_15	126
FIGURA 4.53	Variação de nível dos reservatórios Chaminé	127
FIGURA 4.54	Regime de Operação das bombas B17 e B17A	127
FIGURA 4.55	Variação de nível dos reservatórios de Carneiros e Rui Palmeira	128
FIGURA 4.56	Variação de nível dos reservatórios de P. Trincheiras, Maravilha e O. Branco	128
FIGURA 4.57	Variação de nível dos reservatórios de M. Isidoro, Jaramataia e Cacimbinhas	129
FIGURA 4.58	Variação de nível do reservatório de Belo Monte	129
FIGURA 4.59	Variação de nível dos reservatórios de S. Ipanema e Batalha	130
FIGURA 4.60	Regime de Operação das bombas B18 e B18A	130
FIGURA 4.61	Regime de Operação das bombas B23 e B24	131
FIGURA 4.62	Regime de Operação das bombas B19 e B20	131
FIGURA 4.63	Variação de nível do reservatório de Olho d'Água das Flores	136
FIGURA 4.64	Regime de Operação das bombas B7 e B8	136
FIGURA 4.65	Variação de nível do reservatório EE2	137
FIGURA 4.66	Regime de Operação das bombas B4 e B5	137
FIGURA 4.67	Variação de nível do reservatório EE1	138
FIGURA 4.68	Regime de operação das bombas B1 e B2	138
FIGURA 4.69	Variação de nível do reservatório de Olho d'Água das Flores	139
FIGURA 4.70	Regime de operação das bombas B7 e B8	139
FIGURA 4.71	Variação de nível do reservatório EE2	140
FIGURA 4.72	Regime de Operação das bombas B4 e B5	140
FIGURA 4.73	Variação de nível do reservatório EE1	141
FIGURA 4.74	Regime de Operação das bombas B1 e B2	141
FIGURA 4.75	Variação de nível do reservatório de Olho d'Água das Flores	143
FIGURA 4.76	Regime de Operação das bombas B7 e B8	143
FIGURA 4.77	Operação das bombas B7 e B8 – entre 72 e 96 horas	144
FIGURA 4.78	Nível do reservatório – entre 72 e 96 horas	144
FIGURA 4.79	Variação de nível do reservatório EE2	145
FIGURA 4.80	Regime de operação das bombas B4 e B5	145
FIGURA 4.81	Variação de nível do reservatório EE1	146
FIGURA 4.82	Nível do reservatório EE1 – entre 72 horas e 96 horas	146
FIGURA 4.83	Regime de operação das bombas B1 e B2	147
FIGURA 4.84	Operação das bombas B4 e B5– 72 horas e 96 horas	147
FIGURA 4.85	Comparação da redução do custo energético entre os Cenários 01 e 02	151
FIGURA 4.86	Evolução do custo diário da energia por cenário	153
FIGURA 4.87	Evolução do percentual da diferença do custo operacional de um cenário em relação ao cenário anterior(%)	153
FIGURA 4.88	Custo energético dia(R\$ x 1000) & rendimento médio total(%) das bombas por cenário	156
FIGURA 4.89	Número de horas/dia de operação das bombas B1, B2, B4, B5, B7 e B8 por cenário	157
FIGURA 4.90	Custo energético de todas as bombas e dos conjuntos de bombas (B1 a B9) e (B4 a B9)	159

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1	Classificação das empresas de saneamento do nordeste pelo custo do m ³ faturado	15
TABELA 1.2	Classificação das empresas de saneamento do nordeste-custo do m ³ faturado	16
TABELA 3.1	Altitude da captação e dos reservatórios do sistema coletivo da Bacia Leiteira	57
TABELA 3.2	Altitude de captação e dos reservatórios do Sistema Coletivo da Bacia leiteira	62
TABELA 3.3	População dos municípios da Bacia Leiteira e consumo de energia de bombeamento	62
TABELA 3.4	Consumo-base das cidades abastecidas pelo sistema adutor principal da B. Leiteira	63
TABELA 3.5	Descrição da operação real do sistema adutor da Bacia leiteira.	67
TABELA 3.6	Pontos das curvas características e de rendimento das bombas	70
TABELA 3.7	Quantitativo dos componentes do sistema adutor principal da Bacia Leiteira	73
TABELA 3.8	Relação dos principais reservatórios do Booster da rede e suas características	80
TABELA 3.9	Níveis diários de água dos principais reservatórios do sistema adutor da Bacia Leiteira	81
TABELA 3.10	Dados técnicos dos tubos de PVC/DEFoFo	83
TABELA 3.11	Dados técnicos dos tubos de ferro dúctil (FoFo), classe K7	83
TABELA 3.12	Dados técnicos dos tubos de ferro dúctil (FoFo) classe K9	83
TABELA 3.13	Resumo da tubulação do sistema	84
TABELA 3.14	Valores do coeficiente C adotados inicialmente na modelagem	85
TABELA 4.1	Relatório do consumo de energia elétrica do cenário 01	113
TABELA 4.2	Relatório do consumo de energia elétrica do cenário 02	121
TABELA 4.3	Relatório do consumo de energia elétrica do cenário 03	131
TABELA 4.4	Tabela dos reservatórios redimensionados	134
TABELA 4.5	Relatório do consumo de energia elétrica do cenário 04	135
TABELA 4.6	Relatório do consumo de energia elétrica do cenário 05	142
TABELA 4.7	Relatório do consumo de energia elétrica do cenário 06	148
TABELA 4.8	Comparação dos consumos energéticos entre os cenários 01 e 02	151
TABELA 4.9	Relatório geral de energia de todos os cenários 01 a 06	152
TABELA 4.10	Rendimento das bombas por cenário	159
TABELA 4.11	Número de bombas/cenário	160
TABELA 4.12	Variação do rendimento médio entre cenários	161
TABELA 4.13	Custo energético e rendimento das bombas do sistema	161
TABELA 4.14	Variação de hora/dia de operação de bombas por cenário	162

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
AGESPISA	Companhia de Água e Esgoto do Piauí S/A
B. L.	Bacia leiteira de Alagoas
CAEMA	Companhia de águas e Esgotos do Maranhão
CAER	Companhia de águas e Esgotos de Roraima
CAERD	Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia
CAERN	Companhia de águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CAESA	Companhia de água e Esgoto do Amapá
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília
CAGECE	Companhia de água e Esgoto do Ceará
CAGEPA	Companhia de água e Esgotos da Paraíba
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CASAN	Companhia Catarinense de águas e Saneamento
CEDAE	Companhia Estadual de água e Esgoto do Rio de Janeiro
CESAN	Companhia Espírito Saltense de Saneamento
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CORSAN	Companhia Rio Grandense de Saneamento
COSAMA	Companhia de Saneamento do Estado do Amazonas
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DEAS	Departamento Estadual de água e Saneamento
DN	Diâmetro Nominal
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
EMBASA	Empresa Baiana de águas e Saneamento
ETA	Estação de Tratamento de água
FoFo	Ferro dúctil fundido
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GEPRO	Gerência de Projetos e Obras da CASAL
ONU	Organização das Nações Unidas
PMSS	Programa de Modernização de Saneamento
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água
SAAE	Serviço Autônomo de água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul S/A
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
UNBL	Unidade de Negócio da Bacia Leiteira
UFam	Universidade Federal do Amazonas
NCPAM	Núcleo de Cultura Política do Amazonas

LISTA DE APÊNDICES

APÊNCICE A	Dados técnicos dos dutos por trechos da rede	169
APÊNCICE B	Dados da Pitometria da rede	172
APÊNCICE C	Parâmetros de ajuste das válvulas “FCV”	173
APÊNCICE D	Regras ou controles programados por cenário	179
APÊNCICE E	Desenho esquemático do sistema adutor principal	204
APÊNCICE F	Pesquisa Hemerográfica – “Uma varredura social sobre a rede”	205

SUMÁRIO

RESUMO	20
ABSTRACT	21
LISTA DE FIGURAS	22
LISTA DE TABELAS	24
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	25
LISTA DE APÊNDICES	26
SUMÁRIO	27
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	17
<i>Objetivo geral</i>	17
<i>Objetivos específicos</i>	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 FUNDAMENTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	18
2.2 FUNDAMENTOS DO PROCESSO OPERACIONAL DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	24
2.3 PARÂMETROS DE PROJETO E OPERAÇÃO: REALIDADE BRASILEIRA	25
2.3.1 <i>Modulação horária do consumo</i>	26
2.3.2 <i>A modelagem no planejamento e operação dos sistemas de abastecimento de água</i>	30
2.4. MODELAGEM DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O EPANET	33
2.4.1 <i>Informações da rede necessárias para a modelagem no EPANET</i>	37
2.4.2 <i>A modelagem de sistemas em operação: a criação de cenários</i>	38
2.4.3 <i>A calibração do modelo</i>	40
2.4.4 <i>O uso do processamento distribuído</i>	41
2.4.5 <i>Exemplos de redes de abastecimento de água modeladas no EPANET</i>	42
2.5 A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA ELÉTRICA NA OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	43
2.5.1 <i>O custo da energia elétrica para as empresas de saneamento</i>	43
2.5.2 <i>A energia elétrica na matriz de custo das empresas de saneamento no Brasil</i>	45
2.6 A OFERTA DE ÁGUA NA REGIÃO DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS	46
2.7 O RIO SÃO FRANCISCO: SUA HISTÓRIA E IMPORTÂNCIA REGIONAL	47
2.8 A OFERTA FUTURA DE ÁGUA NA REGIÃO	49
3 MATERIAL E MÉTODOS	51
3.1 ESCOLHA E CONHECIMENTO DO SISTEMA A SER MODELADO	52

3.2	MODELAGEM DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	53
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA ADUTOR PRINCIPAL DA BACIA LEITEIRA	54
3.3.1	<i>O sistema adutor principal</i>	54
3.3.2	<i>Consumo-base e modulação do consumo</i>	63
3.3.3	<i>Regime de operação real das bombas do sistema adutor da Bacia Leiteira</i>	66
3.3.4	<i>Características dos conjuntos de bombeamento do sistema</i>	70
3.4	MODELANDO A REDE NO EPANET	72
3.4.1	<i>Trabalhos preliminares</i>	73
3.4.2	<i>Primeira campanha de campo – Reconhecimento do sistema</i>	74
3.4.3	<i>Segunda e terceira campanhas de campo</i>	76
3.4.4	<i>Características físicas e operacionais do sistema</i>	79
3.4.5	<i>Nível de água operacional dos principais reservatórios do sistema</i>	81
3.4.6	<i>Características da rede de dutos do sistema</i>	83
3.4.7	<i>Definição de cenários e ajustes das regras</i>	85
3.4.8	<i>Regras operacionais básicas</i>	88
3.4.9	<i>Caracterização geral dos cenários</i>	90
3.4.10	<i>Características do hardware utilizado nas simulações</i>	95
3.4.11	<i>Parâmetros de calibração do modelo</i>	95
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	96
4.1	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 01	96
4.2	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 02	115
4.3	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03	123
4.4	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 04	133
4.5	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 05	139
4.6	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 06	144
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	162
	REFERÊNCIAS.....	165
	APÊNDICES.....	170
	APÊNDICE A – TABELA “A” – DADOS TÉCNICOS DOS DUTOS POR TRECHOS DE REDE	171
	APÊNDICE B – DADOS PITOMÉTRICOS DO SISTEMA ADUTOR DA BACIA LEITEIRA,	174
	APÊNDICE C – PARÂMETROS DE AJUSTE DAS VÁLVULAS “FCV”	175
	APÊNDICE D – REGRAS OU CONTROLES PROGRAMADOS	181
	APÊNDICE E – DESENHO DO SISTEMA ADUTOR NO EPANET	206
	APÊNDICE F – UM OLHAR SOBRE O VIÉS SOCIAL DA REDE	207

1INTRODUÇÃO

A crescente conscientização do ser humano da necessidade do uso eficiente da água tem sido extensivamente discutida no mundo inteiro, frente ao agravamento do nível de poluição dos mananciais de abastecimento e a crescente escassez da água até para consumo humano e dessedentação animal. Alguns dos motivos da crescente e preocupante escassez de água doce é o aumento da demanda, alavancada pelo crescimento populacional e agravada pela redução do caudal de nossos principais rios e mananciais. É neste contexto, de crescente redução mundial da quantidade de água doce para uso humano, aliado aos elevados custos operacionais apresentados pelos sistemas de abastecimento de água, que esse trabalho se insere e encontra lastro motivador na relevância da necessidade do uso sustentado dos recursos naturais e em especial da água.

Como fator complicador deste panorama no Brasil, tem-se o fato de que os sistemas públicos de abastecimento de água se ressentem de recursos para investimento, sendo a literatura rica em referências, comprovadas pela prática de campo, de que os desperdícios ocorrem desde o ponto de captação até os pontos de consumo, destacando-se a distribuição como a etapa onde ocorrem as maiores perdas.

Em vista disso, verifica-se uma grande preocupação das companhias de saneamento na busca da implementação de processos gerenciais e operacionais mais eficientes e precisos que auxiliem os gestores na tomada de decisões que minimizem as perdas de faturamento, advindas da fragilidade dos métodos gerenciais e das ingerências políticas a que essas companhias estão normalmente sujeitas.

Nesse contexto, a elaboração de projetos e a implantação e operação dos sistemas de abastecimento de água têm se tornado atividades cada vez mais complexas e problemáticas exigindo tanto da comunidade técnica-científica quanto do corpo gerencial das empresas, um redobrado esforço no sentido de buscar ferramentas adequadas para a solução dos problemas inerentes às diversas etapas de um sistema de abastecimento de água, desde o projeto à sua implantação e operação, tendo como pano de fundo o processo de gestão das empresas de saneamento, sejam públicas ou privadas, conforme pode ser visto na fig.1.1.

Figura1.1 – Esquema técnico-gerencial de um sistema de abastecimento de água



Fonte: COSTA, 2010.

No caso das empresas de saneamento localizadas no Nordeste brasileiro, com base em seus relatórios gerenciais, verifica-se que as perdas de faturamento contabilizadas são muito elevadas. No caso específico da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), conforme Relatório do PMSS/SNIS/DSAE (2008), no “ranking” das nove empresas de saneamento do Nordeste, ela é a empresa com maior custo médio de produção (R\$3,02/m³) e a terceira empresa com maior perda média de faturamento (54,60%), conforme pode ser visto nas tab. 1.1 e 1.2, indicadores esses que, por si só, já justificam estudos de efficientização de seus diversos sistemas de produção, no bojo dos quais se insere esse estudo.

Tabela 1.1 - Classificação das Empresas de Saneamento do Nordeste segundo o custo do m³ faturado.

ITEM	EMPRESA	ESTADO	CUSTO DO m ³ FATURADO
			(103) (R\$/m ³)
1	CAEMA	Maranhão	1,1
2	CAGECE	Ceará	1,67
3	COMPESA	Pernambuco	2,11
4	EMBASA	Bahia	2,11
5	CAERN	Rio Grande do Norte	2,15
6	CAGEPA	Paraíba	2,23
7	DESO	Sergipe	2,56
8	AGESPISA	Piauí	2,72
9	CASAL	Alagoas	3,02
MÉDIA DA REGIÃO			2,19

Fonte: PMSS/SNIS/DSAE (2008)

Tabela 1.2 - Classificação das Empresas de Saneamento do Nordeste segundo o

Indicador de perdas de faturamento.

ITEM	EMPRESA	ESTADO	Indicador de perdas de faturamento (I 13) (%)
1	CAGECE/CE	Ceará	23.00
2	EMBASA/BA	Bahia	31.80
3	CAGEPA/PB	Paraíba	35.90
4	DESO/SE	Sergipe	46.40
5	AGESPISA/PI	Piauí	52.70
6	CAERN/RN	Rio G. do Norte	53.10
7	CASAL/AL	Alagoas	54.60
8	COMPESA/PE	Pernambuco	57.30
9	CAEMA/MA	Maranhão	70.30
MÉDIA DA REGIÃO NORDESTE			47.23

Fonte: SNIS/PMSS/ PMSS/SNIS/DSAE (2008)

Nessa contexto a CASAL, na busca de viabilizar-se financeiramente, iniciou nos últimos anos, toda uma reengenharia da empresa, tanto no âmbito administrativo, quanto no âmbito operacional buscando aumentar a sua receita através da efficientização de seus processos.

No ambiente da engenharia hidráulica, uma das ferramentas mais utilizadas atualmente para a otimização dos processos operacionais, tem sido a modelagem computacional dos sistemas de abastecimento de água que, se adequadamente utilizada, consegue-se, através de adequado equacionamento matemático, simular o comportamento do sistema físico focado, descortinando, normalmente, um leque de possibilidades operacionais, muitas vezes, até então desconhecido.

Nesse sentido, a importância do estudo de um sistema específico de abastecimento de água da CASAL, através da modelagem computacional visa descortinar um panorama de opções operacionais que atendendo a demanda do sistema em estudo, otimize seu custo operacional com base na redução do consumo energético de forma representativa, haja visto a preponderância do consumo operacional de energia elétrica dentro da matriz de custos da empresa.

1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

Objetivo geral

Estudar um sistema de abastecimento d'água real, otimizando o trecho adutor principal, considerando o atendimento à demanda e o consumo energético.

Objetivos específicos

- propor estratégias operacionais que minimizem o custo energético de operação com atendimento à demanda;
- estabelecer uma metodologia adequada para avaliar o desempenho operacional do sistema, e;
- aplicar e avaliar a metodologia desenvolvida a um caso real.

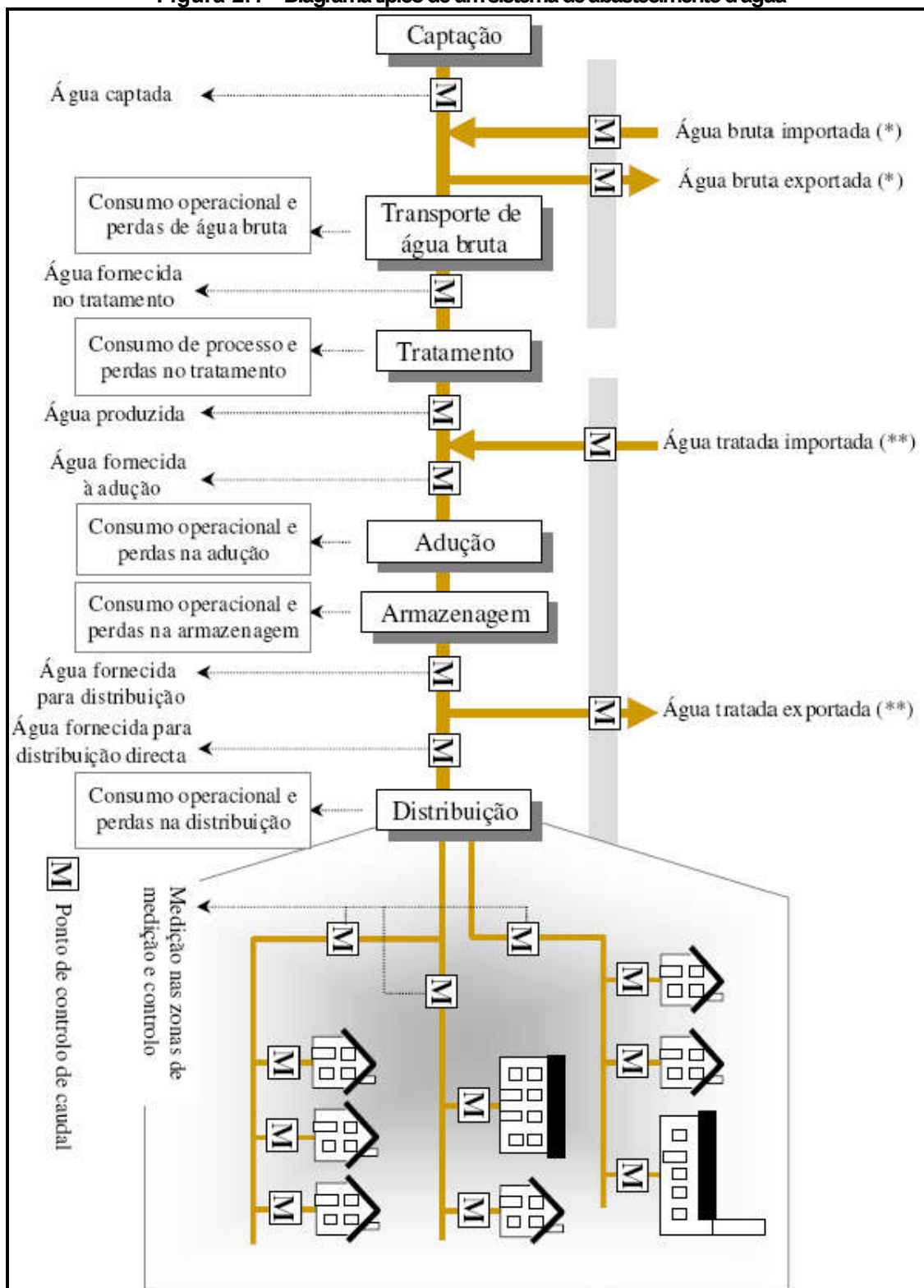
2REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentos de um sistema de abastecimento de água

Segundo Gomes (2004), um sistema de abastecimento de água consiste de um conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de uso doméstico, industrial e público.

Nesse sentido, Gomes(2004) ainda salienta que os sistemas de abastecimento de água devem garantir um atendimento contínuo às demandas da comunidade, considerando os aspectos da quantidade, qualidade, eficiência do processo produtivo e acima de tudo, respeito ao meio ambiente. Para atender a essas premissas, o projetista deve pautar-se em normas técnicas nacionais e até recorrer a normas internacionais, quando necessário. Um sistema típico de abastecimento de água pode ser visto na fig.2.1, onde estão destacados os três principais tipos de consumo de água, isto é, o residencial, o comercial e o industrial.

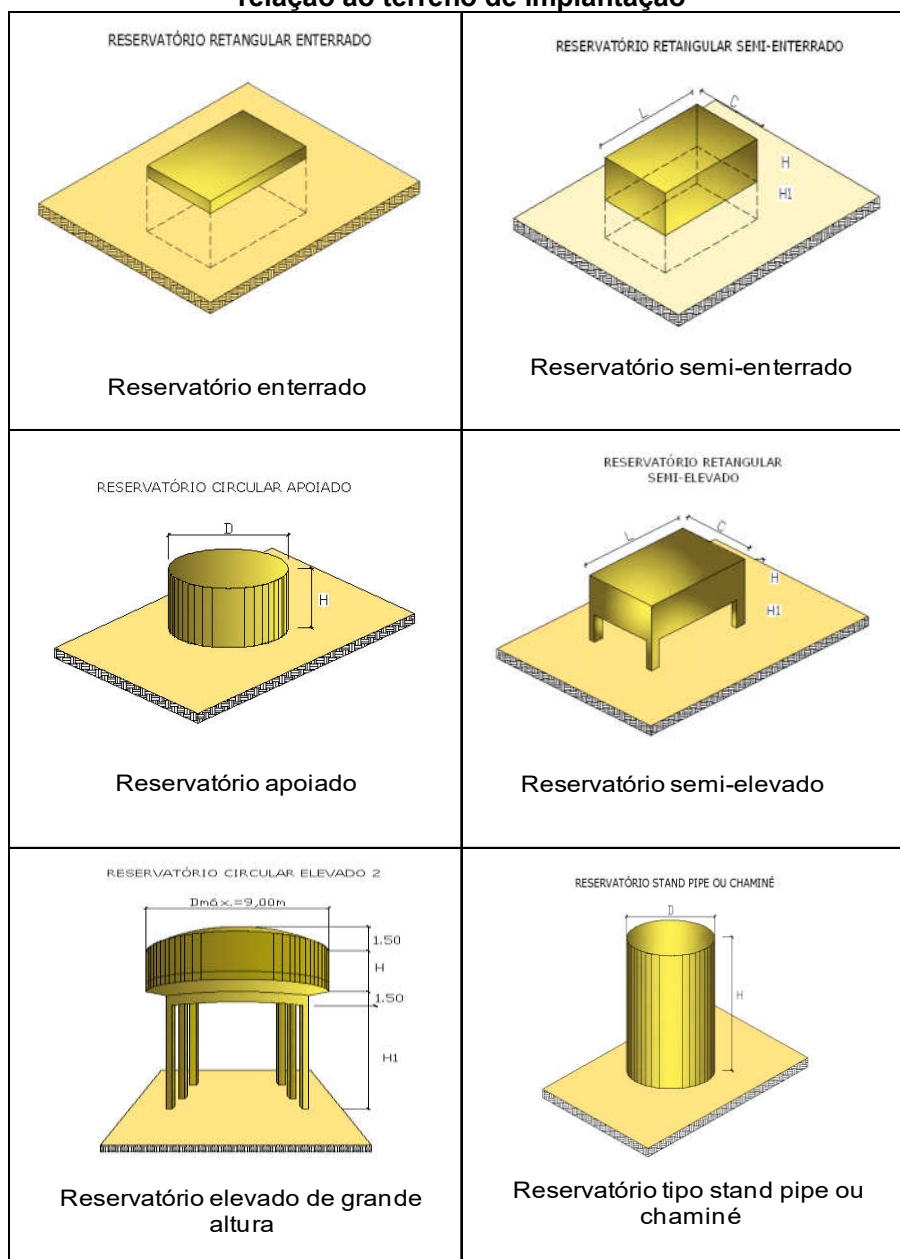
Figura 2.1 - Diagrama típico de um sistema de abastecimento d'água



Fonte: DTA-A2 (2004)

Os reservatórios variáveis do sistema são considerados estruturas estratégicas para a calibração do modelo. Nesse sentido, são apresentados na fig.2.2 os principais tipos de reservatórios encontrados nas redes de abastecimento de água.

Figura2.2 – Desenho esquemático dos tipos de reservatórios quanto a sua posição em relação ao terreno de implantação



Fonte: Autor

Outra consideração importante a respeito dos reservatórios de nível variável é quanto à determinação da capacidade de armazenamento dos mesmos. A norma brasileira NBR 12218 (1994) orienta que a capacidade “Ct dos reservatórios de nível variável deve ser obtida pela equação 2.1:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 \quad (\text{eq. 2.1})$$

Onde,

C1 = capacidade para promover a compensação entre a variação das vazões do consumo ao longo das horas do dia e a vazão constante, máxima diária, que chega ao reservatório (reserva de equilíbrio);

C2 = capacidade necessária para manter a continuidade do abastecimento, por ocasião de paralisação na produção (demanda de emergência), e

C3 = capacidade necessária ao atendimento eventual de demandas para combate a incêndios (combate a incêndios).

Os cálculos de C1, C2 e C3 respectivamente, dependem das curvas de consumo (C1 e C2) e da legislação de incêndio local (C3). Como o conhecimento das curvas de consumo nem sempre está disponível. Tsutiya(2005), propôs a sua substituição por uma senóide determinando, através dela, a capacidade mínima do reservatório, conforme equação 2.2:

$$Vol. Reservatório = \frac{(K_2 - 1)C_{max. dia}}{\pi} \quad (\text{eq. 2.2})$$

Onde,

Vol. Reservatório = capacidade mínima do reservatório de distribuição (m³);

K₂ = coeficiente da hora de maior consumo;

C_{max.dia} = consumo diário do dia de maior consumo dado por 24K₁Q_{med.} (m³).

Outro aspecto importante a ser considerado no projeto de um sistema de abastecimento de água é a necessidade de vultosos investimentos para sua

implantação e o elevado custo operacional, principalmente, no que diz respeito ao custo da energia de bombeamento.

Segundo Gomes (2004), o custo das adutoras de recalque, incluindo as estações elevatórias, juntamente com as redes de distribuição, somam mais de 80% do custo total do projeto.

Também, Costa (2010), mais de 90% dos gastos com energia elétrica das empresas de saneamento devem-se às estações elevatórias de água e esgoto.

Devido à importância da energia elétrica dentro da estrutura de custo da produção de água em sistemas de abastecimento de água, as ações de otimização do processo operacional das empresas de saneamento quase sempre estão focadas na redução do consumo de energia elétrica.

Embora, como dito anteriormente, sendo a energia elétrica a maior responsável pelo alto custo da produção de água para consumo, ações que visem reduzir o consumo de energia, mantendo a qualidade de atendimento da demanda não é um trabalho fácil, pois a redução do consumo de energia não deve interferir no atendimento à demanda e, tampouco, na manutenção dos parâmetros de qualidade da água produzida, sempre de acordo com as prescrições das normas pertinentes, já discutidas.

Pedrosa (2006) é contundente ao afirmar que dentre os fatores que contribuem para esse elevado índice de consumo de energia, destacam-se:

- a) Ausência de medição e monitoramento dos principais parâmetros que regulam o sistema;
- b) Falta de um melhor compartilhamento dos dados entre várias gerências da companhia;
- c) Equipamentos antigos e ultrapassados;
- d) Envelhecimento das tubulações;
- e) Elevado desperdício de água utilizável;
- f) Falta de uma política de manutenção e substituição;
- g) Complexidade das redes de condutos;
- h) Má política de gerenciamento operacional dos grupos elevatórios;
- i) Falta de investimentos na área operacional.

Como o dimensionamento de uma rede hidráulica é matematicamente indeterminado, admitindo várias soluções ou alternativas de projeto, a busca de uma solução ótima de um sistema de abastecimento de água, com ênfase no menor custo operacional, quase sempre passa pela necessidade da redução do consumo de energia elétrica.

Nesse sentido, o trabalho de otimização de um sistema de abastecimento de água exige o trabalho da equipe de engenheiros e técnicos que com o auxílio de computadores de alta capacidade de processamento, fato que de certa forma, dificultou, até pouco tempo atrás, a aplicação dos modelos de otimização em projetos de redes reais, situação essa que só começou a mudar quando do advento dos microcomputadores de última geração.

Segundo Barbosa et al. (1999), a análise de uma rede hidráulica, para fins de projeto ou de operação, perpassa pela análise dos fluxos que se estabelecem nos diversos trechos da rede, atrelada a uma configuração de demandas e cargas piezométricas nos nós. Segundo o autor, a natureza não linear das equações de perda de carga ao longo das tubulações requer técnicas iterativas para a obtenção da solução, isto é, o conhecimento das vazões em cada trecho. Nesse viés, os principais métodos de solução enquadram-se em três categorias, a saber:

- a) técnicas do tipo Hardy-Cross;
- b) técnicas do tipo Newton-Raphorason, e;
- c) técnicas de linearização.

Todos esses métodos são técnicas de solução de equações não lineares, cujo equacionamento depende de uma solução inicial, a partir da qual o algoritmo iterativo é repetido até que a solução de certa etapa do procedimento iterativo não seja significativamente diferente da solução da iteração anterior, quando, então, se caracteriza a situação de convergência.

O avanço tecnológico na área computacional e o conseqüente aumento do poder de processamento foram responsáveis, nos últimos anos, por uma importante redução dos custos dos equipamentos e dos programas de computadores, trazendo como conseqüência, uma importante ampliação da quantidade de trabalhos científicos voltados à otimização de modelos visando à redução do custo energético

na operação de sistemas de abastecimento de água. Vale ressaltar que muitos dos modelos desenvolvidos têm sido aplicados a casos específicos, o que, de certa forma, tem dificultado uma maior utilização dos mesmos e, conseqüentemente, a generalização dos resultados.

2.2 Fundamentos do processo operacional de um sistema de abastecimento de água

De acordo com Gomes (2004), a operação de sistemas de abastecimento de água requer uma logística específica e compreende um conjunto complexo de ações para garantir a distribuição da água a todos os pontos de demanda na quantidade requerida e com boa qualidade.

Além do mais, a otimização destas ações representa o mais preponderante instrumento de gestão das empresas de saneamento, com conseqüências imediatas na qualidade da água, na confiabilidade do sistema e na redução dos custos operacionais, o que obviamente, trás como retorno, uma sensível melhoria em termos econômicos e financeiros para a empresa e, o que é mais importante, com reflexos positivos nos contextos ambiental e social para a população usuária do sistema.

Um sistema de abastecimento de água é, na sua essência, uma razoável quantidade de tubos com diferentes diâmetros, e muitas vezes, de diferentes materiais que, normalmente, se ressentem do desgaste natural, apresentando, com o tempo, sinais de obsolescência e deterioração em graus variados, função da idade de aplicação, do material utilizado, das técnicas construtivas empregadas, das características geotécnicas do solo ao longo da rede e da rotina operacional do sistema.

Além disso, problemas de gestão na operação de um sistema de abastecimento podem comprometer, sobremaneira, a eficiência do sistema. Lacerda (2009) afirma que o intenso processo de urbanização das últimas décadas, associado à expansão não planejada dos sistemas de abastecimento de água têm ocasionado uma sobrecarga substancial nas demandas de água, não previstas nos projetos originais, causando a saturação dos sistemas e comprometendo a qualidade do serviço de abastecimento de água à população. A necessidade de

ampliação sucessiva, devido ao rápido crescimento das zonas urbanas, o envelhecimento e a falta de manutenção adequada têm tornado os sistemas de abastecimento de água cada vez mais extensos, complexos e dotados de incertezas das mais variadas naturezas.

Assim a bibliografia é bastante pródiga em trabalhos relatando o estado da arte dos mais diversos métodos que visam a efficientização dos sistemas de abastecimento de água, dentre os quais vale destacar: a programação linear e não linear, conforme destacado por Vicente (2005) e Almeida (2001) respectivamente, a programação dinâmica, explicitada no trabalho de Lansey e Awumah (1994), bem como a lógica fuzzy, o método de Monte Carlo e algoritmos genéticos destacados em Lacerda (2009), Carrijo (2004) e Pedrosa Filho (2006).

Nesse sentido, é extremamente produtora a leitura dos trabalhos publicados sobre a minimização de custos de bombeamento aplicando técnicas de otimização, a exemplo de Xu e Jowitt (1990), Barbosa et al.(1999), Mccrodden e Little (1989) que utilizaram a pesquisa operacional com programação linear, Santana (1999) e Almeida et al. (2000) que, por sua vez, utilizaram a programação não linear.

2.3 Parâmetros de projeto e operação: realidade brasileira

No Brasil, os requerimentos para projeto e operação de redes públicas de distribuição de água estão estabelecidos na norma NBR 12218/1994. Para a elaboração de projetos de redes distribuidoras de água, essa norma, no item 5.4.1, estabelece que a “pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa, ea pressão dinâmica mínima, de 100 kPa. Esta mesma norma, no item 5.7.1, também define limites de velocidade nas tubulações quando estabelece que a velocidade mínima deva ser de 0,6 m/s e a máxima de 3,5 m/s para as demandas máximas diárias no início e no final da etapa de execução da rede, respectivamente.

Outros dois parâmetros importantes a serem considerados no dimensionamento de uma rede de distribuição de água são o volume útil dos reservatórios e o consumo per capita, conforme estabelecidos nas normas da ABNTNBR 12218/1994 e NBR 12211/1992, respectivamente.

Segundo Gomes (2004, p. 33-34) os requerimentos máximos e mínimos de norma para a pressão hidráulica e velocidade do fluxo são importantes por que:

- a) Quanto maior for a pressão requerida pelo sistema, maior será o custo energético de bombeamento já que este custo de bombeamento, que corresponde a 90% do consumo nessas instalações, é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão;
- b) Para maiores pressões na rede, as tubulações serão mais caras por necessitarem de maiores pressões nominais;
- c) As possibilidades de ruptura nas tubulações aumentam com o aumento das pressões dinâmicas e estáticas na rede;
- d) As perdas físicas de água crescem com o aumento das pressões de serviço;
- e) As vazões nos pontos de consumo crescem com o aumento das pressões disponíveis;
- f) Para conduzir uma determinada vazão, quanto maior for a velocidade do fluxo, menor será o diâmetro necessário do tubo, o que conduz, a princípio, à seleção de uma tubulação de menor custo construtivo;
- g) Maiores velocidades nos dutos acarretam maiores perdas de carga no transporte e maior risco de danos operacionais á rede, pois com o aumento da velocidade da água, aumentam também os riscos de golpe de aríete, os desgastes tubos, dos elementos de conexão e das peças especiais. O aumento da velocidade também pode provocar o aumento da vibração da rede e deficiências nos apoios dos tubos;
- h) A velocidade mínima do fluxo na rede é necessária para garantir uma permanente circulação da água como forma de não prejudicar a sua qualidade.

2.3.1 Modulação horária do consumo

Uma das dificuldades para o êxito de um trabalho de otimização está no conhecimento do real comportamento do consumo ou, melhor dizendo, do conhecimento da modulação do consumo horário de água da comunidade atendida pelo sistema em estudo. Nesse contexto, segundo Gomes (2004), para o dimensionamento da rede de distribuição de água é necessário o conhecimento do

consumo médio diário, do maior consumo diário ao longo de um ano (coeficiente K_1) e do consumo máximo horário ao longo de um dia (coeficiente K_2).

O coeficiente K_1 , conhecido como **coeficiente do dia de maior consumo**, é utilizado na determinação do consumo máximo diário, **utilizado no dimensionamento das estruturas da captação, adução, estações de tratamento e elevatórias**, isto é, desde a captação até e, inclusive, o reservatório de distribuição.

O coeficiente K_2 , também conhecido como **coeficiente da hora de maior consumo** é utilizado, juntamente com o coeficiente K_1 , para o cálculo do **consumo máximo horário, utilizado no dimensionamento da rede de distribuição de água** propriamente dita.

Segundo Vicente (2005, p. 68) “o conhecimento das curvas de consumo é de fundamental importância para a implantação de um modelo de operação em tempo real e, posteriormente, para a implantação dos otimizadores, objetivando reduzir custos operacionais.”

Segundo Yassuda (1976) apud Falkenberg (2005, p. 6) os fatores que influenciam na modulação do consumo diário de água são os seguintes:

- a) **Clima**: o consumo aumenta conforme aumenta a temperatura. A umidade também exerce influência, dado que em regiões mais secas o consumo é maior. A presença de chuvas afeta diretamente o consumo, reduzindo-o drasticamente na sua ocorrência;
- b) **Hábitos e nível de vida da população**: os hábitos da população afetam o uso direto ou indireto da água, tais como banhos, lavagem de calçadas, lavagem de carros, rega de jardins, etc. Quanto maior o nível de vida da população, maior é o consumo de água, devido a um maior número de possibilidades de emprego da água, tais como área maior de jardins, carros, máquinas de lavar roupa, piscinas, entre outras aplicações que visam o conforto e facilidades;
- c) **Natureza da cidade ou bairro**: bairros residenciais, comerciais e industriais apresentam um perfil de consumo diferenciado. As áreas industriais apresentam um consumo consideravelmente maior que os bairros tipicamente residenciais;
- d) **Tamanho da cidade**: a experiência tem demonstrado que o consumo de água tende a aumentar conforme o aumento da população da cidade. Entre os fatores que explicam esta tendência destaca-se a maior demanda industrial, comercial e pública, além do aumento do número de ligações de água e, proporcionalmente, as perdas físicas e não físicas da rede hidráulica;

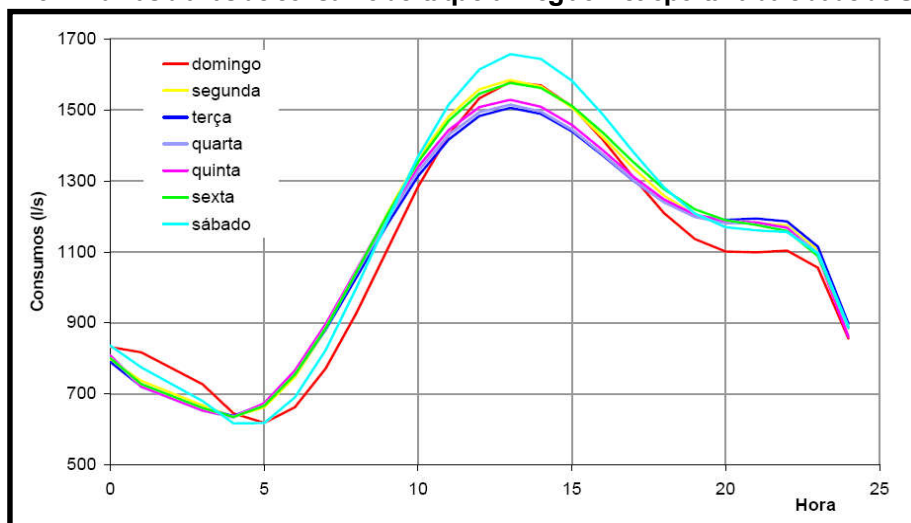
- e) **Localização geográfica da cidade:** cidades litorâneas apresentam uma curva de consumo diferente das cidades localizadas em regiões serranas, principalmente pelos hábitos diferenciados da população e diferentes atividades econômicas;
- f) **Turismo:** cidades turísticas incorporam forte sazonalidade em certas épocas do ano;
- g) **Estação do ano:** o consumo é diferenciado nas quatro estações do ano, basicamente pela interferência dos fatores climáticos;
- h) **Dias da semana e feriados:** existem comportamentos variados de consumo às segundas-feiras em relação aos domingos, sábados e restante dos dias da semana. As pessoas adquirem certos hábitos que realçam esta diferenciação, tais como o fato de preferirem lavar roupas na segunda-feira ou nos sábados;
- i) **Regras de consumo:** algumas regras de consumo são evidenciadas ao analisar o comportamento de uma população, por exemplo, após 2 ou 3 dias consecutivos de chuva, a presença de um dia ensolarado causa um alto consumo de água, visto que muitas pessoas aproveitam a oportunidade para lavarem suas roupas, carros e calçadas;
- j) **Medição de consumo:** a ausência de medição efetiva e individual nas instalações prediais favorece o desperdício e a despreocupação com vazamentos;
- k) **Administração pública:** a iniciativa política e uma preocupação maior com a manutenção e limpeza das áreas de uso público, tais como parques, praças e pavimentos edifícios públicos em geral;
- l) **Preço do serviço:** o preço elevado das tarifas de água e esgoto promove a redução do consumo de água, interferindo diretamente nos hábitos da população;
- m) **Pressão na rede:** quanto maior a pressão da rede hidráulica, maior o consumo devido à maior saída de água mesmo com pequena abertura das válvulas e torneiras, além do aumento de perdas. Segundo a norma técnica NBR 12218/1994, a pressão estática máxima das tubulações distribuidoras deve ser de 500 KPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 KPa (10 mca). Valores fora desta faixa podem ser aceitos desde que justificados técnica e economicamente (Yoshimoto et al., 1999). Portanto, as redes distribuidoras devem trabalhar com pressão mais reduzida possível, contanto que seja suficiente para atender às condições de pressão mínima definida pela norma.

Observa-se que a sigla “mca” quer dizer “metro de coluna de água” e é muito utilizada a para medir pressão em reservatórios de água, associando a pressão no reservatório com seu nível de água. Assim a unidade prática de pressão “mca” corresponde a pressão exercida por um metro de coluna de água, sendo igual a 1000 kgf/m^2 .

Assim, o consumo diário de água depende de inúmeros fatores, alguns fáceis de serem avaliados e outros mais difíceis, tais como as condições de tempo, variações sazonais, dia da semana e se um determinado dia é ocasionalmente feriado.

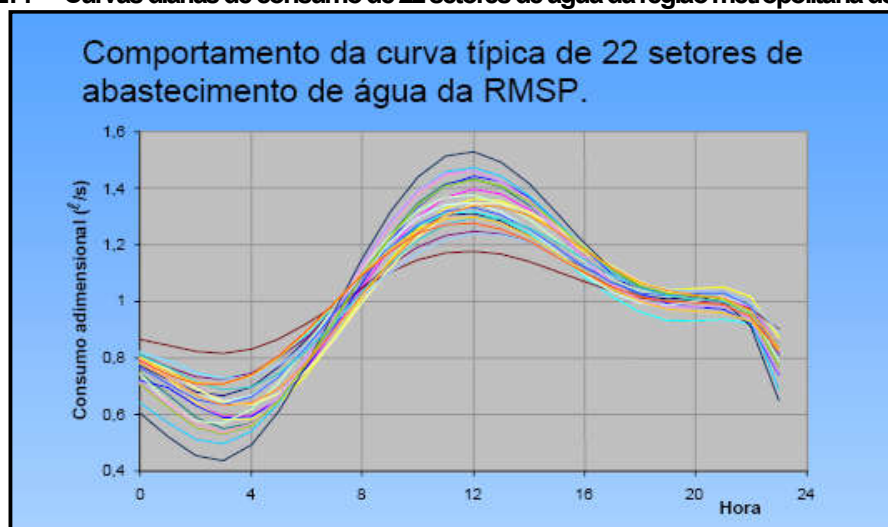
As fig. 2.3 e 2.4 mostram, a título de exemplo, algumas curvas de modulação horária do consumo de água para algumas regiões e cidades do Estado de São Paulo, conforme Vicente (2005).

Figura 2.3 – Curvas diárias de consumo de Itaquera – região metropolitana da cidade de São Paulo



Fonte: VICENTE, 2005

Figura 2.4 – Curvas diárias de consumo de 22 setores de água da região metropolitana de São Paulo



Fonte: COSTA, 2010.

2.3.2A modelagem no planejamento e operação dos sistemas de abastecimento de água.

No campo da engenharia hidráulica, segundo Gaio (2010), as aplicações de modelagem podem ser extremamente úteis desde a fase do planejamento e projeto até a operação dos sistemas de abastecimento de água.

Na fase do planejamento/projeto destacam-se, principalmente, as seguintes aplicações:

- a) Análises do comportamento das estruturas físicas envolvidas, possibilitando enxergar prováveis problemas com antecedência e evitar o colapso dos sistemas;
- b) Avaliações das intervenções necessárias no sistema quando da necessidade de sua ampliação para atender às solicitações maiores;
- c) Avaliação da vida útil operacional;
- d) Escolha das etapas de implantação prioritárias, otimizando a aplicação dos recursos financeiros disponíveis;
- e) Visualização de problemas operacionais futuros, evitando paralisações e despesas financeiras intempestivas, entre outros.

Na fase da operação, as aplicações mais preponderantes são:

- a) Identificação das prováveis causas de problemas operacionais;
- b) Avaliação dos sistemas elevatórios vigentes, no intuito de buscar uma solução otimizada de redução dos custos energéticos;
- c) Redução das perdas físicas dos sistemas de abastecimento de água;
- d) Análises de cenários com vistas à melhoria dos serviços de atendimento à demanda;
- e) Instrumento didático para o treinamento dos operadores do sistema.

Assim, devido à interface cada vez mais amigável dos modelos hidráulicos, o uso dessa ferramenta tem se tornado um instrumento de trabalho poderoso nas atividades diárias do engenheiro, possibilitando maior rapidez na otimização da

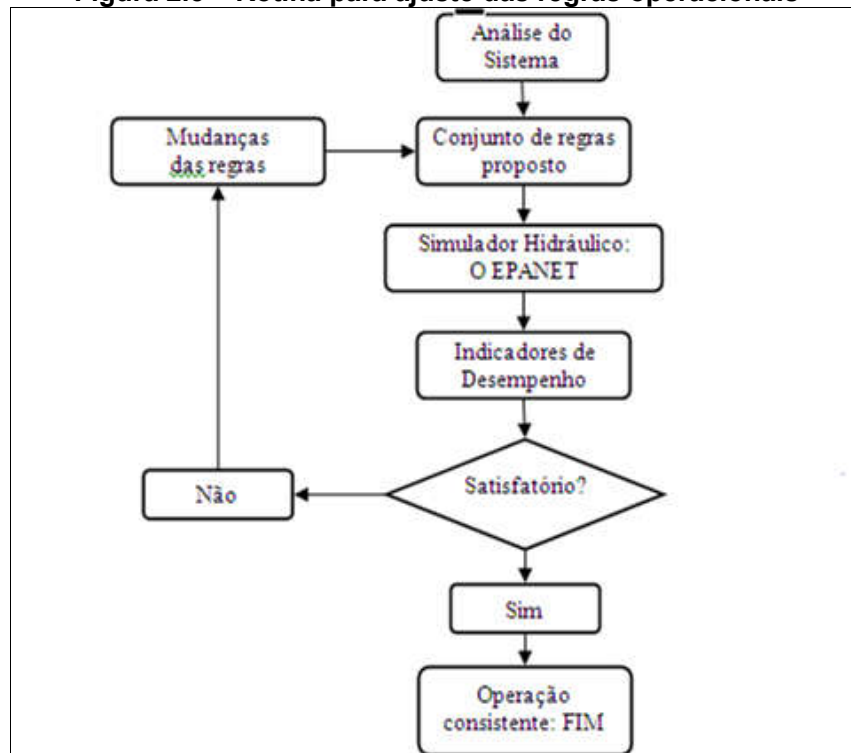
operação dos sistemas de abastecimento de água, atividade que consiste em obter-se a melhor regra de operação, que atenda às demandas temporais requeridas com o menor custo possível.

Para que uma otimização seja exitosa é necessária a sinergia de três condições: a) a decisão firme, técnica e administrativa, do objetivo a ser alcançado, b) o conhecimento do sistema e c) acesso aos modelos de simulação e otimização hidráulica (CARRIJO, 2004).

Assim, desde a definição até os ajustes das regras de operação, busca-se uma forma de atender às restrições de operação, sem prejuízo de atendimento às demandas requeridas, não só na quantidade, mas também na continuidade do fornecimento e na qualidade da água que chega ao consumidor, minimizando os custos diretos e indiretos, quer no aspecto administrativo, quer no aspecto operacional, com ênfase no custo da energia elétrica consumida.

Afig. 2.5 mostra as etapas necessárias ao ajuste das regras operacionais de um sistema de abastecimento de água.

Figura 2.5 – Rotina para ajuste das regras operacionais



Fonte: LACERDA (2008)

Neste sentido, é possível, de posse de todos os dados do sistema, bem como da modulação tarifária da energia elétrica, fixar diretrizes gerais que suportem a construção de um conjunto eficaz de regras operacionais. Segundo Silva et al. (2007), a modelagem matemática tem sido uma das ferramentas que vem sendo cada vez mais utilizada na gestão de sistemas de abastecimento de água, por permitir de forma rápida e coerente, incorporando as restrições reais de campo, a geração de um conjunto de soluções (cenários) possíveis, para auxílio da tomada de decisões por parte dos gestores.

Segundo Borges (2004), apud Moura (2006), atualmente, vários aplicativos de modelagem hidráulica estão disponíveis, podendo ser enquadrados em dois grupos em função de seus recursos, a saber:

- a) GRUPO I – Modelos hidráulicos que apresentam todos os recursos básicos para simulações em regime permanente:
 - **EPANET-SARA** – Trata-se de um modelo baseado no modelo EPANET. Não obteve boa avaliação quanto à facilidade de manuseio de cenários; possui modulo de simulação da qualidade da água,
 - **S-PERTS** - É um modelo brasileiro, elástico, com solução numérica de rede hidráulica não matricial, possui uma resolução rápida, pois utiliza o método das características para seus cálculos, não possui modulo de simulação da qualidade da água,
 - **EPANET - BOSS** – Baseia-se no modelo EPANET, não foi bem avaliado quanto à facilidade de manuseio de cenários. Apresentava-se com implementações em desenvolvimento,
- b) GRUPO II - Modelos hidráulicos que apresentam os recursos adequados à simulação de rede hidráulica em tempo estendido, incluindo interface gráfica, controle lógico e boas condições de calibração:
 - **WaterCAD** - O modelo é amigável na comunicação com o usuário, foi apontado como o mais adequado para operações com cenários e permite importação de outros modelos simuladores,
 - **PIPE2000** - O modelo apresenta facilidade de comunicação com o usuário, tem ótimas condições de simulação de cenários.

2.4. Modelagem de sistemas de abastecimento de água utilizando o epanet

Atualmente, o EPANET, pelo fato de ser disponibilizado livremente com seu código fonte, é um dos modelos hidráulicos mais utilizados no meio técnico e acadêmico, sendo esses alguns dos motivos de sua escolha para uso neste trabalho. Segundo Gomes (2004), este modelo é um programa de informática habilitado a simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água, ao longo do tempo.

Quanto à modelagem de dispositivos de rede de abastecimento de água que operam em regime transitório, como é o caso dos Tanques de Alimentação Unidirecional (TAU), segundo Lacerda (2011), a versão 2.0/2009 do EPANET em Português (Brasil) e demais simuladores hidráulicos disponíveis até 2009, não simulavam os fenômenos transitórios, nem modelavam os elementos de proteção que são instalados para combatê-lo.

Segundo Lacerda (2011) acrescenta ainda que:

Os simuladores hidráulicos se detêm a simular o processo físico do escoamento representados pelas equações da continuidade e da energia (conservação da massa e conservação da energia), reforçados **pelo fato de que o menor intervalo de tempo de cálculo do EPANET é 1 segundo e os fenômenos transientes ocorrem na escala de centésimos de segundos, e portanto não podem ser simulados.**

Segundo Gomes (2007), o EPANET é capaz de simular dinamicamente uma rede constituída por tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável, permitindo obter valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, e da altura de água em cada reservatório de nível variável ao longo da rede durante uma simulação.

Ainda segundo Gomes (2007), o EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de abastecimento de água podendo ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações de sistemas pressurizados de distribuição.

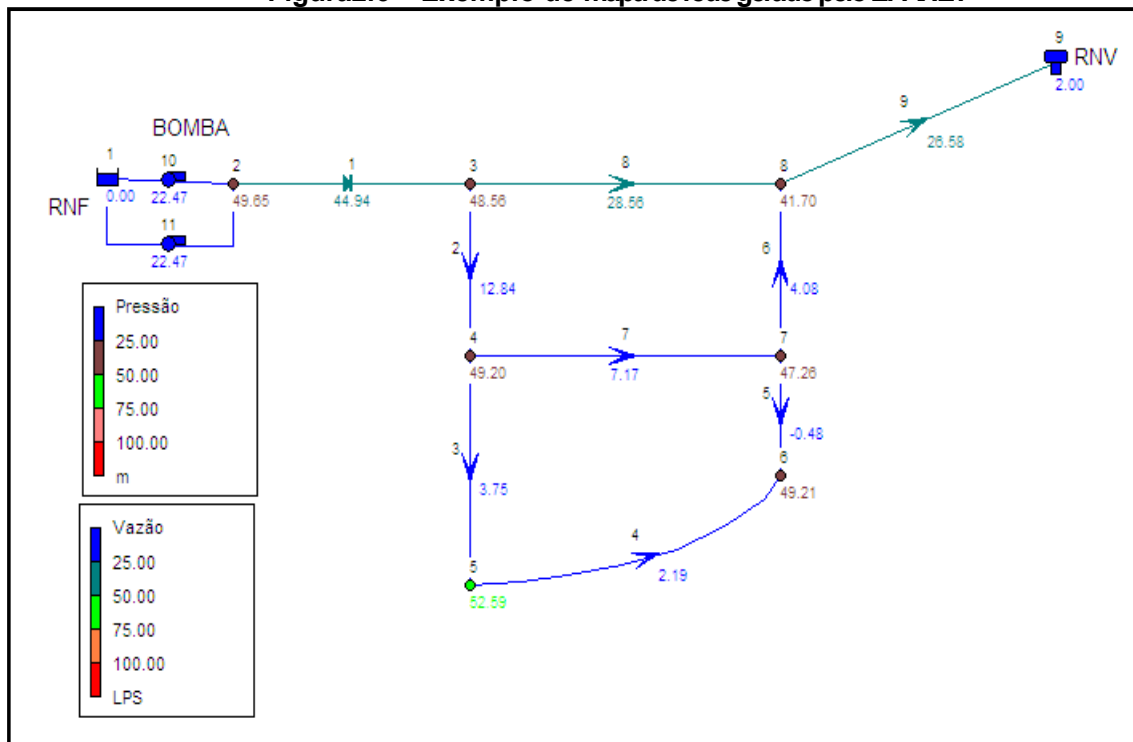
O estabelecimento de cenários de projeto (p. ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro

residual e a avaliação dos consumos são alguns exemplos de aplicação do programa. O EPANET pode ajudar a analisar estratégias alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água do sistema, através de:

- Alterações na utilização de origens da água num sistema com múltiplas origens;
- Alteração de esquema de funcionamento de grupos elevatórios e enchimento/esvaziamento de reservatórios de nível variável;
- Utilização de tratamento adicional, tal como a recloração,
- Seleção de tubulações para limpeza e substituição (reabilitação).

Em ambiente *Windows*, o EPANET fornece uma interface integrada para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade de água e visualizar os resultados em vários formatos. Estes últimos incluem a possibilidade de visualizar mapas da rede com códigos de cores, tabelas de dados, gráficos de séries temporais e gráficos de isolinhas, conforme fig. 2.6 a 2.9.

Figura2.6 – Exemplo de mapa de rede gerado pelo EPANET



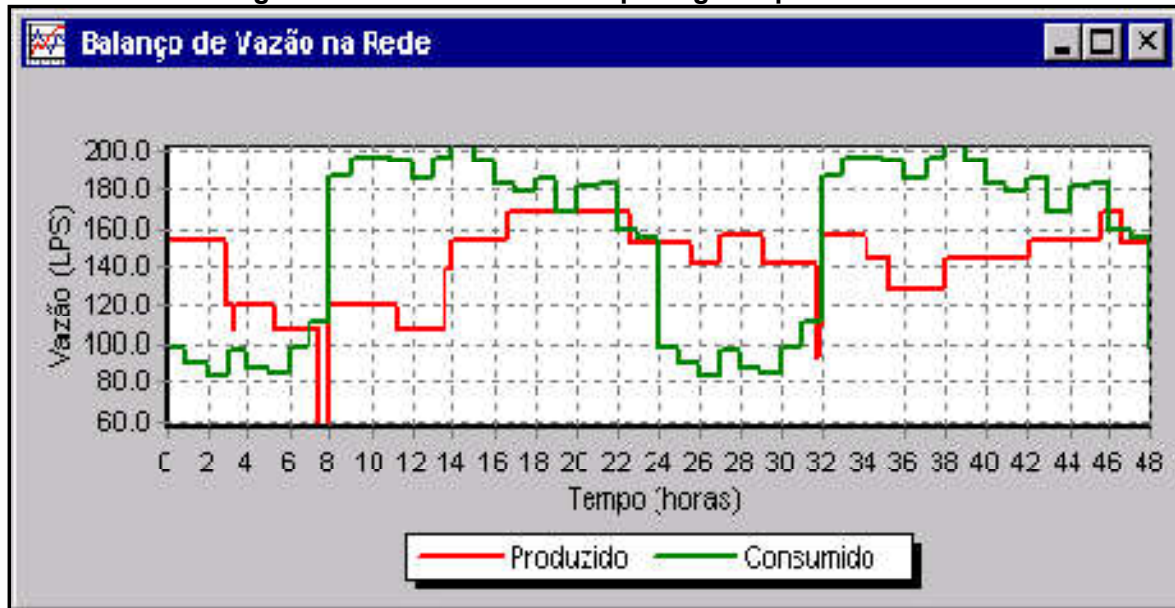
Fonte: GOMES, 2007

Figura 2.7 – Tabela de dados gerada pelo EPANET

Tabela da Rede - Nós às 0:00 Horas					
Identificador do Nó	Cota m	Consumo-Base LPS	Consumo LPS	Carga Hidráulica m	Pressão m
Nó 2	116	0	0.00	165.65	49.65
Nó 3	116	11.8	3.54	164.56	48.56
Nó 4	114	6.4	1.92	163.20	49.20
Nó 5	110	5.2	1.56	162.59	52.59
Nó 6	112	8.9	2.67	161.21	49.21
Nó 7	114	8.7	2.61	161.26	47.26
Nó 8	116	20.2	6.06	157.70	41.70
RNF 1	116	#N/A	-44.94	116.00	0.00
RNV 9	150	#N/A	26.58	152.00	2.00

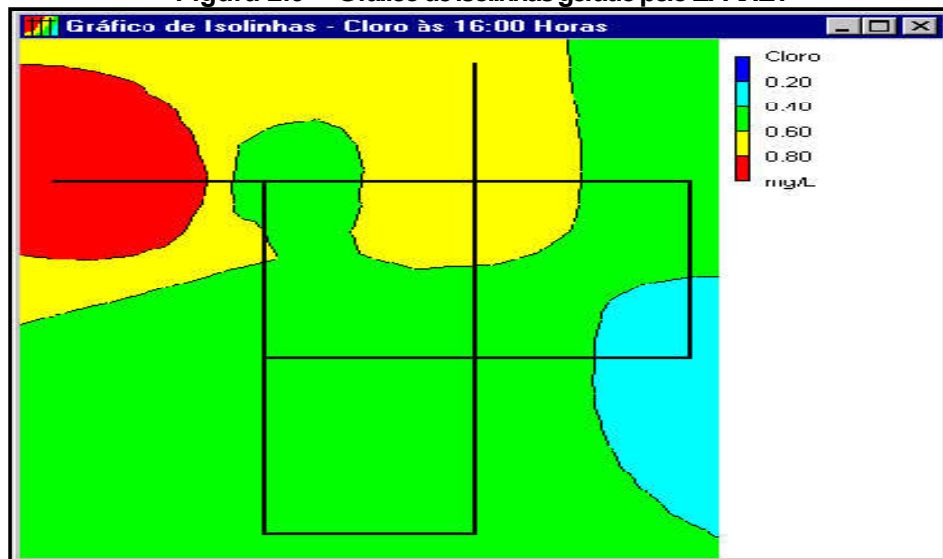
Fonte: GOMES, 2007.

Figura 2.8 – Gráfico de séries temporais gerado pelo EPANET



Fonte: GOMES, 2007.

Figura 2.9 – Gráfico de isolinhas gerado pelo EPANET



Fonte: GOMES, 2007.

Para que a modelagem hidráulica apresente respostas satisfatórias, necessita-se sobretudo de uma rede bem caracterizada, o que equivale dizer que deve haver detalhamento de todas as tubulações, dispositivos de controle de fluxo hidráulico e de pressão, bem como das estações de bombeamento existentes.

O modelo EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, cujas principais características são:

- a) Suporta uma dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada;
- b) Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- c) Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.;
- d) Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- e) Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- f) Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;
- g) Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;

- h) Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- i) Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (p. ex. aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão);
- j) Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p. ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

Os principais elementos componentes de um sistema de abastecimento de água que podem ser representados no EPANET são:

- a) Reservatórios:
 - De nível fixo (açudes, rios, lagos),
 - De nível variável (reservatórios elevados, apoiados, enterrados, semi-enterrados etc.)
- b) Bombas,
- c) Dutos,
- d) Nós (junção de um ou mais dutos, ou um ponto de um duto qualquer onde se queira representar uma variável qualquer) e,
- e) Válvulas (com diferentes finalidades).

O modelo representa, de forma aproximada, um sistema com todos esses elementos, calculando, a partir de equações que regem a mecânica dos fluidos, todos os processos físicos relevantes envolvidos e mostra de forma gráfica ou numérica o valor das variáveis calculadas (vazão, pressão, velocidade, nível dos reservatórios etc.).

2.4.1 Informações da rede necessárias para a modelagem no EPANET.

Algumas informações de demanda e da topologia da malha são necessárias para a modelagem do sistema. São elas:

- a) Layout do sistema, mostrando a forma da rede, localização das estações, reservatórios, entroncamentos, pontos de demandas, com a representação dos dutos existentes;
- b) Informações dos reservatórios: para os reservatórios de nível fixo é necessária apenas a cota do nível da água; para os reservatórios de nível variável é necessário: altura, área da base, níveis máximos e mínimos de operação e cota de fundo;
- c) Informações das bombas: cota do eixo da bomba, curva real de cada bomba calibrada ou o catálogo; curva de rendimento da bomba; potência. A curva característica da bomba é a informação mais relevante, pois é necessário ter a curva real ou aproximada da mesma para que se possa fazer uma modelagem satisfatória do sistema; as demais informações são relevantes para análise de custo da operação;
- d) Informações dos nós: cota de cada nó e a vazão de consumo, caso exista. São considerados nós os pontos de entroncamento de um ou mais dutos ou qualquer outro ponto que se deseje obter alguma informação, como pontos de derivação de consumo;
- e) Informações dos dutos: diâmetro interno e nominal, comprimento e material (rugosidade interna e tensão admissível). É considerado um duto qualquer trecho delimitado por dois nós. É importante ter o comprimento de cada trecho de duto;
- f) Informações das válvulas: tipo de válvulas e a curva, caso exista;
- g) Informações das demandas do sistema: curva de demanda de cada ponto de consumo: vazões máximas e mínimas horárias. Uma curva de demanda aproximada já é um dado bastante satisfatório.

Deve-se observar que todas as cotas devem ter o mesmo plano de referência, preferencialmente o nível do mar.

2.4.2A modelagem de sistemas em operação: a criação de cenários.

Segundo Gomes et al. (2007), um Cenário de Projeto é composto por um subconjunto de dados que caracterizam as condições sob as quais a rede será analisada.

Um cenário pode ser composto por um ou mais dos seguintes parâmetros:

- a) nível de água nos reservatórios;
- b) consumos (consumo-base e padrões temporais para todas as categorias) em todos os nós;
- c) qualidade da água inicial para todos os nós;
- d) diâmetro para todas as tubulações;
- e) coeficientes das fórmulas de perda de carga para todas as tubulações;
- f) coeficientes de reação (no volume do escoamento e na parede da tubulação) para todas as tubulações, e;
- g) controles simples ou com condições múltiplas.

O EPANET pode compilar um cenário baseado em algumas ou em todas as categorias listadas acima, salvar o cenário para o arquivo e ler o cenário salvo, numa fase posterior.

Os cenários permitem que uma simulação seja mais eficiente e sistemática, quer ao nível do dimensionamento, quer ao nível do estabelecimento de alternativas em termos de condições de operacionalidade. Estes podem ser utilizados para analisar o impacto das diferentes ações sobre o sistema, otimizar a estimativa de parâmetros e avaliar diferentes estratégias de operacionalidade.

Os arquivos de Cenário são salvos como texto ASCII e podem ser criados ou modificados exteriormente ao EPANET, através de um editor de texto ou de uma planilha eletrônica.

Segundo Brasil (1999), a modelagem matemática é uma ferramenta muito útil para simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição. Para utilização apenas neste sentido, pode-se trabalhar com um sistema simplificado de rede, onde só são introduzidas no modelo as tubulações principais e todo o conjunto de dispositivos de controle, bombas e reservatórios de níveis fixos e variáveis.

Após a modelagem do sistema no EPANET, todas as manobras operacionais (acionamento e desligamentos de bombas, fechamento de abertura de válvulas do sistema) realizadas pelos operadores diariamente nas unidades de bombeamento

podem ser reproduzidas para análise do comportamento hidráulico do sistema. Essas manobras obedecem aos limites operacionais (nível de reservatórios, pressões nas tubulações etc.) de forma a atender a demanda de água do sistema.

Diferentemente dessa situação, a análise da operação via EPANET permite que o sistema seja visualizado como um todo e não apenas localmente como fazem os operadores, de tal forma que é possível alterar a operação de costume (que quase sempre não é a melhor operação) para se obter ganhos na eficiência hidráulica e energética do sistema.

O EPANET dispõe, ainda, de uma ferramenta (os controles) segundo a qual o usuário pode criar rotinas facilmente manipuláveis, capazes de sugerir procedimentos operacionais, respeitando os limites operacionais do sistema, de forma que atendam a certos objetivos desejados, tais como uma melhor eficiência hidráulica e energética da operação.

2.4.3A calibração do modelo

Segundo Gaio (2010), calibrar um modelo é torná-lo o mais próximo possível da realidade que se pretende representar. A calibração ou ajuste do modelo consiste na introdução dos parâmetros de entrada de maneira que os resultados de saída se aproximem do funcionamento real da rede.

Deve-se atentar para o fato de que a calibração é uma tarefa tão necessária quanto difícil. Das tarefas inerentes à preparação de um modelo, a calibração é a que requer mais tempo, mais persistência e conhecimento. É necessário ter-se em mente, que a simples compatibilidade entre os resultados do modelo e os resultados obtidos no campo, pode não ser suficiente para se poder afirmar que o modelo está calibrado.

Assim, pode-se afirmar que uma das razões para o sucesso na utilização de modelos matemáticos é a sua calibração. A verificação para que o modelo espelhe o sistema real necessita da definição de quais e quantos pontos de medição de pressão e vazão são necessários e suficientes para essa análise.

Somente após a certificação ou validação da calibração do modelo é possível utilizá-lo para simulações que retratem bem o sistema modelado. Segundo Righetto (2001), a calibração de um modelo hidráulico é a primeira e uma das difíceis tarefas

que antecedem uma simulação hidráulica. Enfatiza que a dificuldade em se calibrar um modelo hidráulico de rede está nas incertezas envolvidas quanto às informações das demandas ou vazões de consumo atribuídas aos vários nós da rede de distribuição e também, aos valores de rugosidade e dos próprios diâmetros efetivos das tubulações que compõem os diversos trechos da rede.

Nesse viés, ele apresenta uma metodologia interessante para a calibração de modelos de redes hidráulicas, propondo acoplar ao modelo hidráulico um algoritmo de otimização capaz de determinar, automaticamente, os valores de demanda, de rugosidade e de diâmetros que minimizam o somatório das diferenças entre as pressões nodais observadas e as simuladas, dentro de um quadro de múltiplos cenários.

2.4.40 uso do processamento distribuído

Uma dificuldade sempre presente nos processos de ajuste das regras operacionais, a depender da rede que está sendo analisada, são as inúmeras simulações necessárias, que demandam pesado processamento computacional, implicando em demorados períodos de tempo e em custos elevados de processamento.

Segundo Galvão (2007) esta dificuldade vem sendo contornada através do uso de processamento paralelo em um ambiente de processamento remoto, em que milhares de computadores ociosos interligados pela internet, realizam o processamento como se fossem um cluster distribuído e utilizando-se de um aplicativo específico denominado de EPANETGRID, a um custo extremamente inferior ao método convencional, que utiliza um cluster central.

Ainda, segundo o mesmo autor, com a paralelização do EPANET através de grades computacionais consegue-se aumentar a capacidade de processamento e diminuir o tempo necessário para essas simulações.

Segundo Cirneet al. (2006), apud Galvão (2007), a maioria das soluções atuais em grades computacionais tem aplicações voltadas para uma pequena quantidade de grandes laboratórios que trabalham juntos em um mesmo problema. Mas, a situação que se encontra a maioria dos grupos de pesquisa do país, incluídas as empresas concessionárias de serviços de saneamento, é a de

pequenos laboratórios, geralmente focados em pesquisas ou aplicações específicas e que não podem dispor de grandes estruturas computacionais.

Este ambiente de grade é conhecido no meio da informática como OurGrid e é, na verdade, um sistema de grades computacionais em regime cooperativo, utilizando software aberto e uso livre, em que os laboratórios doam seus recursos computacionais para a grade quando eles estão localmente ociosos e obtêm recursos remotos da grade quando necessário.

Segundo Galvão (2007), atualmente o OurGrid suporta apenas aplicações paralelas cujas tarefas são independentes, podendo ser executadas em qualquer ordem. Esse tipo de aplicação é muito comum na área de análise de redes de abastecimento de água, onde cada tarefa geralmente é definida como a simulação de um cenário específico (ou um conjunto de cenários) da rede.

Resumindo, na modelagem e simulação de cenários em um sistema de abastecimento de água, seja utilizando o EPANET em um computador ou utilizando o processamento paralelo do ambiente EPANETGRID, tem-se como input os seguintes elementos:

- a) A topologia da rede e suas características físicas,
- b) As restrições operacionais e quais parâmetros quer-se otimizar, e como output obtém-se um conjunto de regras (cenário) que permitirá a operação otimizada do sistema.

Esta tecnologia, quando implementada na sua plenitude em um dado sistema, incluídos os sensores e atuadores remotos ao longo da rede, se houver, permitem o controle automático, em tempo real, inclusive com mudança de cenário, função de ocorrências fortuitas e intempestivas, podendo mesmo, em alguns casos, receber implementações de inteligência artificial e lógica FUZZY.

2.4.5 Exemplos de redes de abastecimento de água modeladas no EPANET

O EPANET tem se destacado como um dos mais utilizados modelos hidráulicos em todo o mundo, tanto no meio técnico, como e, principalmente, no meio acadêmico. Algumas de suas características têm contribuído, sobremaneira, para essa grade difusão, dentre as quais valem ser destacadas o fato do EPANET ser disponibilizado livremente, inclusive com o código-fonte, ter uma interface

amigável e possuir farta literatura disponível no mercado e na internet. Esses motivos justificam sobejamente essa preferência pelos engenheiros hidráulicos e pesquisadores, sendo grande o seu uso em trabalhos de modelagem e simulação de redes hidráulicas. A seguir, cita-se como ilustração, algumas dessas redes:

- a) Simulação do comportamento hidráulico de redes de distribuição de água aplicado a **um setor da abastecimento da cidade de Santa Maria** (VIEGAS et al., 2002);
- b) Modelação matemática e sistema de informação geográfica como suporte ao gerenciamento de sistemas de abastecimento de água-**subsistema COOPHEMAde Cuiabá/MT** (MOURA, 2006);
- c) Regras de operação para sistemas de abastecimento de água com baixo nível de automação e sujeitos a incertezas. Dissertação de Mestrado modelando no EPANET o **Sistema Adutor do Cariri, no Estado da Paraíba** (LACERDA, 2009);
- d) A importância da distribuição de vazão nos nós na simulação hidráulica utilizando o software EPANET - modelagem do **23º setor de abastecimento de água, da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, localizado na zona Central da Região Metropolitana de Belém – RMB**(GOMES, 2006);
- e) Sistema Regional do Carvoeiro(SCR) que abastece os conselhos de Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Ilhavo, Murtosa e Ova, num total de 270 000 habitantes em Portugal (CAMACHO et al., 2003).

2.5A importância da energia elétrica na otimização dos custos de um sistema de abastecimento de água

2.5.1 O custo da energia elétrica para as empresas de saneamento

Segundo James et al. (2002)

a energia consumida no mundo inteiro para a distribuição de água é, aproximadamente, igual à quantidade total de energia usada conjuntamente pelo Japão e Taiwan, e é da ordem de 7% do total do consumo mundial. O consumo de energia na maioria dos sistemas de

água em todo o mundo poderia ser reduzido em pelo menos 25% através de ações de eficiência com custo otimizado.

Segundo Gomes (2004)

a importância da energia consumida pelos bombeamentos é extremamente relevante e representa uma parcela considerável na demanda energética em todas as regiões do mundo. O custo da energia repercute, de forma considerável, no custo da água potável cobrada aos consumidores.

Segundo Gomes e Silva (2004) “os gastos com energia de bombeamento, na grande maioria das vezes, chegam a ultrapassar, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de investimento das instalações”, o que justificaria adaptações operacionais ou mesmo substituição dos sistemas cujo consumo energético não seja eficiente.

Verifica-se, portanto, a imperiosa necessidade de se considerar, na concepção dos projetos de adutoras, a contribuição do fator custo operacional devido ao consumo de energia elétrica de bombeamento. Vale dizer, que essa análise é fundamental na decisão da viabilidade técnico-financeira de um projeto de abastecimento de água ou de irrigação.

Segundo Tsutiya, M.T. (2005), pode-se obter considerável redução do consumo de energia nas redes de abastecimento quando se tem a possibilidade de redução da vazão, seja pela redução do número de bombas operando, seja pela redução da vazão variando a rotação da bomba através do uso de inversores de frequência, pois é sabido que a potência de uma bomba varia diretamente com a variação da rotação, conforme equação 2.3:

$$\frac{P1}{P2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^3 \quad (\text{eq. 2.3})$$

Onde: P1 = Potência da bomba girando à velocidade N1
P2 = POTÊNCIA DA BOMBA GIRANDO À VELOCIDADE N2

2.5.2A energia elétrica na matriz de custo das empresas de saneamento no Brasil

Para Haguiuda (1996), apud Tsutiya (2005), o custo energético operacional dos sistemas operados pela SABESP na região metropolitana de São Paulo responde por 71% do custo total com energia elétrica da empresa, apresentando a seguinte estratificação:

- a) Motores: 90%;
- b) Serviços auxiliares: 7,5%;
- c) Iluminação: 2,5%.

Ainda, segundo Tsutiya (2005), outro fator preponderante que onerou o custo da energia elétrica para as empresas de saneamento no Brasil foi que até junho de 1968 as empresas de saneamento tinham um subsídio de 80% nas tarifas de energia elétrica. A partir daí, esse subsídio foi sendo reduzido, chegando a 15% em 1990, mantendo-se até hoje.

Assim, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, estabeleceu uma meta de redução de 15% no desperdício de energia elétrica para o setor de Saneamento Básico.

Nesse sentido, fica patente que o conhecimento da legislação que trata a respeito da cobrança pelo uso da energia elétrica é de fundamental importância para a compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas dos consumidores para a tomada de decisão em relação a projetos de redução do consumo de energia elétrica.

Vale ressaltar, conforme apud Tsutiya (2005), que na tarifa horo-sazonal verde o preço do kWh é da ordem de dez vezes maior no horário de ponta (horário das 17:30 horas às 20:30 horas), quando comparado ao consumo no horário fora de ponta, além do que, às empresas de saneamento no Brasil, com já dito, se beneficiam de um subsídio de 15% nas tarifas de energia elétrica.

2.6 Oferta de água na região da bacia leiteira do estado de Alagoas

Geograficamente, a proximidade com a linha do Equador, traz para região temperaturas elevadas e um número elevado de horas de sol por ano (cerca de 3.000), o que implica em índices elevados de evapotranspiração, podendo chegar até 7 mm/dia. Embora a região da Bacia leiteira e áreas circunvizinhas apresentem uma média pluviométrica anual oscilando entre 500 e 800 mm, as chuvas são mal distribuídas no tempo e no espaço.

Ademais, em termos geológicos, predomina na região o embasamento cristalino, que se caracteriza pela presença de rios temporários e por água de subsolo mineralizada, isto é, salinizadas. É nesse contexto que surge o rio São Francisco, como única fonte firme de água da região, embora, hidrologicamente, seja um rio pobre, consequência de ter sua bacia constituída de cerca de 60% de clima semi-árido e com características geológica cristalinas. Tudo isso faz com a região do semi-árido apresente-se com o maior déficit hídrico para consumo humano e dessedentação animal do país.

Segundo Vieira et al. (2008, p. 4):

Atualmente o abastecimento de água dos municípios inseridos nas regiões do Sertão, Agreste e da Bacia Leiteira do estado de Alagoas, se dá através da existência de sistemas isolados, e de quatro grandes sistemas coletivos, sendo estes denominados de:

- a) Sistema Coletivo de Abastecimento de Água de Região do Sertão;
- b) Sistema Coletivo de Abastecimento de Água da Bacia Leiteira;
- c) Sistema Coletivo de Abastecimento de Água da Região do Agreste; e
- d) Sistema Coletivo Carangueja.

Tais sistemas são operados pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), sendo que o primeiro sistema capta água apenas no rio São Francisco, único rio com vazão segura em todos os períodos do ano, já o último sistema capta água numa barragem de acumulação construída no riacho Carangueja, afluente do rio Paraíba.

A fig. 2.10 ilustra os grandes sistemas integrados de abastecimento de água existentes nessas regiões, bem como o parágrafo seguinte, trás um pouco da história e da importância regional do rio São Francisco.

Figura 2.10 – Sistemas coletivos de oferta de água em Alagoas



Fonte: VIEIRA et al. (2008)

O agravante dos sistemas que captam água no rio São Francisco para o abastecimento da região (Sistema Coletivo de Abastecimento de Água de Região do Sertão, Sistema Coletivo de Abastecimento de Água da Bacia Leiteira e Sistema Coletivo de Abastecimento de Água da Região do Agreste) está no fato da grande altura de recalque necessária para abastecer as cidades da região, normalmente situadas à altitudes bem superiores às dos pontos de captação, o que eleva drasticamente o custo energético operacional dos mencionados sistemas de abastecimento de água.

2.70 Rio São Francisco: sua história e importância regional

O rio São Francisco, também chamado de Velho Chico, foi descoberto há mais de 500 anos (em 4 de outubro de 1501) pelos navegadores Américo Vespúcio e André Gonçalves. Os índios da região o chamavam de Opara (rio-mar), mas foi batizado de São Francisco, em homenagem a São Francisco de Assis, nascido no mesmo dia, 319 anos antes. O Rio da Unidade Nacional, como é também conhecido, é um dos mais importantes rios brasileiros, tendo sua nascente no Parque

Nacional da Serra da Canastra, sudoeste de Minas Gerais, no alto do Chapadão da Canastra (FAZENDA PASSAREDO, 2012).

A fig. 2.11 mostra a nascente o rio São Francisco (a) e a placa indicando a nascente com a estátua de São Francisco de Assis (b).

Figura 2.11 – (a) Nascente do Rio São Francisco; (b) Placa indicando a nascente do Rio São Francisco



Fonte: <http://www.fazendapassaredo.com/rio-sao-francisco.html>.

Geograficamente, o rio São Francisco é o terceiro maior rio do Brasil, dividindo-se em quatro trechos: o Alto São Francisco, que vai de suas cabeceiras até Pirapora, em Minas Gerais; o Médio, de Pirapora, onde começa o trecho navegável, até Remanso, na Bahia; o Submédio, de Remanso até Paulo Afonso, também na Bahia; e o Baixo, de Paulo Afonso até a foz.

Após percorrer 2.700 quilômetros, serpenteando pelo cerrado, cruza cinco estados brasileiros (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe) até desaguar no oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas, na Praia do Peba (estado de Alagoas), conforme fig. 2.12.

Figura 2.12 – Foz do Rio São Francisco na praia do Peba em Alagoas



Fonte: <http://www.google.com.br/imgres>,

Sua bacia hidrográfica tem 640.000 km² de área. É o único rio que corre no sentido norte/sul, da região Sudeste para a região Nordeste do Brasil, devido à diferença de nível causada por uma falha geológica conhecida por "depressão sanfranciscana". Não fosse essa falha, suas águas correriam de Minas Gerais para o sul.

O rio São Francisco é um importantíssimo recurso natural para o desenvolvimento regional, sendo responsável pela geração da energia elétrica que abastece o país, especialmente o Nordeste e boa parte de Minas Gerais, através das hidrelétricas de Três Marias, Paulo Afonso, Sobradinho, Xingó e Itaparica, além de vários projetos de irrigação e de abastecimento de água ao longo de seu curso.

2.8 A oferta futura de água na região

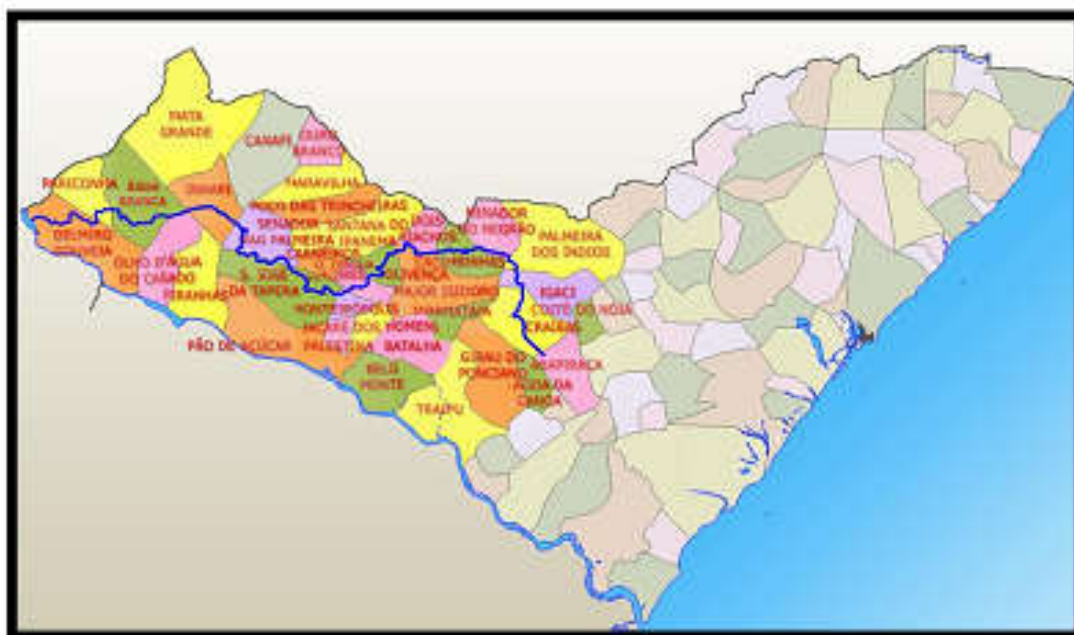
Segundo Vieira et al.(2008), a oferta futura de água na região nos próximos anos será incrementada com a entrada em operação de um canal adutor de água do rio São Francisco e seus diversos sub-ramais entre os municípios de Delmiro Gouveia e Arapiraca, atualmente em construção, com capacidade de conduzir, quando concluído, até 32 m³/s.

O Canal do Sertão Alagoano, como é conhecido, visa promover o desenvolvimento sócio-econômico do Sertão e Agreste do Estado, abrangendo seis micro-regiões e um total de 42 municípios, fornecendo água para as atividades

desenvolvidas ao longo de sua área de influência (perímetros irrigados, consumo humano dos núcleos urbanos e rurais, piscicultura e pecuária), .

A ideia do canal do Sertão é simples. Ele vai captar água no rio São Francisco, na cota 252 metros, à montante do reservatório de Moxotó. Uma estação de recalque elevará a água por mais 32,00 metros e daí por diante a água fluirá por gravidade, chegando até a cidade de Arapiraca, seguindo o trajeto mostrado na fig. 2.13.

Figura 2.13 – Trajeto do canal do sertão em Alagoas



Fonte: COHIDRO - Consultoria e Projetos

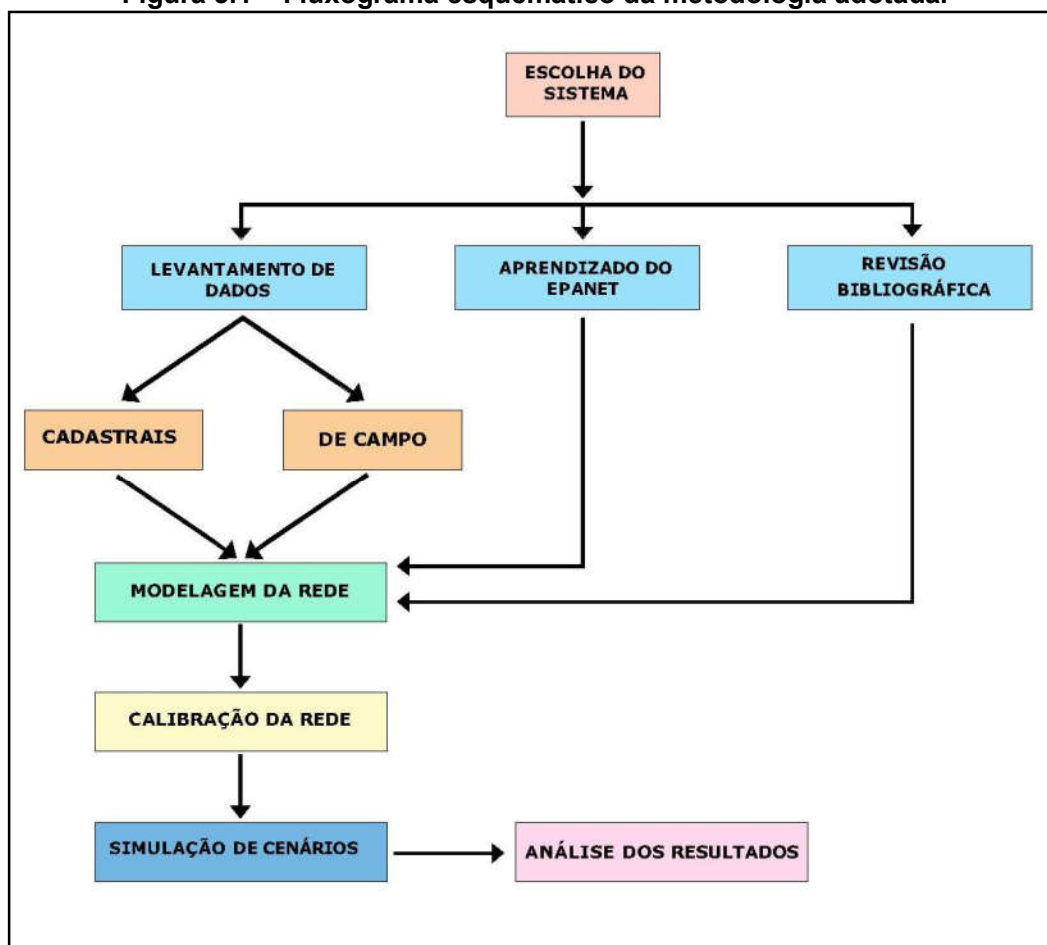
À medida que o canal, em seu percurso, for interceptando o traçado das grandes adutoras da região (adutoras do Sertão, da Bacia Leiteira e do Agreste) passará a abastecê-las a partir desses pontos, substituindo a captação no rio São Francisco, passando a abastecer por gravidade as localidades do lado direito do canal, antes atendidas por bombeamento e abastecendo por recalque, agora com desníveis inferiores à situação anterior à construção do canal, as cidades do seu lado esquerdo. Essa nova configuração do atendimento à demanda terá a vantagem da redução expressiva das alturas de bombeamento, repercutindo na diminuição do

consumo e da demanda de energia elétrica, aumentando a sustentabilidade do sistema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho teve início com a definição do sistema adutor a ser estudado e a partir daí, as etapas necessárias à consecução do objetivo proposto foram estabelecidas, conforme mostrado no esquema da fig. 3.1:

Figura 3.1 – Fluxograma esquemático da metodologia adotada.



Fonte: Autor

3.1 Escolha e conhecimento do sistema a ser modelado

Considerando o interesse em estudar um caso real e emblemático, de forma que os resultados obtidos pudessem ser aplicados para melhorar o desempenho operacional do sistema escolhido, consultou-se a CASAL – Companhia de Saneamento de Alagoas, a respeito do seu interesse. Assim, com a colaboração da CASAL, foi escolhido o sistema adutor principal da Bacia Leiteira em função dos seguintes fatores:

a) ser esse sistema responsável pelo abastecimento da região da Bacia Leiteira, que abrange uma área de $5.053,2 \text{ km}^2$, o que corresponde a 18,5% da área do Estado, responsável pela maior produção de leite *in natura* da região Nordeste, com aproximadamente 2.500 produtores rurais, que geram 25.000 empregos diretos. Sua produção diária é de cerca de 250 mil litros/dia para um rebanho estimado em 30.000 cabeças;

b) apresentar alto custo operacional, conforme os dados operacionais abaixo, fornecidos pela gerência da Unidade de Negócios da Bacia Leiteira, referente ao mês de dezembro de 2010:

- Volume anual produzido: 11.451.080,00 m³;
- Volume anual faturado: 5.159.984,00 m³;
- Indicador de perda de faturamento do Sistema: 55%;
- Custo energético anual do Sistema: R\$ 6.047.575,42.

Com o sistema definido, iniciou-se o levantamento dos dados a partir da busca dos projetos executivos, tanto do Sistema Adutor Principal, quanto dos diversos subsistemas abastecidos pela adutora estudada. Foram necessárias 12 (doze) visitas ao GEPRO – Gerência de Projetos e Obras da CASAL para consultar toda a documentação existente.

A ida ao campo para levantamento de características específicas do sistema e do seu funcionamento foi extremamente necessária para dirimir as dúvidas que surgiram no levantamento desses dados e na compreensão do referido sistema. A existência de dados de pesquisas anteriores sobre o sistema estudado também foi pesquisada no âmbito da UFAL e demais Secretarias de Estado.

Foram necessárias três campanhas de campo, de quatro dias de duração, cada, sendo a primeira campanha efetivada em janeiro de 2009, quando todos os dados disponíveis do sistema já tinham sido obtidos, e as outras duas ocorreram em junho e novembro do mesmo ano, quando foram dirimidas dúvidas de operação do sistema bem como coletados dados pitométricos de vazão e pressão para auxiliar na calibração do modelo.

Quanto ao consumo energético operacional do sistema, segundo DELGADO (2011), a energia elétrica consumida pelo sistema é fornecida pela Eletrobrás Distribuição Alagoas, estando a empresa enquadrada no subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 a 25 kV e na modalidade tarifária horo-sazonal verde, que considera a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano e de uma tarifa única de demanda de potência.

Quanto às tarifas de energia, foram consideradas as tarifas de energia elétrica vigentes em maio de 2009, conforme mostradas abaixo:

- a) Tarifa de consumo fora da ponta: R\$ 0,110846 / kWh;
- b) Tarifa de consumo na ponta:.....R\$ 1,157547 / kWh.

Os dados de campo foram levantados concomitantemente com a revisão bibliográfica e o aprendizado básico do simulador hidráulico EPANET. Buscou-se, também, quando necessário, as orientações de professores e alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, para tirar as dúvidas de como trabalhar com o EPANET e adquirir a habilidade necessária para trabalhar com o referido aplicativo.

3.2 Modelagem do sistema de abastecimento de água

Nesta etapa, a rede adutora foi inserida no EPANET, com todas as suas características físicas (topologia da rede, comprimento e diâmetro dos trechos de tubulação e cotas topográficas dos nós da rede), bem como os parâmetros hidráulicos necessários à modelagem (coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams, consumo-base de cada nó, padrão temporal de consumo e perda de carga localizada em válvulas). A calibração do modelo foi obtida utilizando-se do conjunto

de controles programados do EPANET para simular a estratégia operacional real utilizada pelo sistema, tendo como **parâmetro de calibração os níveis dos reservatórios**.

Devido às dimensões da rede e buscando obter uma visualização adequada da mesma, optou-se pela introdução do desenho dos componentes da rede de forma “esquemática”, isto é, sem escala.

Segundo (GOMES & SALVINO, 2007), um controle ou regra é um conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede deve ser operada ao longo do tempo, especificando o estado dos trechos selecionados em função do tempo, variação horária da altura de água nos reservatórios de nível variável e valores de pressão e velocidade em pontos específicos da rede.

3.3 Caracterização do sistema adutor principal da bacia leiteira

3.3.1 O sistema adutor principal

Segundo CASAL (2005), o projeto inicial previa a captação no rio São Francisco, e a construção de 90,73 km de adutoras em tubos de ferro fundido, com diâmetro variável de 450 a 200 mm, abastecendo sete cidades: Belo Monte, Jacaré dos Homens, Batalha, Major Isidoro, Monteirópolis, Olho D'água das Flores e Santana do Ipanema.

Segundo Pedrosa et al. (2008), o sistema coletivo da Bacia Leiteira tem sua principal adutora entre as cidades de Pão de Açúcar e Olho D'Água das Flores, em ferro dúctil com 700 mm de diâmetro e vazão média de 2.650,00 m³ por hora, conforme dados da seção de pitometria da CASAL (2009).

A captação do sistema localiza-se na margem esquerda do Rio São Francisco, próximo à cidade de Pão de Açúcar, estando a tomada d'água posicionada a montante do Morro do Cristo, no local onde a encosta avança para dentro do rio, a uma altitude de 19,00 m, minimizando-se os riscos de assoreamento.

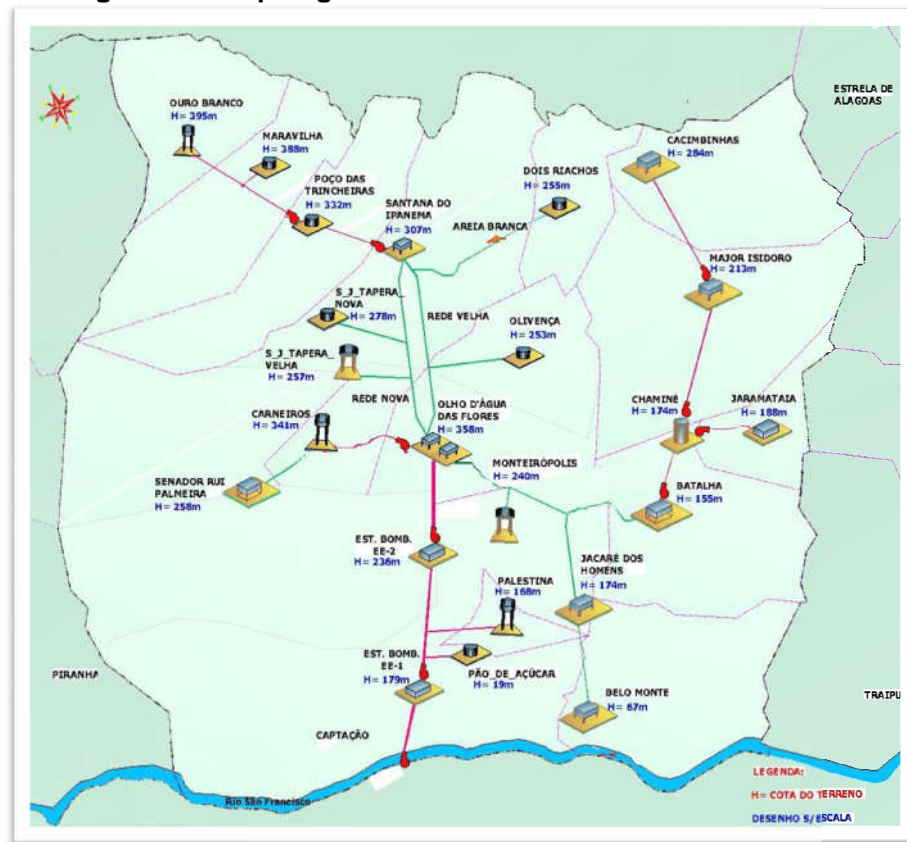
Posteriormente, a partir da adutora-tronco, foram construídas várias sub-adutoras para o abastecimento de outras cidades. Desta forma, o sistema passou a atender as cidades de: Ouro Branco, Maravilha, Poço das Trincheiras, Dois Riachos, Santana do Ipanema, Cacimbinhas, Olivença, Senador Rui Palmeira, Carneiros,

Olho d'Água das Flores, Major Isidoro, Jaramataia, Batalha, São José da Tapera, Monteirópolis, Jacaré dos Homens, Palestina e Belo Monte, perfazendo um total de 18 cidades, conforme mostrado na tab. 4.1. Nessa tabela foi incluída a cidade de Pão de Açúcar, perfazendo um total de 19 cidades atendidas pelo Sistema Adutor da Bacia Leiteira, pelo fato de que os serviços de fornecimento de água desse município, embora abastecida pela FNS - Fundação Nacional de Saúde, a água utilizada na cidade e demais povoados, é fornecida pelo Sistema Adutor da Bacia Leiteira.

O sistema adutor principal foi construído, inicialmente, em tubos de ferro dúctil (FoFo). Posteriormente, nas ampliações para alimentar pequenas comunidades e, mesmo nas manutenções do dia-a-dia, onde cabia, na ausência de tubos de ferro dúctil (FoFo), foram sendo utilizados tubos de PVC (DEFoFo) e até mesmo pequenos trechos em tubo PVC junta elástica. Na CASAL não foram encontrados cadastro com descrição e data das alterações.

A configuração do Sistema Adutor Principal da Bacia Leiteira, bem como o tipo dos reservatórios, apresentada na fig.3.2 refere-se ao mês de dezembro de 2009, sendo os dutos de cor vermelha, adutoras por recalque e os dutos de cor verde, adutoras por gravidade. Da captação até as cidades de Ouro Branco e Cacimbinhas tem-se uma distância de 80,00km e 100,00km, respectivamente, sendo essas as maiores distâncias desse sistema.

Figura3.2 – Topologia do Sistema Coletivo da Bacia Leiteira.



Fonte: Autor

Quanto às pressões presentes ao longo da rede, verifica-se que as diferenças de altitude entre cada conjunto compreendido por um dado reservatório e o seu respectivo reservatório de alimentação à montante são bastante variáveis, situando-se entre 17,00m a 203,00m, sendo 05 conjuntos com desníveis inferiores a 50,00m, conjuntos com desníveis superiores a 50,00m e inferiores ou igual a 100,00m, 08 conjuntos com desníveis superiores a 100,00m e inferiores ou igual a 200,00m e 01 conjunto com desnível igual a 203,00m, conforme tab. 3.1. Como conclusão tem-se que 73% dos trechos de adução do sistema está compreendido entre 50,00m e 200,00m o que caracteriza ser o mesmo um sistema que trabalha, predominantemente, com pressões elevadas.

Tabela 3.1- Desníveis entre cada reservatório e seu respectivo reservatório de alimentação à montante

RESERVATORIOS		DESNÍVEL (m)
DE MONTANTE	DE JUSANTE	
CAPTAÇÃO	EE-1	160.00
EE-1	EE-2	57.00
EE-1	PÃO DE AÇÚCAR	-160.00
EE-2	OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	122.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	CARNEIRO	-17.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	JACARÉ DOS HOMENS	-100.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	OLIVENÇA	-105.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	SÃO JOSÉ DA TAPERA(VELHO)	-101.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	SÃO JOSÉ DA TAPERA(NOVO)	-80.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	DOIS RIACHOS	-103.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	SANTANA DO IPANEMA	-51.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	MONTEIRÓPOLIS	-118.00
OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	BATALHA	-203.00
SANTANA DO IPANEMA	POÇO DAS TRINCHEIRAS	25.00
POÇO DAS TRINCHEIRAS	MARAVILHA	56.00
POÇO DAS TRINCHEIRAS	OURO BRANCO	63.00
CARNEIRO	RUI PALMEIRA	-83.00
JACARÉ DOS HOMENS	BELO MONTE	-191.00
BATALHA	RESERV. DO BOOSTER	19.00
RESERV. DO BOOSTER	JARAMATAIA	14.00
RESERV. DO BOOSTER	MAJOR ISIDORO	39.00
MAJOR ISIDORO	CACIMBINHAS	71.00

Fonte: CASAL (2007)

Importante ressaltar que, na modelagem da rede, foram consideradas as principais localidades abastecidas pelo sistema adutor, contemplando, assim, as dezenove cidades citadas no parágrafo anterior. Os consumos em marcha e dos povoados abastecidos pelo sistema estão considerados no valor do consumo-base.

Ainda, segundo CASAL (2005), o projeto inicial foi desenvolvido para uma vazão máxima de 0,190 m³/s. Com a ampliação do número de comunidades servidas, bem como o abastecimento rural ao longo das adutoras, o sistema passou, à época, a trabalhar com uma vazão de 0,285 m³/s.

Segundo Pedrosa et al, (2008), em 1991 o Sistema Coletivo da Bacia Leiteira foi ampliado, obedecendo ao projeto desenvolvido pela antiga SENERG (1991). Tal projeto contemplou, além de um reforço no sistema Coletivo, a distribuição em marcha, e assim propiciou o abastecimento de água ao gado por toda uma faixa de aproximadamente 3 km para cada lado da adutora, bem como possibilitou pequenas irrigações.

Com o Sistema ampliado, composto agora de nova captação em Pão de Açúcar (ver fig.3.3), uma adutora de água bruta (700 mm) em ferro fundido, duas estações elevatórias intermediárias EE1 e EE2 (ver fig.3.4) e dois grandes reservatórios-pulmão, R1 e R2, localizados no alto da serra, na cidade de Olho d'Água das Flores, a vazão de projeto passou a ser no início da adutora ampliada de $0,82 \text{ m}^3/\text{s}$, reduzindo-se para $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$ no final após a distribuição em marcha total de $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura3.3 – Tomada de água no rio São Francisco em Pão de Açúcar/Al



Fonte: Autor

Figura3.4– Estação elevatória EE-1 (Sistema Adutor Principal da Bacia Leiteira)



Fonte: Autor

No projeto de ampliação, também estava prevista a execução de uma **ETA** (Estação de Tratamento de água) do tipo convencional a ser localizada em área próxima ao reservatório de distribuição, mais ainda não foi construída, o que significa que o sistema distribui água bruta.

Quanto à tubulação da adutora, tem-se:

- a) da captação até a estação elevatória EE-1, uma adutora em FoFo, diâmetro de 700 mm e extensão de 6.310 metros.
- b) da estação elevatória EE-1 até a estação elevatória EE-2, uma adutora com extensão aproximada de 16.212 metros, em FoFo, DN= 700 .
- c) da estação elevatória EE-2 até D'água das Flores, a adutora tem extensão de 8.204 metros, em FoFo, DN= 700 .

Em Olho D'água das Flores existem dois reservatórios-pulmão, R_1 e R_2 , de 1.250 m^3 cada. Do reservatório R_1 sai uma adutora por gravidade para Santana do Ipanema, conhecida como "adutora antiga", em FoFo, com um comprimento total de 20 km. Esta adutora, ao longo do seu trajeto, apresenta inúmeras derivações para atender vários povoados e a cidade de Olivença. A partir do reservatório R_1 , em Olho d'Água das Flores, esta adutora apresenta um diâmetro DN=400 e comprimento de 7 km, até a derivação para Olivença, quando, a partir daí, passa para um diâmetro de DN=350 e comprimento de 13 km até o reservatório de Santana do Ipanema.

Também, logo na saída do reservatório R_1 , em Olho d'Água das Flores, no início desta adutora, derivam duas adutoras, funcionando por gravidade, para São José da Tapera: uma derivação, a mais antiga – conhecida como rede velha – tem 8.305 m em tubo FoFo de DN= 150, reduzido para DN= 100. No cadastro da CASAL consta que este trecho de chegada é em tubo DN= 125, mas este diâmetro não consta da linha de fabricação da fabricante Saint Gobain ou Barbará, como é mais conhecida no Brasil, por isso, consideramos este trecho de DN=100, K 9, para efeito deste trabalho, onde **K** é o coeficiente utilizado para designar a classe de espessura do tubo de ferro conforme NBR 7675..

A segunda derivação, mais recente, conhecida como rede nova, é em tubo DEFoFo, DN= 200, com um comprimento total de 11 km até o reservatório novo, construído na cidade a uma cota superior ao reservatório existente, para receber

esta nova adutora, melhorando as condições de atendimento do fornecimento de água (disponibilidade de água e pressão dinâmica) da cidade.

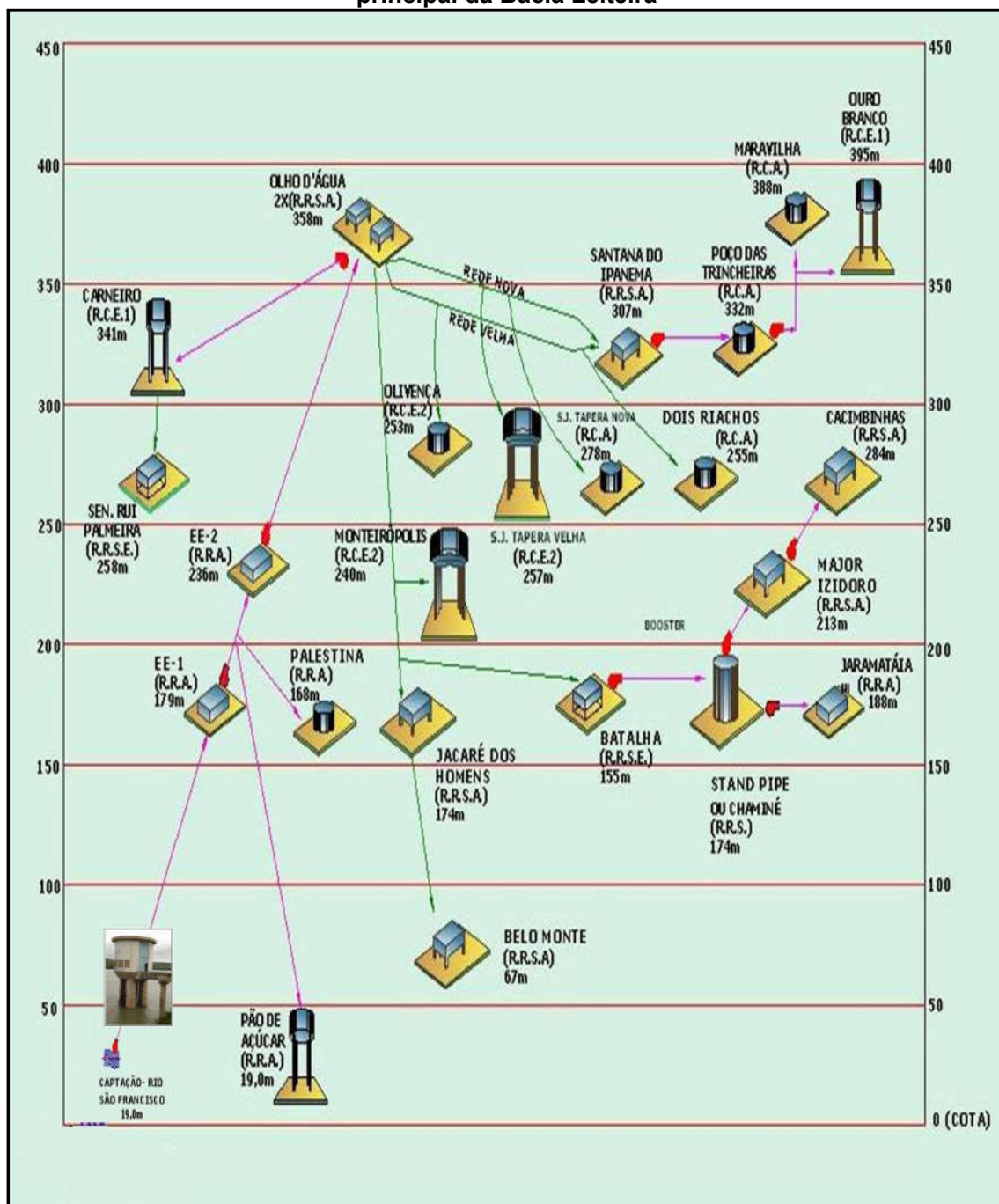
Do reservatório R₂, sai uma adutora em FoFo DN= 400 para Santana do Ipanema, por gravidade. Aproximadamente a uma distância de 5,8 km há uma derivação em PVC e extensão de 9,7 km, que atende ao município de Olivença. Outro ramal em FoFo e DN= 250, que antigamente recalrava de Jacaré dos Homens para Olho D'água das Flores (da captação de Belo Monte), atualmente invertido, abastece por gravidade, o município de Jacaré dos Homens, e complementa o abastecimento do sistema Belo Monte.

Em Santana do Ipanema há duas ramificações de adutora: uma que abastece os Municípios de Poço das Trincheiras e Maravilha em FoFo e DN = 250/200, seguindo para Ouro Branco em PVC DN = 150; e outra com DN = 150/100, sendo um trecho em FoFo e outro em PVC, que segue para o município de Dois Riachos.

Entre a captação e a estação elevatória de Olho D'água das Flores, a adutora principal dispõe de catorze TAU's (Tanques de Alimentação Unidirecional). Essas estruturas não foram consideradas na modelagem, pelo fato de que, segundo LACERDA (2011), o EPANET ainda não consegue modelar fenômenos transitórios, como é o caso dos Tanques de Alimentação Unidirecional.

Quanto ao consumo de energia elétrica, o sistema apresenta elevado custo energético operacional devido, principalmente, ao elevado desnível geométrico existente entre os reservatórios, pois, vários municípios atendidos por esse sistema estão a altitudes superiores a 200 metros em relação ao nível da captação no rio São Francisco (19,00 metros), conforme mostrado na fig.3.5e tab.3.2, sendo o reservatório de Ouro Branco o de maior altitude do sistema (395,00 m). O custo operacional energético anual do sistema é alto, girando em torno de R\$ 6 milhões/ano, conforme tab.3.3 onde se tem a população e o rateio de energia elétrica entre as diversas estações elevatórias do sistema, para o ano de 2010.

Figura3.5– Altitude e tipo de abastecimento dos reservatórios do sistema adutor principal da Bacia Leiteira



Fonte: Autor

Tabela 3.2 – Altitude da captação e dos reservatórios do Sistema Coletivo da Bacia Leiteira.

ITEM	LOCALIDADE	ALTITUDE (m)
1	Pão de Açúcar (captação)	19
2	Belo Monte	67
3	Batalha	155
4	Palestina	168
5	Jacaré dos Homens	174
6	Jaramataia	188
7	Major Isidoro	213
8	Monteirópolis	240
9	Olivença	253
10	Dois Riachos	255
11	S.J.Tapera:rede velha	257
12	Sen. Rui Palmeira	258
13	S.J.Tapera:rede nova	278
14	Cacimbinhas	284
15	Santana Ipanema	307
16	Poço das Trincheiras	332
17	Carneiros	341
18	Olho d'Água das Flores	358
19	Maravilha	388
20	Ouro Branco	395

Fonte: CASAL (2007)

Tabela 3.3– População dos municípios da Bacia Leiteira e consumo de energiad bombeamento nas estações elevatórias da adutora (dezembro/2010)

ITEM	LOCALIDADE	POPULAÇÃO IGBE (2010)	CONSUMO ELÉTRICO (KWH/Cidade)	CUSTO (R\$/Cidade)
1	Batalha	17,076	289.375,84	44.385,64
2	Belo Monte	7,030	44.270,61	8.142,41
3	Cacimbinhas	10,195	43.395,78	9.102,45
4	Carneiros	8,290	77.300,99	12.035,03
5	Dois Riachos	10,880	28.553,42	4.379,64
6	Jacaré dos Homens	5,413	300.246,63	46.762,99
7	Jaramataia	5,558	27.212,77	4.174,01
8	Major Isidoro	18,897	188.330,90	36.293,64
9	Maravilha	10,284	85.833,36	16.739,19
10	Monteirópolis	6,935	75.743,44	11.617,84
11	Olho d'Água das Flores	20,364	471.666,98	76.024,01
12	Olivença	11,047	80.139,96	12.292,19
13	Ouro Branco	10,912	54.470,76	10.622,87
14	Poço das Trincheiras	13,872	79.581,60	14.294,10
15	Palestina	5,512	99.994,33	15.337,54
16	Pão de Açúcar	23,811	127.600,37	19.571,86
17	Santana do Ipanema	44,932	788.642,12	121.212,94
18	São José da Tapera	30,088	237.293,59	36.397,05
19	Senador Rui Palmeira	13,047	29.854,63	4.579,22
TOTAL DO MÊS			3.129.508,10	503.964,62
TOTAL MÉDIO DO ANO (*)			37.554.097,16	6.047.575,42

Fonte: DELGADO (2011)

Esse custo elevado torna inviável financeiramente a operação dessa adutora, tornando-a deficitária e comprometendo sua sustentabilidade. Assim, a CASAL só consegue continuar operando esse sistema pela existência do subsídio cruzado, que em outros termos significa existirem outros sistemas operados pela empresa que são superavitários, gerando excedentes financeiros que são transferidos para os sistemas deficitários, viabilizando a operação dos mesmos, mas retirando da empresa a sua capacidade de investimento.

3.3.2 Consumo-base e modulação do consumo

O consumo base dos nós da rede consiste na demanda média diária dos nós que apresentam consumo próprio. No caso presente, o consumo-base de cada reservatório foi calculado a partir do volume real distribuído (m^3), medido para o mês de agosto/2010, fornecido pela CASAL, conforme tab.3.4 e considerando o mês com 30 dias.

Tabela 3.4 – Consumo-base das cidades abastecidas pelo sistema adutor principal da Bacia Leiteira.

LOCALIDADE	VOL.DIST.REAL AGOSTO/2010 (M ³)	CONSUMO-BASE REAL (AGOSTO/2010) (L/S)
PÃO DE AÇÚCAR	26958.00	10.06
PALESTINA	40247.00	15.03
OLHO d'ÁGUA FLORES	163514.00	61.05
SÃO JOSÉ DA TAPER (REDE VELHA)	28951.00	10.81
SÃO JOSÉ DA TAPER (REDE NOVA)	28951.00	10.81
CARNEIROS	29963.00	11.19
SENADOR RUI PALMEIRA	18000.00	6.72
OLIVENÇA	30886.00	11.53
SANTANA DE IPANEMA	219346.00	81.89
POÇO DAS TRINCHEIRAS	20575.00	7.68
MARAVILHA	14627.00	5.46
OURO BRANCO	9068.00	3.39
DOIS RIACHOS	11572.00	4.32
MONTEIRÓPOLIS	20354.00	7.60
JACARÉ DOS HOMENS	110775.00	41.36
BELO MONTE	13617.00	5.08
BATALHA	105852.00	39.52
JARAMATAIA	12151.00	4.54
MAJOR ISIDORO	47124.00	17.59
CACIMBINHAS	8462.00	3.16

Fonte: DANTAS (2010)

Como dito anteriormente, um dos parâmetros mais importantes na modelagem hidráulica é a curva de modulação de consumo. Como não se dispunha

dessa informação, a Gerencia da UNBL, sugeriu levantar o consumo horário na saída do reservatório de Santana de Ipanema, e estendido para as demais localidades, já que esse reservatório distribui para as **regiões urbana e rural**, representando bem o padrão de consumo da região abastecida pela adutora.

Na ausência de macromedição na saída do reservatório em Santana do Ipanema, procurou-se determinar esse consumo (l/s) através de **MEDIÇÃO PROPORCIONAL** (medição com um hidrômetro, instalado em by-pass na tubulação cuja vazão se quer medir) conforme fig. 3.6.

Figura 3.6 – Kit de uma medição proporcional



Fonte: CASAL/UNBL

Essa medição foi feita durante um período de 24 horas, realizada em agosto de 2010, sob os auspícios da gerência da Unidade de Negócio da Bacia Leiteira – UNBL. O Índice Absoluto de Consumo – IAC, assim denominado o índice que expressa de forma absoluta o consumo horário em função do consumo médio diário, resultado da divisão de cada consumo horário (l/s) pelo consumo médio diário, está apresentado na tab.3.5 e ilustrado na fig.3.7.

Uma vez que a modulação real do consumo não é uma informação disponível para o sistema, especialmente considerando o rodízio no atendimento às demandas, foram realizadas medições de vazão na saída do reservatório de Santana de Ipanema. Esse valor foi considerado representativo das médias de consumo totais do sistema, uma vez que esse reservatório distribui para as regiões urbana e rural, representando bem o padrão de consumo da região abastecida pela adutora.

Devido à ausência de macromedição na saída do reservatório em Santana do Ipanema, o consumo foi obtido através de medição proporcional (medição com um hidrômetro, instalado em *by-pass* na tubulação cuja vazão se quer medir). Essa medição foi feita num período de 24 horas, realizada em agosto de 2010, para determinação dos Índices Absolutos de Consumo horário(IAC). O IAC representa os multiplicadores do consumo médio para obtenção da curva de modulação do consumo conforme mostrado na figura 3.7. Segundo DANTAS (2010), a curva determinada está condizente com a realidade, motivo pelo qual a mesma foi adotada para todo o sistema.

Deve-se destacar que os índices obtidos a partir dessa medição são índices de consumo ou de fornecimento de água (medido) e não de demanda, uma vez que há rodízios de abastecimento no sistema, havendo, portanto, uma demanda não atendida. Considerou-se, entretanto, que esses valores são representativos da atual condição do sistema de abastecimento da Bacia Leiteira.

Figura 3.7–Gráfico do padrão horário de consumo medido para Santana de Ipanema



Fonte: Autor

Verifica-se que o valor máximo da curva acima referenciada vale 1,6, sendo também esse o valor do coeficiente da hora de maior consumo, chamado de K_2 na norma brasileira de abastecimento de água, utilizado no dimensionamento da rede de distribuição propriamente dita, a partir do reservatório. Segundo TSUTYA (2006), medições em sistemas operando há vários anos no estado de São Paulo mostraram que esse índice variou entre 1,08 3,80 estando, portanto, o valor de 1,57

compatíveis com a realidade brasileira, o que reforça a escolha dos valores de IAC a partir da medição de campo como padrão de modulação horária do consumo aqui considerado.

Verifica-se que o valor máximo do Índice Absoluto de Consumo adotado (medição 01) vale 1,57, sendo também esse o valor do coeficiente da(s) hora(s) de maior consumo, chamado de K2 na norma brasileira de abastecimento de água, utilizado no dimensionamento da rede de distribuição propriamente dita, a partir do reservatório. Segundo a literatura, esse índice varia de 1,5 a 3,0, estando, portanto, o valor de 1,57 compatível com a realidade brasileira, o que reforça a escolha dos valores de IAC a partir da medição 01, como padrão de modulação horária do consumo aqui considerado.

Na fig.3.8 verifica-se uma elevação atípica do IAC no período noturno, após 22:00 horas, denotando uma elevação da vazão nesse período. Isso acontece porque existe uma demanda local reprimida devido ao fato das bombas do sistema ficarem desligadas no horário de ponta do sistema elétrico, o que leva ao esvaziamento dos reservatórios e respectivas redes de adução e distribuição no final desse período. Com o retorno operacional das bombas às 20:30 horas, as redes de distribuição começam a encher, demandando um consumo maior. Há a considerar também, o enchimento dos reservatórios residenciais.

3.3.3 Regime de operação real das bombas do sistema adutor da Bacia Leiteira

Os dados de operação real das estações de bombeamento, importantes para nortear a calibração do sistema, foram obtidos junto à gerência da Unidade de Negócios da Bacia Leiteira quando da primeira campanha de campo e constam da tab.3.5.

Tabela 3.5 - Descrição da operação real do sistema adutor da Bacia Leiteira

ITEM	ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	FUNÇÃO	REGRAS DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS
01	CAPTAÇÃO	Bombas B1, B2 e B3, Bombeando para a EE1	<p>O sistema de funcionamento da captação de Pão de Açúcar é da seguinte forma:</p> <p>Finais de semana e feriados: duas bombas funcionam em paralelo das 7:30horas às 17:30 horas A partir das 17:30horas funciona apenas uma bomba até as 7:30 horas da manhã, quando entra novamente a segunda bomba.</p> <p>Dias úteis: é igual aos finais de semana, exceto pelo fato de durante o horário de ponta, isto é, das 17:30 horas às 20:30 horas, as bombas param.</p> <p>Normalmente apenas um conjunto moto/bomba funciona das 20:30horas às 07:30horas, entrando com o segundo conj. Em paralelo das 07:30 às 17:30horas, podendo funcionar mais ou menos tempo em paralelo, dependendo da demanda da região.</p> <p>Não existe horário específico de funcionamento de cada bomba, elas revezam ente si.</p>
02	EE1	Bombas B4, B5 e B6 bombeando para a EE2	<p>O regime de operação dos conjuntos moto/bombada estações elevatóriasEE1 e EE2 segue o mesmo regime de operação da captação em pão de açúcar. Ex.: quando está funcionando uma bomba na captação o funcionamento é o mesmo na EE1 e EE2.</p> <p>A regra geral para o reservatório pulmão do sistema, em Olho d'Água das Flores, é manter o reservatório sempre com, pelo menos, metade da altura útil do reservatório, isto é, 2,05m.</p>
03	EE2	Bombas B7, B8 e B9 bombeando para Olho d'Água das Flores (serra do Parujé)	
04	EE-SANTANA	Bombas B1 e B11 1 bombeando para Poço das Trincheiras	<p>Normalmente os dois conjuntos funcionam em paralelo no período de 24 horas por dia, a não ser que o nível do reservatório de Santana de Ipanema baixe muito, devido à parada no horário de ponta ou algum problema no sistema, ficando funcionando com apenas um conj. Moto-bomba ou até mesmo parando o bombeamento, enquanto o sistema/reservatório se restabelece.</p> <p>A regra geral para todos os reservatórios abastecidos por bombeamento é que estejam cheios no horário das 17:30 horas, horário em que as bombas são desligadas, nos dias úteis, devido ao horário de ponta do sistema elétrico, para garantir o abastecimento do sistema.</p> <p>A estação elevatória de Poço das Trincheiras é automatizada, podendo funcionar com apenas um conjunto moto-bomba ou com os dois em paralelo, dependendo apenas do nível de água do reservatório.</p>
05	EE-POÇO DAS TRINCHEIRAS	Bombas B12 e B13 bombeando para Ouro Branco e Maravilha	<p>Quando está sendo abastecida a cidade de Poço das Trincheiras, normalmente está funcionando apenas um conjunto moto-bomba para a cidade de Maravilha/Ouro Branco, devido o baixo nível do reservatório, podendo o segundo conjunto. Entrar em paralelo por um curto período de tempo. Já quando a cidade de Poço das Trincheiras está próxima de se abastecer ou o registro da cidade é fechado, o nível do reservatório sobe e se mantém</p>

			<p>instável, o sistema passa a funcionar com as duas bombas em paralelo enquanto a cidade de Poço das Trincheiras estiver sem receber água.</p> <p>Geralmente as cidades de Poço das Trincheiras e Maravilha são abastecidas simultaneamente no período de 05 dias, logo após passando o abastecimento para a cidade de Ouro Branco onde é abastecida em média por 06 dias.</p> <p>Essa escala pode variar dependendo da demanda das três cidades.</p> <p>Normalmente quando o abastecimento está para as cidades de Poço das Trincheiras e Maravilha, Ouro Branco não recebe água, e vice-versa.</p>
06	EE-SANTANA	Bomba B14_15 bombeando para o povoado de Areia Branca que abastece Dois Riachos	<p>O sistema de bombeamento da E.E. – Santana de Ipanema para a cidade de Dois Riachos funciona com um conjunto moto/bomba no período de 24 horas por dia e um conjunto reserva. A não ser que o nível do reservatório baixe muito, devido à parada no horário horo-sazonal ou algum problema no sistema, parando o bombeamento, enquanto o sistema/reservatório se restabelece.</p>
07	EE-BATALHA	Bombas B17 e B17A bombeando para o reservatório-chaminé	<p>O sistema de bombeamento da E.E. – Batalha para o reservatório tipo chaminé, antes do Booster, funciona com um conjunto moto/bomba no período de 24 horas por dia e um conjunto reserva. A não ser que o nível do reservatório baixe muito, devido à parada no horário horo-sazonal ou algum problema no sistema, parando o bombeamento, enquanto o sistema/reservatório se restabelece.</p>
08	EE-BOOSTER	Bombas B18 e B18A bombeando para Major Isidoro	<p>O sistema de bombeamento da E.E. – Booster para E.E. – Major Isidoro funciona com um conjunto moto/bomba no período de 24 horas por dia e um conjunto reserva. A não ser que exista alguma parada na EE-Batalha, devido algum problema no sistema ou a parada no horário horo-sazonal, parando o bombeamento, enquanto o sistema se restabelece.</p> <p>Obs.: Quando o bombeamento está parado para a cidade de Jaramataia o registro de recalque para Major Isidoro fica totalmente aberto. Já quando é iniciado o abastecimento de Jaramataia é necessário trabalhar com o registro de recalque de Major Isidoro reduzido (estrangulado), devido o aumento da demanda.</p> <p>A cidade de Major Isidoro recebe água por um período intermitente, ficando com água normalmente oito dias sim e oito não, quando uma cidade tem água a outra não.</p>
09	EE-MAJOR ISIDORO	Bombas B19 e B20 bombeando para Cacimbinhas	<p>O sistema de bombeamento da E.E. – Major Isidoro para a cidade de Cacimbinhas funciona com um conjunto moto/bomba no período de 24 horas por dia e um conjunto reserva, por um período de oito dias sim e oito não. A não ser que exista alguma parada na EE-Booster, devido algum problema no sistema ou a parada no horário horo-sazonal, parando o bombeamento, enquanto o sistema se restabelece.</p> <p>A cidade de Cacimbinhas recebe água por um período intermitente, ficando com água normalmente oito dias sim e oito não, quando uma cidade tem água a outra não.</p>
10	EE-BOOSTER	Bombas B23 e B24 bombeando para	<p>O sistema de bombeamento da E.E. – Booster para a cidade de Jaramataia funciona com um conjunto moto/bomba em média por um período de 12 horas por dia. A não ser que exista</p>

	Jaramataia	alguma parada na EE-Batalha, devido algum problema no sistema ou a parada no horário horo-sazonal, parando o bombeamento, enquanto o sistema se restabelece. A cidade de Jaramataia é abastecida normalmente das 20:30horas às 08:30horasficando sem água por um período de 12 horas por dia , sendo que nos dias de domingo o sistema funciona por 24horas.
11	EE-OLHO d'ÁGUA DAS FLORES	BOMBEANDO PARA CARNEIROS E SENADOR RUI PALMEIRA
		O sistema de bombeamento da E.E. de Olho D'água das Flores para as cidades de Carneiros, Senador Rui Palmeira e Povoado Caboclo, funciona com um conjunto moto/bomba operando ininterruptamente durante 24 horas/ dia, em um ciclo de 10 dias , abastecendo as localidades acima da seguinte forma:A cidade de Carneiros recebe água por 04 dias seguidos, passando a água para Senador Rui Palmeira que é abastecido por quatro dias seguidos também. Logo após passa o abastecimento para o Povoado Caboclo no município de São José da Tapera que é abastecido por 02 dias seguidos. A seguir, repete-se o ciclo. O bombeamento obedece a um ciclo de 10 dias, só sendo alterado se o nível do reservatório baixar muito, devido à parada das bombas de jusante no horário de ponta ou se algum problema no sistema exigir a interrupção do bombeamento.

Fonte: DANTAS (2010)

3.3.4 Características dos conjuntos de bombeamento do sistema.

Atualmente, a adutora conta com onze sistemas de bombeamento, que funcionam, praticamente, vinte e quatro horas nos fins de semana e param, no horário de ponta do sistema elétrico (das 17:30 horas até às 20:30 horas), nos cinco dias úteis da semana.

A tab.3.6 mostra a relação desses onze bombeamentos do sistema e os valores dos pontos das curvas característica e de rendimento das bombas que depois de introduzidos no EPANET, permitiram gerar as curvas-padrão utilizadas pelo simulador hidráulico.

Tabela 3.6 - Pontos das curvas característica e de rendimento das bombas

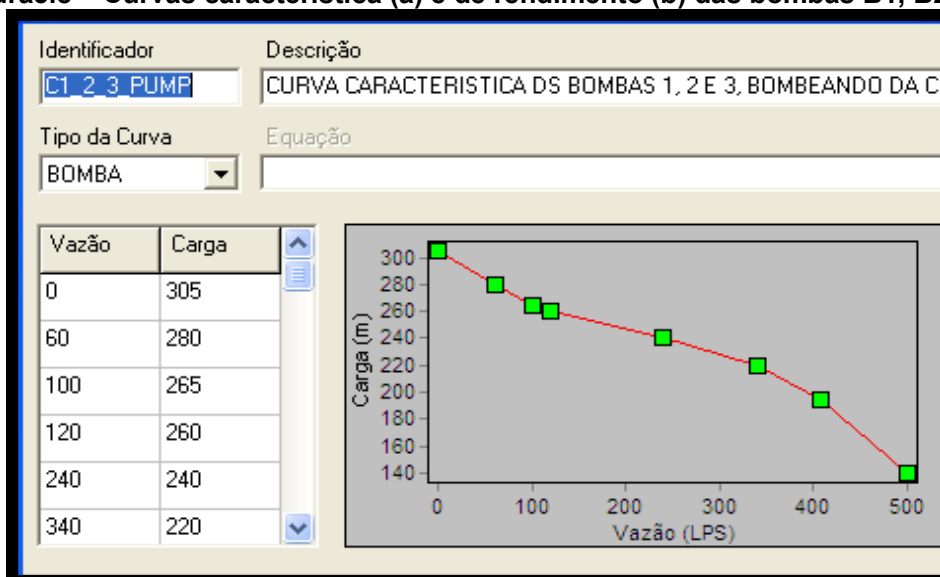
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	BOMBAS	PONTOS DAS CURVAS		
		VAZÃO (l/s)	CARGA (m)	RENDIMENTO (%)
CAPTAÇÃO	B1, B2 e B3	0	305	0
		60	280	25
		100	265	40
		120	260	45
		240	240	72
		340	220	81
EE1	B4, B5 e B6	0	230	0
		500	223	50
		860	215	70
		1500	190	80
		1850	158	75
		-	-	-
EE2	B7, B8 e B9	0	230	0
		500	223	50
		860	215	70
		1500	190	80
		1850	158	75
		-	-	-
BOMBEANDO DE SANTANA DO IPANEMAPARA POÇO DAS TRINCHEIRAS	B10 e B11	0	50	0
		19,79	48	65
		32,64	44	70
		40,56	31	-
		-	-	-
		-	-	-
BOMBEANDO DE POÇO DAS TRINCHEIRAS PARA OURO BRANCO E MARAVILHA	B12 e B13	0	150	55
		13,89	143	77
		30,56	120	70
		41,67	87	-
		-	-	-
		-	-	-
BOMBEANDO DE	B14 e B15	0	116	10

		13,89	109	55
		30,56	84	73
		41,67	50	64
		-	-	-
		-	-	-
		0	210	-
BOMBEANDO DE BATALHA PARA O RNV TIPO STAND PIPE	B17 e B17A	22,22	185	60
		33,33	170	73
		50,56	135	70
		69,44	75	43
		-	-	-
		0	210	-
BOMBEANDO DO RNV STAND PIPE PARA MAJOR ISIDORO	B18 e B18A	22,22	185	60
		33,33	170	73
		50,56	135	70
		69,44	75	43
		-	-	-
		0	188,5	-
BOMBEANDO DE MAJOR ISIDORO PARA CACIMBINHAS	B19 e B20	5,56	182	60
		10,56	143	72
		15,28	58,5	40
		-	-	-
		-	-	-
		0	130	0
BOMBEANDO DO RNV STAND PIPE PARA JARAMATAIA	B23 e B24	8,33	120	56
		11,11	110	60
		15,28	90	56
		-	-	-
		-	-	-
		0	122	-
BOMBEANDO DE OLHO d'ÁGUA DAS FLORES PARA CARNEIROS	B25 e B26	20,83	120	64
		37,50	112	74
		51,39	90	69
		-	-	-
		-	-	-

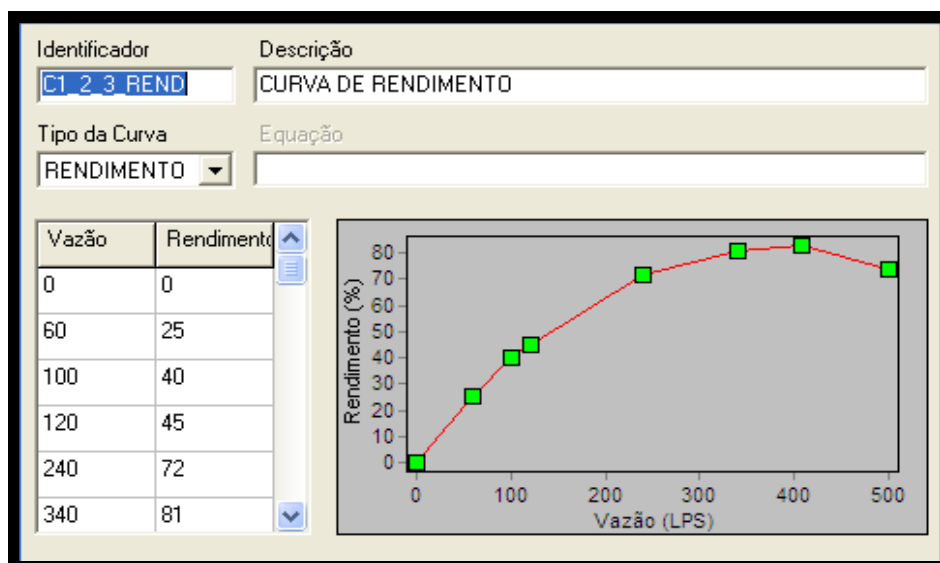
Fonte: CASAL (2009)

A título de exemplo, a figura 3.8 (“a” e “b”) apresenta as curvas característica e de rendimento das bombas B1, B2 e B3, geradas no EPANET, instaladas na captação. Destaca-se, no caso, que essas bombas são idênticas.

Figura3.8 – Curvas característica (a) e de rendimento (b) das bombas B1, B2 e B3



a)



b)

Fonte: Autor

3.4 Modelando a rede no EPANET

A modelagem da rede no EPANET seguiu as seguintes etapas:

- a) Escala do desenho da rede: sem escala;
- b) Desenho da rede: utilizou-se o módulo de desenho do simulador EPANET. As estruturas da rede, tais como reservatórios de nível fixo e de nível variável, dutos, válvulas e nós foram paulatinamente inseridos na rede, representado-se a rede adutora principal;
- c) Introdução dos parâmetros hidráulicos: consistiu da inserção dos valores dos seguintes parâmetros hidráulicos:
- Dos dutos: comprimento, diâmetro e rugosidade;
 - Dos reservatórios: cota de fundo, diâmetro equivalente e alturas de nível de água mínimo, máximo e inicial (admitido igual ao nível máximo);
 - Dos nós: cota, consumo-base, padrão e categoria de consumo;
 - Das válvulas de controle operacional: diâmetro, tipo, parâmetro de controle, coeficiente de perda de carga singular e estado fixo;
 - Das válvulas de retenção especificamente: comprimento, diâmetro, rugosidade, coeficiente de perda de carga singular e estado inicial.

A configuração inicial da rede, depois de concluída, ficou constituída dos quantitativos constantes da tab.3.7.

Tabela 3.7 – Quantitativo dos componentes do sistema adutor principal da BACIA LEITEIRA

ITEM	DESCRIÇÃO DO COMPONENTE DA REDE	UNID.	QUANT.
01	Número de NÓS	UND	153
02	Número de RNF	UND	01
03	Número de RNV	UND	23
04	Número de TUBOS	UND	138
05	Número de BOMBAS	UND	24
06	Número de VÁLVULAS	UND	27

Fonte: Autor

3.4.1 Trabalhos preliminares

Os trabalhos foram iniciados com a busca junto à CASAL - Companhia de Saneamento de Alagoas, dos dados originais dos projetos executivos e de campo,

para obter os dados de como a rede foi de fato construída e os dados de operação, inclusive relatórios gerenciais, no intuito de obter dados para a modelagem da rede e subsidiar o futuro trabalho de calibração do modelo.

Nesse intuito, várias buscas foram realizadas no arquivo da CASAL, mais precisamente na mapoteca do setor de projetos, antiga GEPRO, atualmente setor de Engenharia. A fig.3.9, registra um desses momentos.

Figura3.9– Busca e análise dos projetos executivos do Sistema Adutor da Bacia Leiteira.



Fonte: Autor

Nessas consultas à mapoteca obteve-se um percentual de aproximadamente 70% dos projetos executivos do sistema atualmente em operação.

3.4.2 - Primeira campanha de campo – Reconhecimento do sistema

Após a análise dos projetos de engenharia, arquivados e disponibilizados pela CASAL, constatou-se existirem projetos, elaborados por consultorias diferentes e em épocas distintas, para atender a ampliação do sistema.

A antiguidade dos documentos técnicos e a constatação da existência de pelo menos três (três) empresas consultoras responsáveis pela elaboração da totalidade daqueles projetos, inclusive com divergência de valores de dados comuns, a exemplo da base de dados topográficos (cota vertical de pontos comuns diferentes),

além da falta de outros projetos, exigiu um acurado levantamento de campo para obtenção e/ou confirmação de informações do sistema adutor. Esse levantamento consistiu de:

- a) medição das dimensões físicas dos principais componentes acessíveis da rede (reservatórios e tubulações);
- b) relatório fotográfico;
- c) medição com GPS da altitude de nós importantes da rede. O erro inerentes a medição com o GPS foi considerado irrelevante devido às elevadas cotas do sistema: sai de 19,00m na captação até 395,00 no reservatório da cidade de Ouro Branco;
- d) informações verbais dos operadores do sistema.

A primeira campanha de campo ocorreu no período de 26 a 29 de janeiro de 2009, quando se percorreu todos os 19 (dezenove) municípios atendidos pelo sistema, sempre com o apoio e acompanhamento dos técnicos da Gerência de Santana do Ipanema, responsáveis pela operação de todo o sistema.

As fig.3.10e 3.11 mostram alguns dos momentos da primeira campanha de campo realizada ao longo de toda a Adutora da Bacia Leiteira.

Figura3.10 –Levantamento em campo: a) características das bombas B1, B2 e B3 e, (b) reservatório pulmão do sistema em Santana de Ipanema



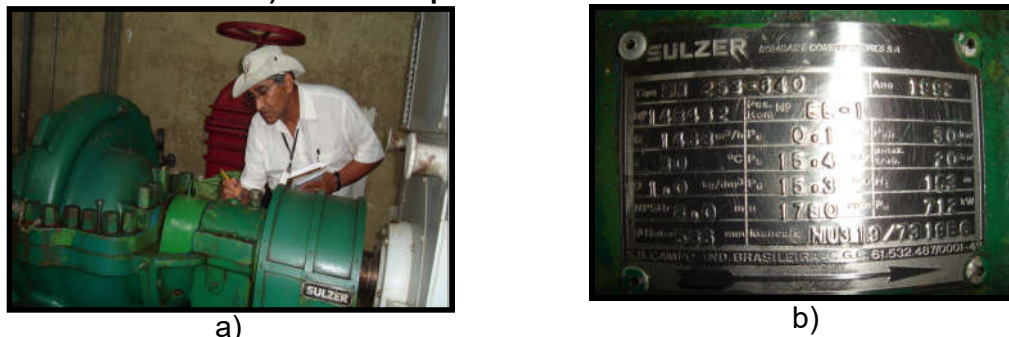
a)



b)

Fonte: Autor

Figura3.11 – Levantamentos durante a primeira campanha de campo: a) bomba B4 na EE1 e b) detalhe da placa com os dados da bomba B4



Fonte: Autor

3.4.3 Segunda e terceira campanhas de campo

A segunda campanha de campo, ocorrida em junho de 2009 foi utilizada para concluir o levantamento de campo no que se refere a alguns dados físicos e operacionais da rede que ficaram faltando.

A terceira campanha, realizada em novembro do mesmo ano, destinou-se exclusivamente à coleta de dados de pitometria, importantes para complementar o banco de dados operacionais do sistema. Os testes pitométricos foram realizados pela equipe especializada em pitometriada CASAL, utilizando um medidor/registrador de pressão e pressão diferencial, fabricado pela Lamon Instrumentação Industrial Ltda., modelo MDH600-300A, constituído fundamentalmente de uma maleta contendo um tubo de Pitot.

O equipamento é fornecido com o software MDHidro, capaz de converter o diferencial de pressão em vazão. As medições foram feitas com o acompanhamento do autor em todas as medições e estações pitométricas. Na fig.3.12 são mostrados vários momentos representativos destas medições. Os dados de pressão e vazão medidos nesta campanha constam da tabelado Apêndice “B”.

Figura 3.12 – Etapas da medição pitométrica: a) medição pitométrica na saída da captação, b) fixação da vareta de medição e c) maleta de medição durante uma medição; d) detalhe da maleta de medição;



a)



b)



c)

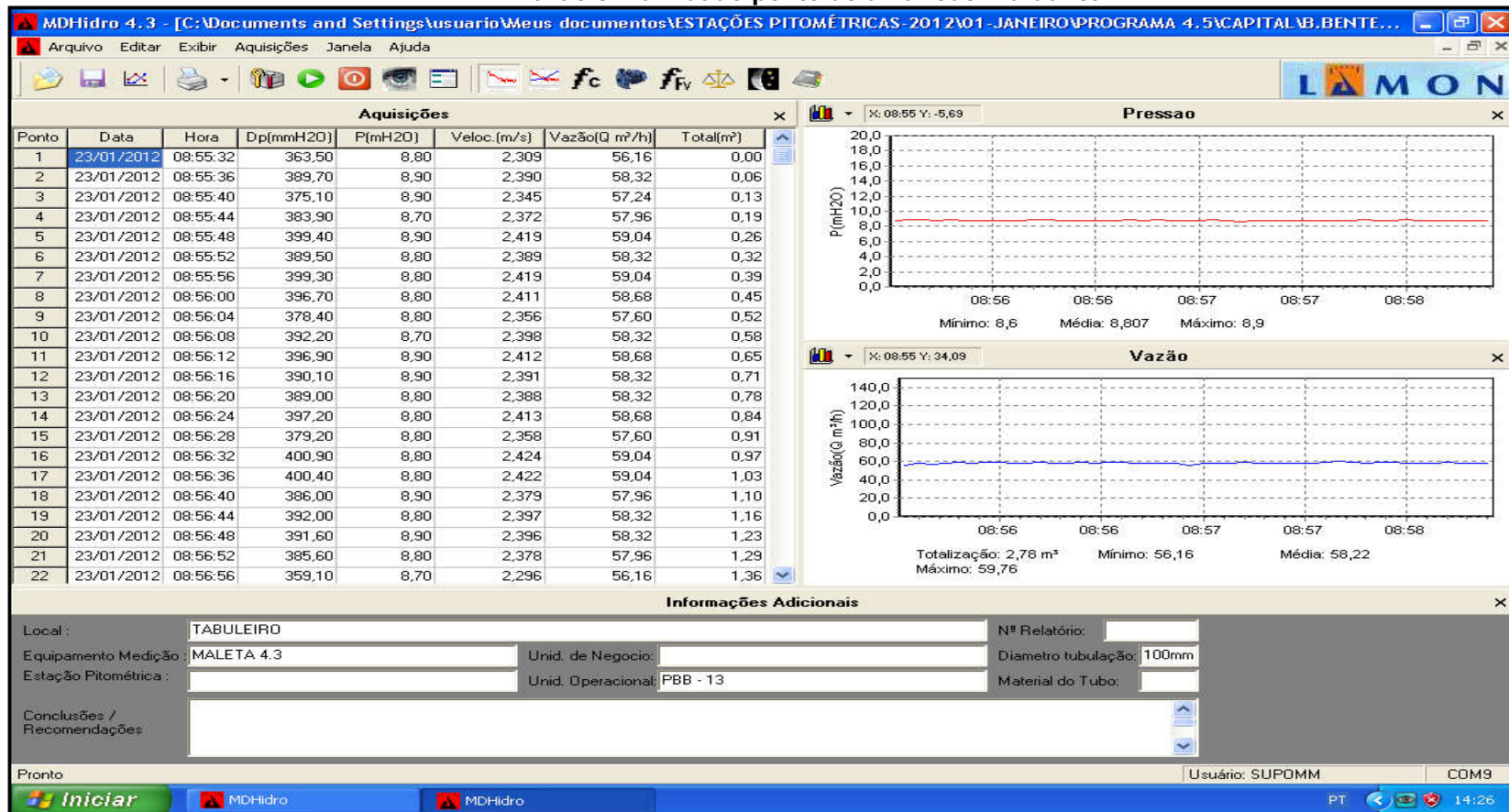


d)

Fonte: Autor

Na fig. 3.13 é mostrada uma tela do aplicativo da maleta de medição pitométrica mostrando os dados de pressão e vazão de um ponto da rede.

Figura3.13 - Detalhe da tela do computador mostrando uma visualização dos dados medidos com a maleta LAMON de pressão e vazão em um dado ponto de uma rede hidráulica.



Fonte: CASAL, 2012

3.4.4 Características físicas e operacionais do sistema

O sistema é, preponderantemente, operado de forma manual. Assim, praticamente a operação de toda a rede é realizada por funcionários que guardam consigo as informações essenciais de como operar determinada estação.

Praticamente todas as localidades abastecidas pelo sistema dispõem de algum tipo de reservatório, estando os reservatórios principais contemplados nesse estudo, em um total de vinte e três ao todo, embora à época desse estudo só estivessem operando vinte e um. O reservatório da cidade de Palestina (fig.3.2 e 3.6) foi demolido e o reservatório da cidade de Dois Riachos foi desativado, segundo a CASAL, por apresentarem problemas estruturais, sendo a rede de distribuição interligada diretamente à adutora nos antigos locais dos reservatórios.

Dos vinte e um reservatórios ativos, dez são alimentados por recalque e onze, por gravidade. Nas cidades de Senador Rui Palmeira, Ouro Branco, Dois Riachos, Monteirópolis, Jaramataia e Cacimbinhas, foram feitos *by-pass* nos reservatórios, passando os mesmos a funcionarem como reservatórios de compensação, alimentando a rede de distribuição nas horas de ponta do sistema elétrico, quando as bombas são desligadas.

No projeto original da rede adutora de Batalha para Major Isidoro, existe um Booster constituído de dois conjuntos de bombas, um bombeando para Major Isidoro e outro bombeando para a cidade de Jaramataia. Segundo Dantas (2010) “b”, no início da operação daquele trecho, ocorreram vários rompimentos da rede, próximos ao booster, tendo a CASAL, no intuito de resolver o problema, construído uma chaminé de equilíbrio, que atualmente funciona como reservatório de passagem.

A tab.3.9, apresenta as principais características construtivas dos reservatórios do sistema, fruto dos levantamentos “in loco” durante as primeira e segunda campanhas de campo. De acordo com essa tabela, os reservatórios do sistema, excetuando-se a chaminé de equilíbrio do Booster entre Batalha e Major Isidoro, que hoje funciona como reservatório, apresentam altura variando entre 3,00m e 5,00m.

Tabela 3.8 – Relação dos principais reservatórios e do booster da rede e suas características

ITEM	LOCALIDADE	TIPO DO RESERVATÓRIO	DIMENSÕES (M)					FORMA DE ALIMENTAÇÃO (*)	VOL. REAL (M³)	COTA DO TERRENO (m)	COTA DE FUNDO (M)	COORD.GEOGRÁFICAS (GPS GARMIN ETREX)	
			L	C	H	H1	Φ					LATITUDE(S)	LONGITUDE(WO)
1	Captação	Tubulão Circular	-	-	-	-	-	-	-	-	8.12	9°44'56,1"	37°27'01,7"
2	Estação Elevatória-1 (Ee1)	Retangular,Apoiado	7.25	18.20	5.00	-	0.00	RECALQUE	745.29	179.00	179.50	9°42'21,8"	37°24'55,5"
3	Pão De Açúcar	Circular, Apoiado	-	-	3.50	-	6.50	GRAVIDADE	100.00	19.00	19.50	09°43'57"	37°26'06"
4	Palestina	Circular Elevado	-	-	3.50	12.30	4.3	GRAVIDADE	50.00	0.00	12.30	09°40'34,0"	37°22'21,6"
5	Estação Elevatória-2 (Ee2)	Retangular,Apoiado	7.25	18.20	5.00	-	0.00	RECALQUE	745.29	236.00	236.50	09°35'14,3"	37°19'53,0"
6	Olho d'Água das Flores	Ret.,Semi-Apoiado	20.00	31.25	4.50	1.50	0.00	RECALQUE	2.500.00	358.00	359.50	09°31'21,6"	37°17'44,0"
7	São José Da Tapera(RVelha)	Circ.,Elevado 2	-	-	6.40	10.00	9.00	GRAVIDADE	200.00	257.00	267.00	9°33'34,7"	37°22'52,9"
8	São José Da Tapera(R.Nova)	Circular, Apoiado	-	-	3.50	-	6.50	GRAVIDADE	100.00	278.00	278.50	9°32'58,6"	37°22'38,2"
9	Cameiros	Circular,Elevado 1	-	-	3.00	8.10	4.60	RECALQUE	50.00	341.00	349.10	9°29'10,4"	37°22'25,5"
10	Senador Rui Palmeira	Ret., Semi-Enterrado	7.50	10.00	3.90	-	-	GRAVIDADE	300.00	258.00	257.50	9°27'57,7"	37°27'13,7"
11	Oliveira	Circular Apoiado	-	-	4.50	-	8.62	GRAVIDADE	350.00	253.00	253.50	9°28'46,3"	37°11'42,7"
12	Santana Do Ipanema	Ret., Semi-Apoiado	9.35	15.00	3.50	0.50	-	GRAVIDADE	850.00	307.00	307.50	9°22'14,7"	37°14'16,1"
13	Poço Das Trincheiras	Circular , Apoiado	-	-	3.50	-	6.50	RECALQUE	100.00	332.00	332.50	9°18'19,5"	37°17'23,7"
14	Maravilha	Circular,Apoiado	-	-	3.50	-	6.50	RECALQUE	100.00	388.00	388.50	9°14'10,6"	37°20'48,4"
15	Ouro Branco	Circular ,Elevado 1	-	-	3.55	10.15	7.70	RECALQUE	150.00	395.00	405.15	9°09'36,4"	37°21'36,6"
16	Areia Branca	Circular,Elevado 1	-	-	3.0	8.1	4.6	RECALQUE	50.0	350.0	358.1	9°23'11,6"	37°05'42,3"
17	Monteirópolis	Circular,Elevado 2	-	-	6.40	10.00	9.00	GRAVIDADE	200.00	240.00	250.00	9°35'31,9"	37°14'27,3"
18	Jacaré Dos Homens	Ret., Semi-Apoiado	30.45	30.00	4.50	0.50	0.00	GRAVIDADE	3.750.00	174.00	174.50	9°37'57,5"	37°12'26,5"
19	Belo Monte	Ret., Semi-Apoiado	18.75	40.00	4.50	0.50	0.00	GRAVIDADE	3.000.00	67.00	67.50	09°48'34"	37°16'49"
20	Batalha	Ret. Semi-Enterrado	31.28	10.05	4.50	0.50	0.00	GRAVIDADE	1.250.00	155.00	154.50	9°40'26,1"	37°07'55,7"
21	BoosterBatalha-M. Isidoro	Stand Pipe	-	-	16.00	0.00	2.00	RECALQUE	50.24	197.00	197.50	9°37'53,9"	7°05'16,8"
22	Jaramataia	Circ.,Semi-Elevado	-	-	3.50	3.00	4.70	RECALQUE	100.00	188.00	191.00	9°39'37,9"	37°00'08,8"
23	Major Isidoro	Ret.,Semi-Apoiado	10.05	18.75	4.50	1.25	0.00	RECALQUE	750.00	213.00	214.25	9°31'56,6"	37°59'22,3"
24	Cacimbinhas	Ret.,Semi-Apoiado	6.75	15.05	4.50	0.50	0.00	RECALQUE	450.00	284.00	284.50	9°23'48,0"	37°59'32,8"

Fonte: Autor

(*) Todos os reservatórios são alimentados por cima.

onde:

- "L" é a largura e "C" o comprimento, para reservatórios de seção retangular;
- "H" é a altura dos reservatórios propriamente dito;
- "H₁" o comprimento dos pilares dos reservatórios semi-elevados ou elevados;
- "Φ" é o diâmetro dos reservatórios circulares.

3.4.5 Nível de água operacional dos principais reservatórios do sistema

O conhecimento de como varia o nível diário dos reservatórios do sistema adutor principal da Bacia Leiteira, na rotina operacional diária, é uma informação muito importante na calibração do modelo hidráulico, tendo sido, nesse estudo, o parâmetro utilizado para esse fim.

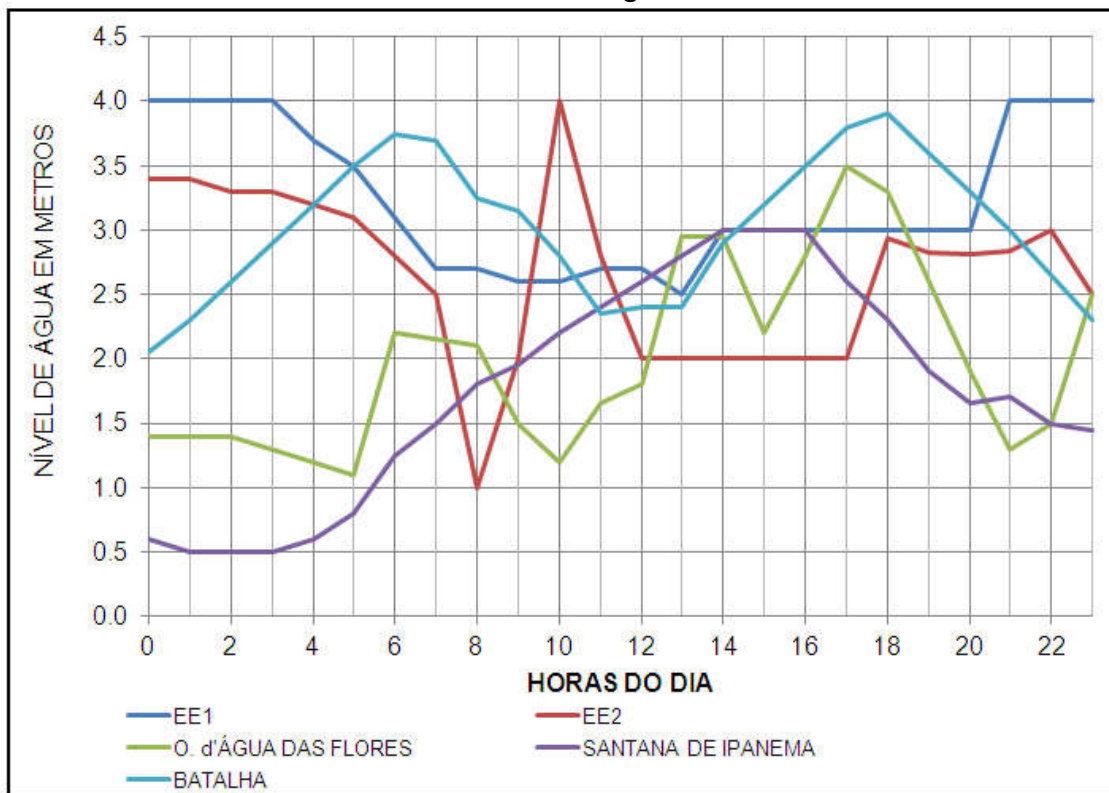
Nesse sentido, a tab.3.9, bem como a fig.3.14, apresentam a variação dos níveis diários de água no dia 05/08/2010 dos cinco principais reservatórios do sistema adutor principal da bacia Leiteira, a saber: EE1, EE2, Olho d'Água das Flores, Santana de Ipanema e Batalha. Deve-se observar que esse padrão nem sempre se repete nos mesmos horários, o que significa que para as simulações, observou-se apenas o número aproximado dos ciclos diários de enchimento/esvaziamento e os limites operacionais máximos e mínimos (estes sim mantendo um padrão).

Tabela 3.9 – Níveis diários de água dos cinco principais reservatórios do Sistema Adutor principal da Bacia Leiteira para o dia 05-08-2010.

NÍVEL HORÁRIO DE ÁGUADO DIA 05-08-2010					
HORA	EE1	EE2	O. d'ÁGUA DAS FLORES	SANTANA DE IPANEMA	BATALHA
0:00	4.00	3.40	1.40	0.6	2.05
1:00	4.00	3.40	1.40	0.5	2.3
2:00	4.00	3.30	1.40	0.5	2.6
3:00	4.00	3.30	1.30	0.5	2.9
4:00	3.70	3.20	1.20	0.6	3.2
5:00	3.50	3.10	1.10	0.8	3.5
6:00	3.10	2.80	2.20	1.25	3.75
7:00	2.70	2.50	2.15	1.5	3.7
8:00	2.70	1.00	2.10	1.8	3.25
9:00	2.60	2.00	1.50	1.95	3.15
10:00	2.60	4.00	1.20	2.2	2.8
11:00	2.70	2.80	1.65	2.4	2.35
12:00	2.70	2.00	1.80	2.6	2.4
13:00	2.50	2.00	2.95	2.8	2.4
14:00	3.00	2.00	2.95	3	2.9
15:00	3.00	2.00	2.20	3	3.2
16:00	3.00	2.00	2.80	3	3.5
17:00	3.00	2.00	3.50	2.6	3.8
18:00	-	2.94	3.30	2.3	3.9
19:00	-	2.83	2.60	1.9	3.6
20:00	-	2.81	1.90	1.65	3.3
21:00	4.00	2.84	1.30	1.7	3
22:00	4.00	3.00	1.50	1.5	2.65
23:00	-	2.50	2.50	1.45	2.3

Fonte: DANTAS (2010)

Figura3.14– Variação dos níveis de água dos cinco principais reservatórios do sistema no dia 05 de agosto de 2010



Fonte: DANTAS (2010)

Da análise dos dados dos níveis horários de água dos reservatórios constantes da fig.3.14, excetuando-se o reservatório de Olho d'Água das Flores, verifica-se que há uma explícita tendência de se manter os reservatórios em seu nível máximo, próximo às 17:00 horas, horário em que as bombas são desligadas em função do horário de ponta, nos cinco dias úteis da semana, permitindo dessa forma, o suprimento da demanda do sistema nas três horas seguintes em que o sistema permanece parado.

O decréscimo do nível de água no reservatório de Olho d'Água das Flores, antes das 17:00 horas se justifica pelo fato do mesmo ser o reservatório pulmão do sistema e responsável pela manutenção dos reservatórios em seus níveis máximos para poder assegurar o abastecimento das comunidades no horário de ponta sem bombeamento.

3.4.6 Características da rede de dutos do sistema

Os parâmetros dimensionais dos dutos estão apresentados nas tab.3.10a3.13, para dutos de PVC DEFoFo e de ferro dúctil respectivamente.

Tabela 3.10 – Dados técnicos dos tubos de PVC/DEFoFo.

DN	BITOLAS		DIMENSÕES		MASSA (kg/m)
	DE (mm)	DI	e (mm)	L (m)	
100	118	108,4	4,8	6,00	2,670
150	170	156,4	6,8	6,00	5,500
200	222	204,2	8,9	6,00	10,966
250	274	252	11	6,00	13,920
300	326	299,8	13,1	6,00	19,855
400	429	394,6	17,2	6,00	
500	532	489,4	21,3	6,00	

Fonte: GOMES, 2004

Tabela 3.11 – Dados técnicos dos tubos de ferro dúctil (FoFo), classe k7

DIMENSÕES	CLASSE K7										
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
L(m)	*	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	7,00
DE	*	170,00	222,00	274,00	326,00	378,00	429,00	480,00	532,00	635,00	738,00
E	*	5,20	5,40	5,50	5,70	5,90	6,30	6,70	7,00	7,70	8,40
DI	*	159,60	211,20	263,00	314,60	366,20	416,40	466,60	518,00	619,60	721,20
MASSA (kg/m)	*	23,30	31,90	40,30	49,80	64,90	77,90	91,80	106,10	137,90	176,50

Fonte: SAINT GOBAIN (2009)

Tabela 3.12 – Dados técnicos dos tubos de ferro dúctil (FoFo), classe k9

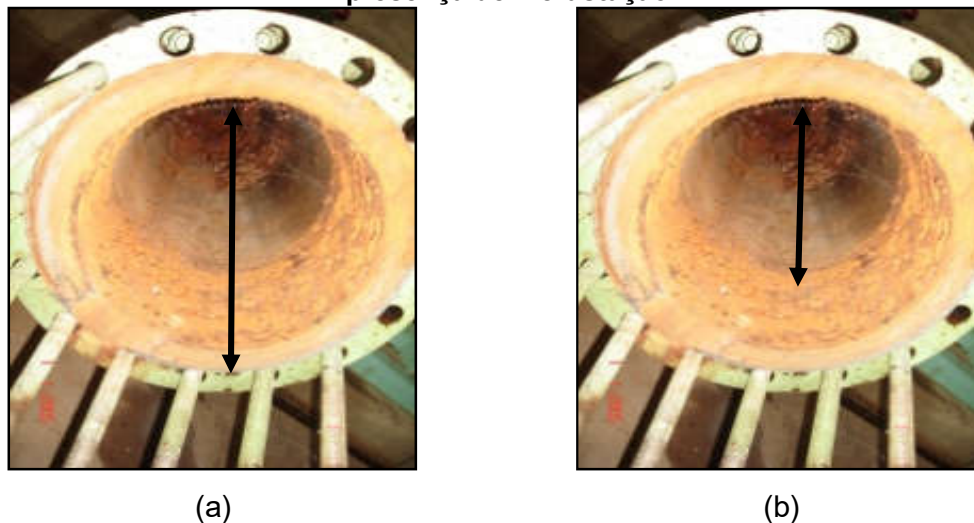
DIMENSÕES	CLASSE K9										
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
L(m)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	7,00
DE	118,00	170,00	222,00	274,00	326,00	378,00	429,00	480,00	532,00	635,00	738,00
E	6,10	6,30	6,40	6,80	7,20	7,70	8,10	8,60	9,00	9,90	10,80
DI	105,80	157,40	209,20	260,40	311,60	326,60	412,80	462,80	514,00	615,20	716,40
MASSA (kg/m)	18,00	27,26	36,70	48,00	60,42	79,74	94,73	111,83	129,32	168,41	215,13

Fonte: SAINT GOBAIN (2009)

Durante as duas primeiras campanhas de campo, toda a rede foi vistoriada e catalogada, estando o resultado expresso na tabela do Apêndice “A”.

Outro aspecto importante a ser considerado é o fato constatado de que a tubulação mais antiga, em ferro dúctil (FoFo), já está apresentando uma acentuada redução da sua seção útil, conforme pode ser visto na fig.3.15, motivo pelo qual, a CASAL, vem substituindo, paulatinamente, esses tubos, no intuito de reduzir a perda de carga e melhorar o atendimento da demanda.

Figura 3.15– Vista da seção interna de uma tubulação antiga retirada da rede: (a) seta indicando o diâmetro original do tubo. (b) seta indicando o diâmetro reduzido pela presença de incrustação.



Fonte: Autor

Obviamente, tamanha redução da seção transversal dos dutos pela presença tão forte dessas incrustações, contribui decisivamente para a redução da vazão disponibilizada, devido ao aumento da perda de carga em função do aumento da rugosidade. Da mesma forma, a falta de conhecimento preciso do estado de cada trecho acrescenta incertezas nos resultados da modelagem. Entretanto, para este trabalho, não foi possível verificar, trecho a trecho, a condição atual do sistema.

A tab.3.13 apresenta um resumo da rede de dutos de todo o sistema em função do que foi levantado em campo e modelado no presente estudo.

ITEM	MATERIAL	DN	COMPRIMENTO (M)
1		100	4.738,00
2		150	58.285,00
3		200	32.551,00
4	FoFo	250	24.648,00
5		350	9.726,00
6		400	55.716,00
7		450	10.264,00
8		700	30.773.59
1	DEFoFo	100	22.739,00
2		150	15.010,00
3		200	11,005,00
TOTAL GERAL			275.455,59

Fonte: DANTAS (2010)

Uma tabela discriminando comprimento, diâmetro e coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams por trecho de rede está disponível no Apêndice “A”. Vale ressaltar que os coeficientes de rugosidade atribuídos a cada trecho, são os valores de norma, função do material, depreciados pela idade de operação do duto, de acordo com a tab. 3.14. Nas simulações realizadas neste estudo, em alguns trechos da tubulação, foram adotados valores um pouco diferentes dos valores da tabela acima, buscando ajustar os valores de vazão calculados pelo EPANET com os valores medidos no campo, e assim, calibrar o modelo, através do ajuste dos ciclos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios. Vale ressaltar, entretanto, que os ajustes de perda de carga na rede foram centrados fundamentalmente nos ajustes das perdas de carga localizadas nas válvulas reguladoras de vazão, muitas delas inexistentes na prática, mas necessariamente inseridas para viabilizar a modelagem e calibração do sistema. Ressalte-se que a rede real encontra-se em alguns trechos, com a sua seção transversal útil e rugosidade bastantes comprometidas pelas incrustações em função do tempo de uso, conforme mostrado na figura 3.16.

Tabela 3.14–Valores do coeficiente C adotados inicialmente na modelagem
VALOR DO COEFICIENTE C DA FÓRMULA DE HAZEN-WILLIAMS

TIPO DO DUTO	VALOR DE "C" (*)	
	TEMPO DE USO ESTIMADO (ANOS)	
	MAIS DE 10 ANOS	MAIS DE 20 ANOS
FERRO FUNDIDO (FoFo)	120	105
PVC (PBA/ DEFoFo)	135	130

Fonte: AZEVEDO NETTO et al. (1988)

O desenho da sistema adutor principal elaborado no simulador hidráulico EPANET pode ser visto no Apêndice “E”;

3.4.7 Definição de cenários e ajustes das regras

Em todo processo de modelagem hidráulica, “Os elementos hidráulicos de um sistema de abastecimento que estão sujeitos a comandos de operação, sejam automáticos ou efetuados por operadores, são as bombas e válvulas. Isso incide diretamente nas pressões, vazões, velocidades e nos níveis dos reservatórios de

distribuição do sistema que compõem o conjunto de variáveis relacionadas às restrições operacionais e são denominadas de variáveis operacionais”.(LACERDA, 2008, p.6).

Nesse sentido o cenário 01 foi escolhido como sendo aquele cuja estratégia operacional foi considerar todas as bombas funcionando sem restrição do horário de ponta do sistema elétrico, buscando atender a demanda. A partir desse cenário, definiu-se 05(cinco) melhorias ao sistema que individualmente garantissem uma redução do custo energético operacional. Assim, estabeleceu-se o cenário 02 a partir da aplicação da melhoria 01 ao cenário 01 e, assim sucessivamente, até o cenário 06, obtido pela aplicação da melhoria 05 ao cenário 05.

Assim, foram definidos 06(seis) **estratégias operacionais**, aqui denominadas de **cenários** que tiveram como premissa básica, buscar soluções, que a partir do cenário 01 e, progressivamente, até o cenário 06, buscaram garantir:

- a) garantia do fornecimento da demanda;
- b) minimização do custo operacional energético, e ;
- c) minimização do custo de manutenção, devido à redução das intervenções de liga-desliga das bombas, com o conseqüente aumento da vida útil dos equipamentos;

Verifica-se que, embora haja uma “regra” de operação assumida pela CASAL, ela não é rígida, existindo uma flexibilidade na operação das bombas em função das demandas de cada cidade.

Na construção das regras de cada cenário foram levados em consideração os seguintes aspectos:

- a) nível inicial dos reservatórios – Segundo Almeida e Barbosa (2000), considerando o estado inicial dos reservatórios de um sistema de abastecimento de água, próximos à sua cota máxima, pode reduzir o custo operacional energético no eixo das bombas em até 36%. Nesse diapasão, optou-se por considerar nesse estudo, os reservatórios sempre cheios, no limite de sua altura máxima de água, isto é, vinte centímetros abaixo da tampa do reservatório, para evitar transbordamentos e inconsistências numéricas quando da operação do simulador hidráulico.

b) custo da energia no horário de ponta do sistema elétrico – Considerando que o custo do kWh no horário de ponta do sistema elétrico nacional vale 10,45 vezes o valor do kWh fora do horário de ponta, resta claro ser praticamente proibitivo a operação de quaisquer sistema de bombeamento nesse período, que no Brasil vai das 17 horas e 30 minutos até às 20 horas e 30 minutos.

c) custo de manutenção – Segundo prática corrente dos técnicos das companhias de saneamento, verifica-se que o custo de manutenção das estações elevatórias é proporcional à frequência com que as bombas ligam e desligam num certo intervalo de tempo, sendo aconselhado períodos de parada das bombas com um tempo mínimo de trinta minutos. Assim, é natural que se busque uma solução que, atendendo à demanda do sistema, apresente o menor número de liga-desliga das bombas.

Nesse viés, os cenários 01 a 03, foram implementados para calibrar o modelo enquanto os cenários 04 a 06 foram implementados para buscar uma otimização local, isto é, a minimização do custo energético operacional no âmbito do tempo máximo de simulação que foi de 240 horas, conforme segue:

- a) **Cenário 01:** Simular a rede para **atender a demanda, utilizando as bombas em regime contínuo (24 horas por dia), sem preocupação com o custo de energia;**
- b) **Cenário 02:** Tendo como base o cenário 01, **desligar as bombas no horário de ponta, desligar também as bombas B1, B4 e B7 entre 21:00 horas e 08:00 horas do dia seguinte, conforme operação real de campo, priorizando a redução do custo energético, mesmo comprometendo o atendimento à demanda;**
- c) **Cenário 03:** Tendo como base o cenário 02, ajustar o modelo para obter-se **uma resposta operacional dos reservatórios próxima à realidade de campo, atendendo à demanda;**

- d) **Cenário 04:** Simular a rede oriunda do cenário 03, **redimensionando os reservatórios e ajustando válvulas para garantir abastecimento da demanda;**
- e) **Cenário 05:** Simular a rede oriunda do cenário 04, **abrindo apenas as válvulas reguladoras de vazão existentes no trecho adutor principal do sistema** (desde a captação até o reservatório de Olho d'Água das Flores);
- f) **Cenário 06:** Simular a rede oriunda do cenário 05, **abrindo todas as demais válvulas reguladoras de vazão (FCV) existentes no sistema**, no intuito de reduzir-se ao máximo as perdas de carga na rede para avaliar o impacto no consumo de energia.

3.4.8 Regras operacionais básicas

É importante, nesse momento, ressaltar que na operação de uma sistema de abastecimento de água, existem regras básicas e gerais que vão permear todas as demais regras operacionais em cada cenário. Nesse intuito, as regras básicas que balizarem as simulações dos seis (seis) cenários desse trabalho são listadas, a seguir:

- a) dos níveis de água operacionais dos reservatórios:
 - o nível máximo abaixo do teto do reservatório necessário para evitar transbordamentos pelo dreno superior (ladrão) foi estabelecido em 0,20m abaixo da tampa do reservatório e, também porque foram detectadas inconsistências numéricas do modelo quando esse valor era exatamente igual à altura do reservatório;
 - o nível mínimo acima do fundo, necessário para evitar o surgimento de vórtices, cavitação ou carreamento do material depositado no fundo do reservatório, foi estabelecido em 0,20m acima do fundo do reservatório.

b) da operação das bombas:

- bomba liga se o nível do reservatório de jusante for menor que o valor ajustado e que o nível de água do reservatório de montante se encontre acima de 0,20 m;
- bomba desliga se o nível de água do reservatório de jusante estiver acima do nível ajustado ou se o nível de água do reservatório de montante for menor que 0,20 m.

c) da operação dos trechos:

- quando da ocorrência de inversão do fluxo em um dado trecho e não sendo possível a instalação de válvulas apropriadas para evitar essa situação (válvulas de retenção), o duto de jusante deve desligar, isto é, fechar.

Essa atuação é necessária porque não é normal a ocorrência de inversão de fluxo, a não ser quando a mesma rede que alimenta o reservatório alimenta também a rede de distribuição, passando a alimentação da rede a ser feita pelo reservatório quando ele está abastecido, conforme Gomes (2007).

d) do tempo de simulação:

- foi adotada uma duração padrão de 240 horas (dez dias) para todas as simulações para transpor o período de instabilidade inicial dos algoritmos do modelo, permitindo a estabilização dos ciclos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios e de liga-desliga das bombas;

Para garantir o atendimento à demanda minimizando o número de operações “liga/desliga” das bombas, era imperativo controlar a vazão em cada trecho da rede. Para atender a esse intento, duas possibilidades se impunham, que eram:

- controlar a vazão através da variação da rugosidade dos tubos. ou;
- controlar a vazão através de válvulas reguladoras de vazão (FCVs).

Vale à pena reiterar que para não fugir da realidade de campo no que diz respeito à rugosidade da tubulação, optou-se por controlar a vazão através de válvulas reguladoras de vazão (FCVs).

3.4.9 Caracterização geral dos cenários

Para a criação dos cenários buscou-se conhecer as regras de operação real do sistema, e as dificuldades operacionais existentes na prática. Assim, na construção das regras buscou-se:

a) priorizar o bombeamento no horário de energia mais barata, isto é, no horário fora da ponta do sistema elétrico, que em Alagoas é de 17:30 horas às 20:30 horas, buscando garantir que os reservatórios estejam cheios no início do horário de ponta, quando as bombas são desligadas;

b) reavaliar o volume dos reservatórios do sistema, no intuito de minimizar o número de horas de funcionamento das bombas, garantindo o atendimento da demanda, bem como, reduzir ao mínimo as ações de liga/desliga das bombas, no intuito de minimizar o desgaste inerente ao processo de partida, minimizando a ocorrência de transientes de sobrepressão, extremamente nefastos à integridade da rede.

Os procedimentos, que por serem comuns a todos cenários, foram, a priori, estabelecidos, foram:

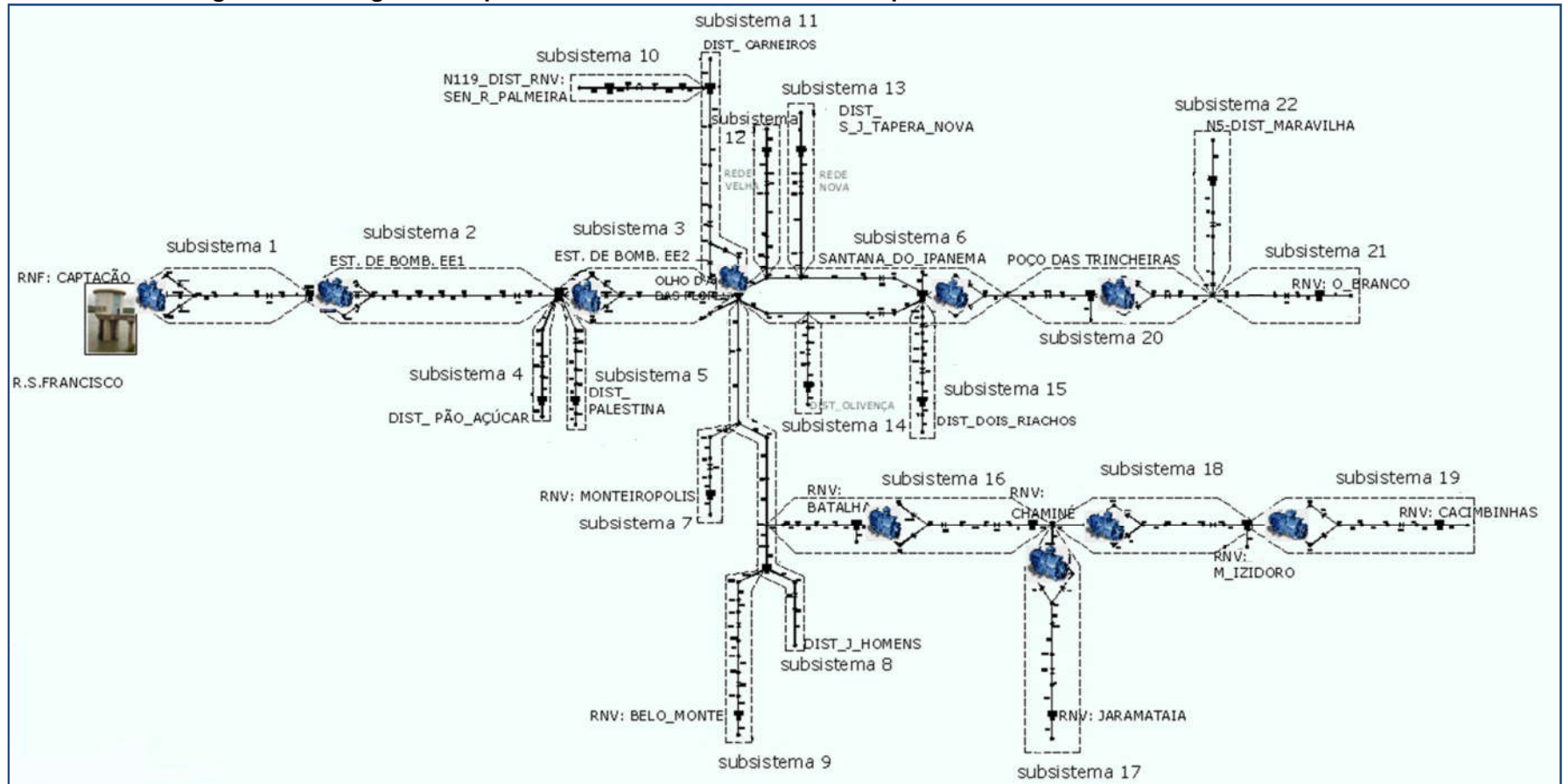
a) o estabelecimento de um conjunto de regras operacionais (controles programados), no âmbito do simulador hidráulico EPANET, atendendo às premissas estabelecidas para os cenários em foco, conforme constante do Apêndice “C”;

b) divisão da rede em 22 (vinte e dois) subsistemas menores e independentes, conforme fig. 3.16:

- **Subsistema 1** - Captação, estação elevatória da Captação e rede até a entrada do reservatório EE1;
- **Subsistema 2** - Reservatório da EE1, estação elevatória EE1 e rede até a entrada do reservatório EE2;
- **Subsistema 3** - Reservatório da EE2, estação elevatória EE2 e rede até a entrada do reservatório de Olho d'Água das Flores;
- **Subsistema 4** - Rede saindo do reservatório de EE2 até a distribuição de Pão de Açúcar;
- **Subsistema 5** - Rede saindo do reservatório de EE2 até a distribuição de Palestina;
- **Subsistema 6** - Reservatório de Olho d'Água das Flores, redes em paralelo até o nó "N17" após o reservatório de Santana do Ipanema;
- **Subsistema 7** - Rede a partir do nó "N44_DERIV_MONTEIRÓPOLIS", até a distribuição de Monteirópolis;
- **Subsistema 8** - Rede saindo do reservatório de Olho d'Água das Flores até a distribuição de Jacaré dos Homens;
- **Subsistema 9** - Rede saindo do reservatório de Jacaré dos Homens até a distribuição de Belo Monte;
- **Subsistema 10** - Rede saindo do reservatório de Carneiros até a distribuição de Senador Rui Palmeira;
- **Subsistema 11** – Rede saindo do reservatório de Olho d'Água das Flores até a distribuição de Carneiros;
- **Subsistema 12** - Rede saindo do nó "N38" até a distribuição de São José da Tapera-**rede velha**;
- **Subsistema 13** - Rede saindo do nó "N38A" até a distribuição de São José da Tapera-**rede nova**;
- **Subsistema 14** - Rede saindo do nó "N36_DERIV_OLIVENÇA" até a distribuição de Olivença;
- **Subsistema 15** - Rede saindo do reservatório de Santana do Ipanema até a distribuição de Dois Riachos;
- **Subsistema 16** - Rede saindo do nó "N46A" até o nó "N53";

- **Subsistema 17** - Rede saindo do nó “N53” até a distribuição e Jaramataia;
 - **Subsistema 18** - Rede saindo do nó “N53” até e inclusive o reservatório de Major Isidoro;
 - **Subsistema 19** - Rede saindo do reservatório de Major Isidoro até a distribuição de Cacimbinhas;
 - **Subsistema 20** - Rede saindo do nó “N17” após a estação elevatória em Santana de Ipanema até o nó “N9_DERIV_MARAVILHA”;
 - **Subsistema 21** - Rede saindo do nó “N9_DERIV_MARAVILHA” até a distribuição de Maravilha;
 - **Subsistema 22** - Rede saindo do nó “N9_DERIV_MARAVILHA” até a distribuição de Ouro Branco.
- c) garantir, primordialmente, a demanda;
- d) remanejamento das derivações das cidades de Pão de Açúcar e Palestina para o reservatório EE2, como um artifício para evitar inconsistências numéricas, preliminarmente, observadas no comportamento do modelo;
- e) os controles programados para cada cenário podem ser encontrados no Apêndice “C”.

Figura3.16 - Diagrama esquemático do Sistema Adutor Principal da Bacia Leiteira e seus subsistemas



Fonte: Autor

Pelo fato do sistema, na prática, ser carente de válvulas de controle, foi necessária, a inserção de válvulas de controle de fluxo (FCV's), na tentativa de, através do ajuste das mesmas, obter-se a calibração do modelo, obtendo-se uma similitude entre os ciclos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios do modelo com os respectivos ciclos dos reservatórios do sistema real. Assim, após a inserção das válvulas, foram feitos os respectivos ajustes de seus parâmetros. Os valores ajustados, por cenário, constam do apêndice "D".

Verificou-se que o tempo despendido para o ajuste dos parâmetros hidráulicos quando da calibração do modelo (cenário 03), teve uma redução importante quando se optou por dividir o sistema global em subsistemas independentes, implementando-se os referidos ajustes a cada subsistema individualmente, a partir do subsistema 22 até o subsistema 01, isto é, do final da rede para o início da rede (captação) conforme 3.4.9 (c) e fig. 3.17.

Quanto ao grau de automação pode-se dizer que existe em pequena escala, consistindo basicamente do comando de liga-desliga de bombas utilizando-se relés de nível e, apenas nas seguintes localidades:

- a) no recalque para a cidade de Carneiros, na estação elevatória da Serra do Parugé, em Olho D'água das Flores e;
- b) no recalque para Maravilha e Ouro Branco, a partir da estação elevatória de Poço das Trincheiras.

O controle operacional do bombeamento, quer manual quanto automático, funciona parando o bombeamento quando o reservatório de montante atinge o seu nível mínimo ou quando o reservatório de jusante que está sendo abastecido atinge seu nível máximo e ligando o bombeamento quando o nível reservatório de montante está com seu nível de água acima do nível programado e o reservatório de jusante fica abaixo do nível estabelecido nas regras.

Nesse contexto, foram simulados seis cenários, sendo cada cenário, a partir do cenário 02, definido como igual ao cenário anterior, acrescido de melhorias operacionais com a finalidade precípua de atender a demanda, com o menor custo operacional.

Vale ressaltar o esforço despendido para acompanhar, durante o período da modelagem e calibração do modelo, as alterações físicas implementadas pela CASAL no sistema, a exemplo das situações listadas a seguir:

- a) na inclusão do reservatório de Pão de Açúcar;
- b) na retirada do reservatório de Palestina;
- c) na inclusão do reservatório tipo chaminé, no booster da rede entre Batalha e Major Isidoro e;
- d) Na desativação do reservatório de Dois Riachos e posterior inclusão do reservatório do Povoado de Areia Branca para alimentar por gravidade a cidade de Dois Riachos.

3.4.10 Características do hardware utilizado nas simulações

O computador utilizado nesse trabalho tinha as seguintes características:

- a) Sistema Operacional: Microsoft Windows XP Professional, versão 2002, Serv Pack 2;
- b) Processador: AMD Phenom(tm) 9600B, Quad-Core Processor, 2.29 Ghz, 1.75 GB de RAM.

3.4.11 Parâmetros de calibração do modelo

A calibração do modelo foi feita com base nos ciclos diários de sucessivos enchementos e esvaziamentos dos reservatórios, bem como pelas alturas de água máxima e mínima estabelecidas para cada um deles.

Não se fez constar as linhas referenciais dos níveis máximo e mínimo de água nos gráficos de variação de nível de água dos reservatórios porque, excetuando-se os reservatórios superdimensionados, esses níveis são evidenciados pelas alturas mínimas e máximas dos sucessivos ciclos diários de enchimento e esvaziamento. No caso dos reservatórios superdimensionados, esses níveis foram estabelecidos por critérios definidos nas regras operacionais, quando da calibração do modelo, com vistas a obterem-se, na operação, valores próximos à realidade de campo, conforme 3.4.8.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Simulação do cenário 01

Esse cenário foi o menos restritivo de todos e consistiu em simular o sistema, permitindo o funcionamento das bombas, sem parar no horário de ponta, com o objetivo maior de garantir a demanda.

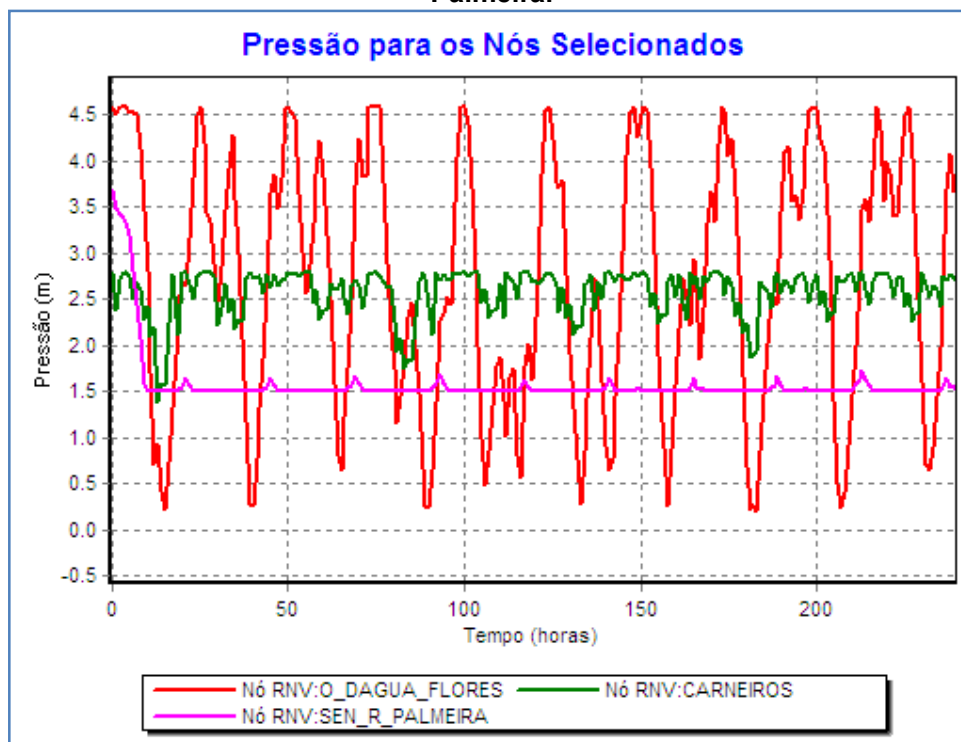
Serão analisadas as principais estações elevatórias e os respectivos reservatórios intervenientes, tendo como estratégia de análise dos resultados a apreciação do comportamento dos reservatórios (frequência horária de ciclos de enchimento/esvaziamento) dos subsistemas mais extremos, a exemplo das cidades de Carneiros, Senador Rui Palmeira, Poço das Trincheiras, Ouro Branco e Maravilha, partindo da premissa de que se esses reservatórios forem abastecidos de forma adequada, isto é, atendendo a demanda, os demais reservatórios dos subsistemas de montante, certamente, também estarão abastecidos.

Ressalte-se também que, por questões práticas, outra estratégia de análise dos resultados adotada foi associar sempre os gráficos de um reservatório com a estrutura hidráulica de montante, responsável por sua alimentação, seja ela uma estação elevatória, no caso de adução por recalque, ou de outro reservatório, no caso de adução por gravidade, permitindo assim visualizar rapidamente, para um dado instante, o que acontece com o nível do reservatório que está sendo abastecido em função do comportamento hidráulico da(s) bomba(s) ou do reservatório de montante.

Da análise da fig. 4.1, obteve-se os seguintes resultados:

- a) O reservatório de Olho d' Água das Flores, é o reservatório pulmão do sistema e fica situado na serra do Parujé, em Olho d'Água das Flores. Ele se mantém abastecido, apresentando um ciclo de “esvaziamento e enchimento” dentro do padrão esperado, variando seu nível entre um nível mínimo de 0,20m e o nível máximo de 4,60m no período de 24 horas.

Figura 4.1 – Operação dos RNV's de Olho d'Água das Flores, carneiros e senador Rui Palmeira.



Fonte: Autor

Onde:

Pressão(m) = pressão no interior do reservatório em mca (metros de coluna de água). É o padrão do EPANET.

b) O reservatório de Senador Rui Palmeira não consegue encher, mantendo um nível praticamente constante em torno de 1,5 metros, consequência de seu grande volume, o que indica que sua dimensão é exagerada para a demanda da cidade de Senador Rui Palmeira;

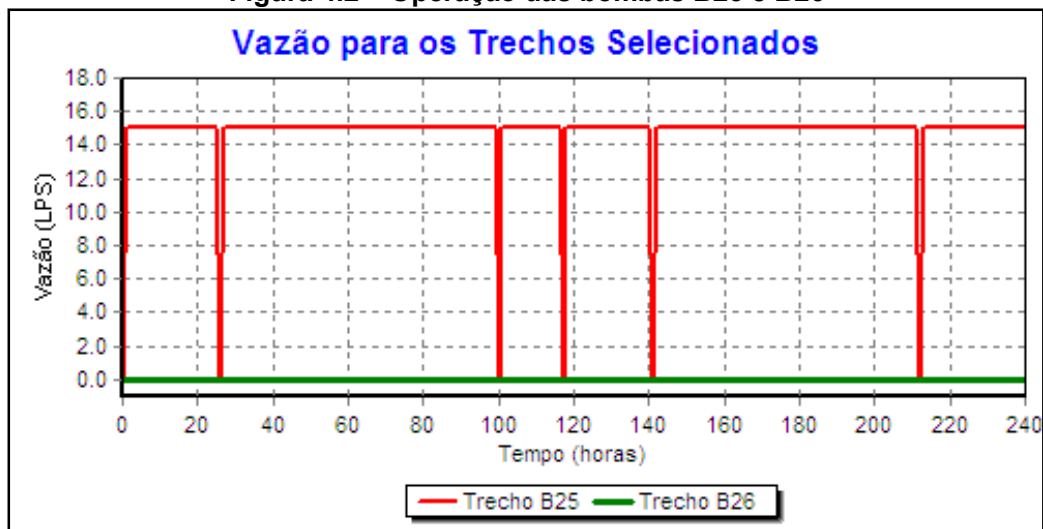
c) O reservatório de carneiros mantém-se praticamente cheio, com seu nível máximo de 2,8m e média em torno de 2,5m.

Quanto ao funcionamento das bombas B25 e B26, na fig. 4.2 verifica-se que a bomba B26 permanece parada, enquanto que a bomba B25 funciona 24 horas por dia, de forma ininterrupta.

Verifica-se nesse gráfico que a bomba B25 parece desligar e religar imediatamente em 05 momentos entre 20 e 220 horas de operação simulada. Sabe-se que pelas regras gerais previstas nesse cenário, as bombas B25 e B26 que bombeiam a partir do reservatório de Olho d'Água das Flores para o reservatório de Carneiros, só devem desligar quando o reservatório de Olho d'Água das Flores baixar seu nível de 0,2 m ou quando o reservatório de Carneiros baixar seu nível de 1,0 m.

Como nenhum desses eventos aconteceu nesse caso, pois o reservatório de Carneiros mantém um nível médio confortável em torno de 2,5 m enquanto o reservatório de Olho d'Água das Flores está sempre enchendo e esvaziando dentro da normalidade, apresentando seu nível mínimo em instantes diferentes das paralisações de B26, a explicação para esse fato está na ausência de um ajuste fino dos parâmetros das válvulas para eliminar essas ações, uma vez que o tempo de simulação efetivo é diferente daquele que se apresenta nos relatórios de simulação, motivo pelo qual não foram levadas em consideração.

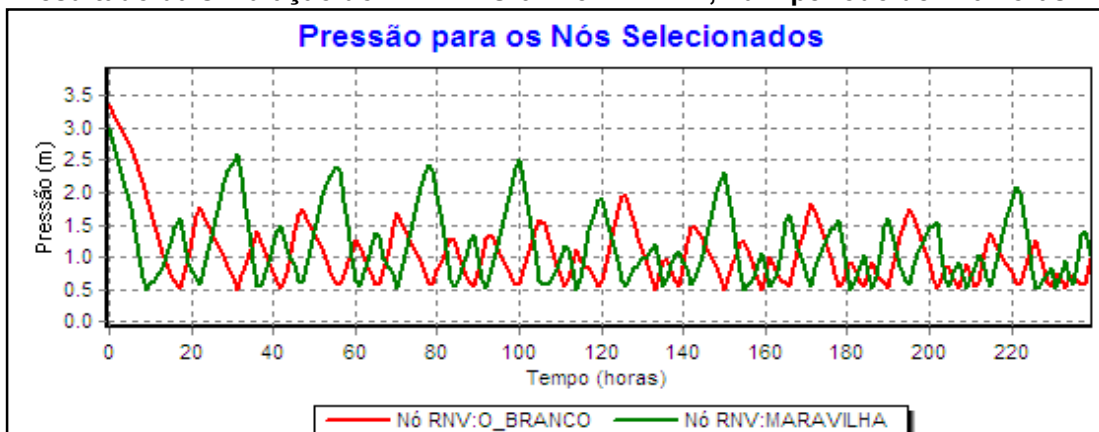
Figura 4.2 – Operação das bombas B25 e B26



Fonte: Autor

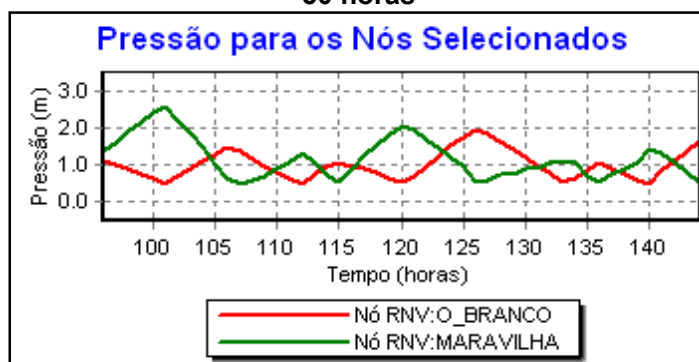
Da análise das fig. 4.3 a 4.6 conclui-se que:

Figura 4.3 – Nível horário de água nos reservatórios de Ouro Branco e Maravilha, resultado da simulação do CENÁRIO 01 no EPANET, num período de 240 horas



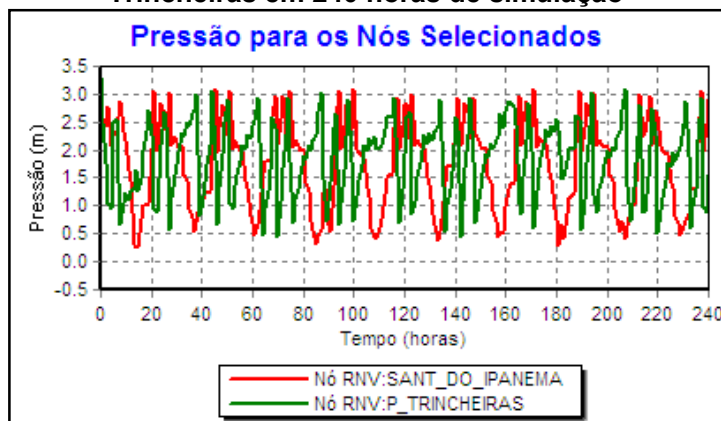
Fonte: Autor

Figura 4.4 – Operação dos reservatórios de Ouro Branco e Maravilha, num período de 50 horas



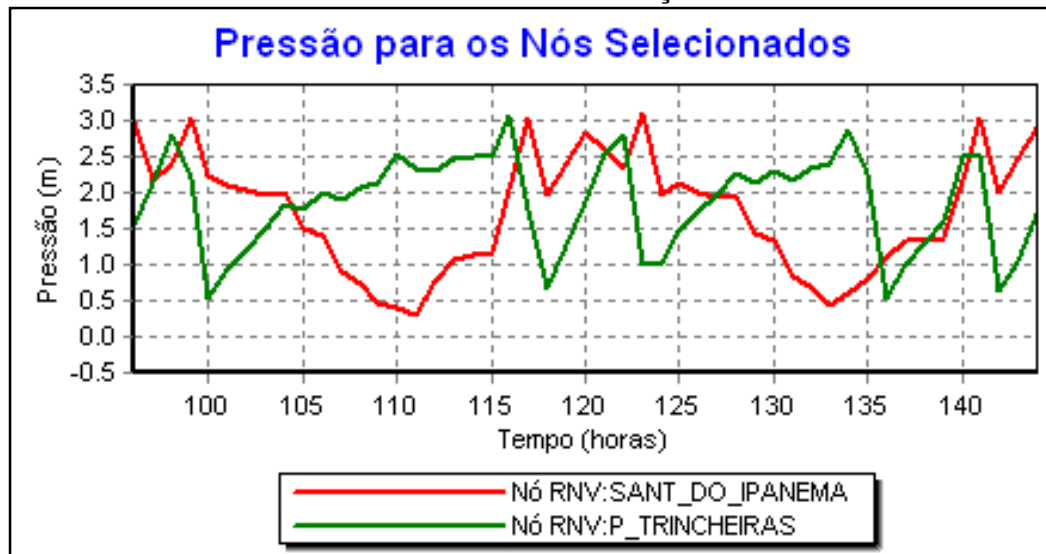
Fonte: Autor

Figura 4.5 – Operação dos reservatórios de Santana de Ipanema e Poço das Trincheiras em 240 horas de simulação



Fonte: Autor

Figura 4.6 – Operação do reservatório de Santana de Ipanema e Poço da Trincheiras em 50 horas de simulação



Fonte: Autor

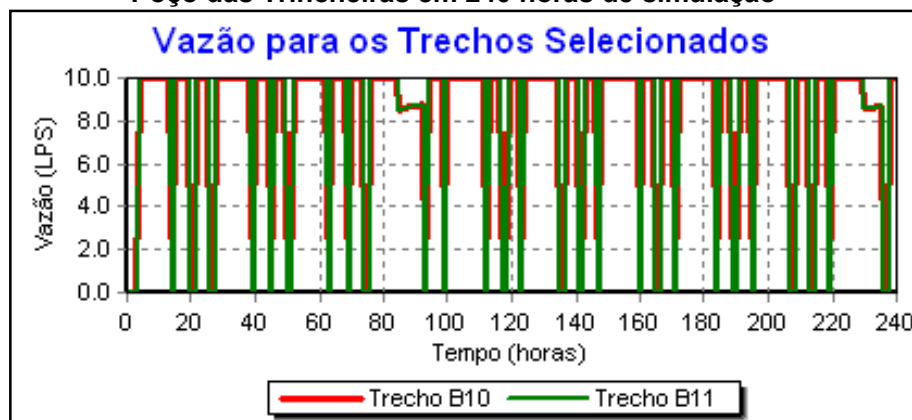
a) Os reservatórios de Ouro Branco e Maravilha nunca enchem, mas estão sempre abastecidos. O reservatório de Maravilha tem seu nível variando entre 0,8m e 2,6m com um tempo de enchimento/esvaziamento em torno de 8 horas, enquanto o reservatório de Ouro Branco tem seu nível variando entre 0,6m e 2,00m e seu ciclo de enchimento/esvaziamento varia de 7 a 12 horas;

b) O reservatório de Santana de Ipanema consegue manter um nível médio de aproximadamente 1,5 m e o reservatório de Poço das Trincheiras mantêm um nível médio de mais ou menos 1,0 m. Verifica-se que ambos os reservatórios mantêm um nível mínimo igual ou superior a 0,5 m.

Quanto à forma de abastecimento(se por recalque ou por gravidade) desses reservatórios, tem-se que o de Santana do Ipanema é abastecido por gravidade a partir de Olho d'Água das Flores, Poço das Trincheiras a partir de Santana de Ipanema através das bombas B10 e B11 e Maravilha e Ouro Branco a partir de Poço das Trincheiras através das bombas B12 e B13.

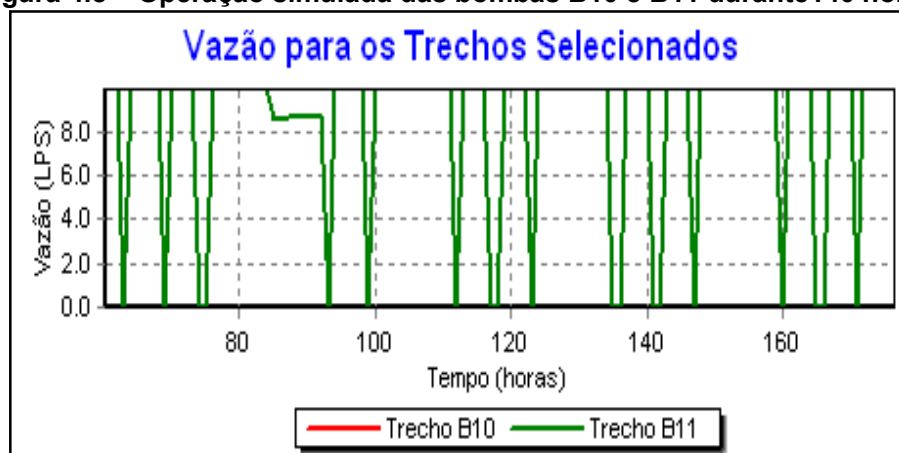
Considerando as fig. 4.7 a 4.10, é possível tirar as seguintes conclusões:

Figura 4.7 – Resultado simulado da operação das bombas B10 e B11 que abastecem Poço das Trincheiras em 240 horas de simulação



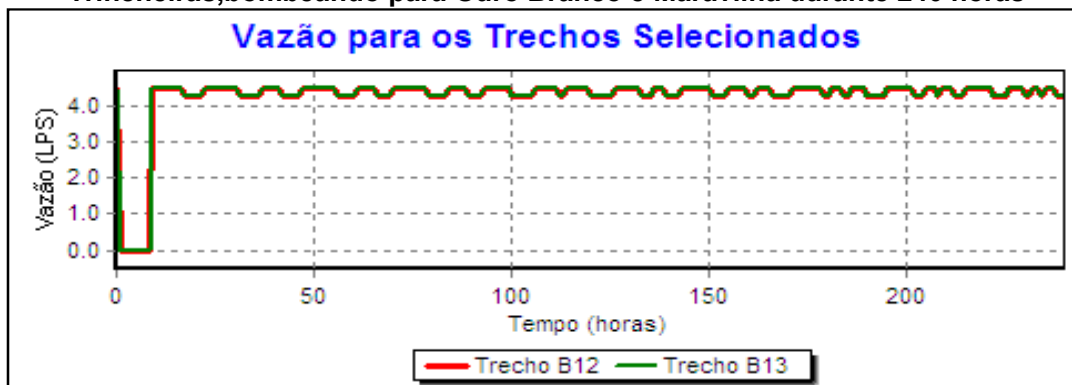
Fonte: Autor

Figura 4.8 – Operação simulada das bombas B10 e B11 durante 140 horas.



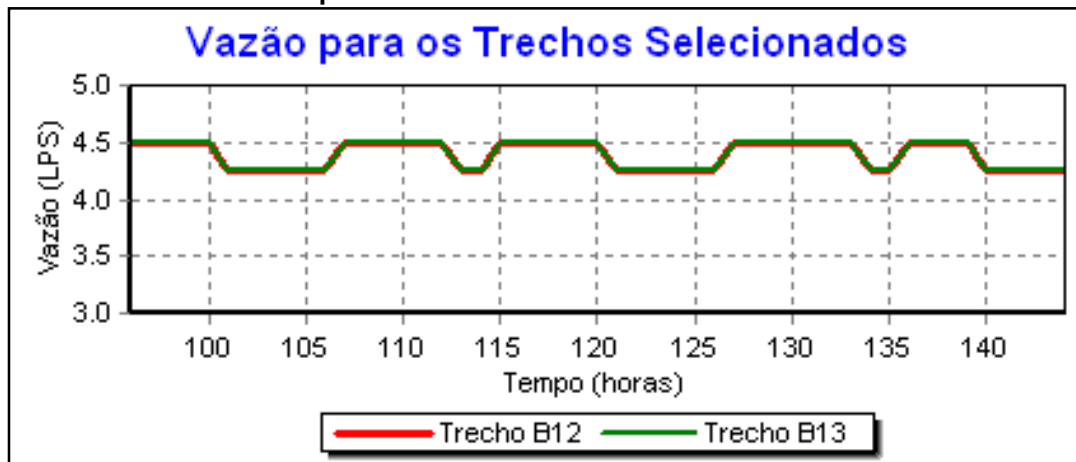
Fonte: Autor

Figura 4.9 – Operação das bombas B12 e B13 da EE de Poço das Trincheiras, bombeando para Ouro Branco e Maravilha durante 240 horas



Fonte: autor

Figura 4.10 – Operação das bombas B12 e B13 da EE de Poço das Trincheiras, bombeando para Ouro Branco e Maravilha durante 50 horas



Fonte: Autor

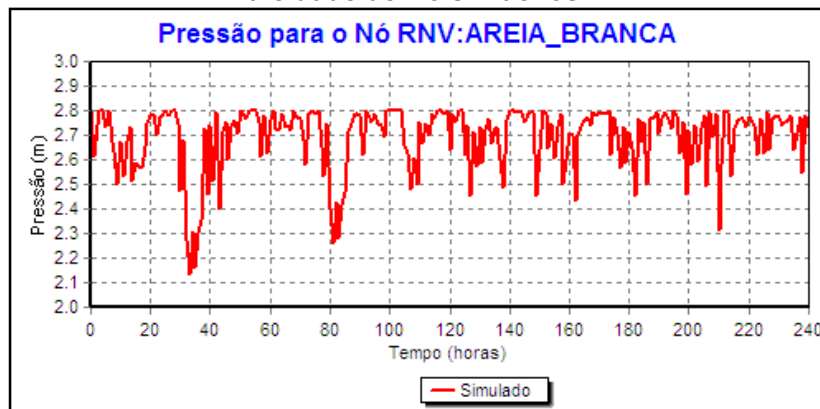
a) As bombas B10 e B11 operam 24 horas, em paralelo. O gráfico da fig. 4.21 e 4.22 mostra que essas bombas funcionam em um ciclo que engloba o funcionamento por 20 horas aproximadamente e param em seguida por três vezes a cada 5 horas. Desta forma, conclui-se que o reservatório de Poço das Trincheiras tem sempre água, nunca baixando de seu nível mínimo de 0,20m.

b) Já as bombas B12 e B13 operam de forma ininterrupta, alimentando ora o reservatório de Maravilha, ora o reservatório de Ouro Branco, conforme os gráficos das fig. 4.23 e 4.24 e conforme programado nas regras do cenário. Daí a pequena oscilação de vazão em função da variação da curva característica do sistema quando da mudança da alimentação de Maravilha (menor carga, maior vazão) para Ouro Branco (maior carga, menor vazão).

Atualmente cidade de Dois Riachos é abastecida pelo reservatório situado no Povoado de Areia Branca, pois o reservatório existente na cidade foi desativado por problemas em sua estrutura de concreto.

A operação desse reservatório está mostrado na fig. 4.11.

Figura 4.11 – Níveis de água no reservatório do povoado de areia branca que abastece a cidade de Dois Riachos

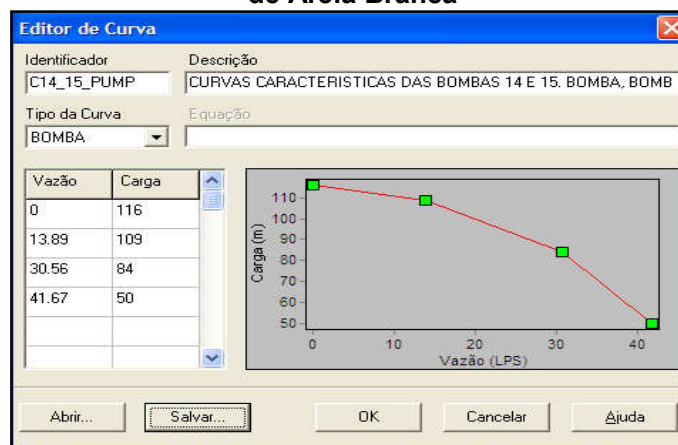


Fonte: Autor

Da análise dessa fig. verifica-se que o reservatório do Povoado Areia Branca permanece sempre cheio com rápidas e frequentes flutuações de baixa amplitude (máxima de 0,70m), em seu nível de água, variando entre o valor máximo de 2,8m e valores superiores a 2,10m.

Esse comportamento deve-se, muito provavelmente, à potência da bomba B14_15 que, está superdimensionada para as necessidades do trecho, pois a carga hidráulica do trecho é um pouco superior a 51,00m, o que corresponde, na curva da bomba, à vazão de, aproximadamente, 41,00 L/s, valor esse, muito superior à demanda da cidade que é de apenas 4,32 L/s, como pode ser visto na fig. 4.12.

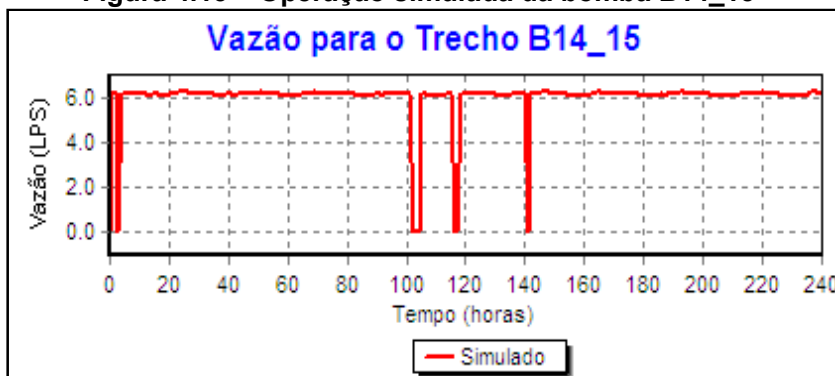
Figura 4.12 – Curva HxQ da bomba B14_15 que abastece o reservatório do povoado de Areia Branca



Fonte: Autor

Tal fato exigiu a instalação de uma válvula controladora de vazão, tipo FCV, à montante do reservatório do povoado de Areia Branca, entre os nós “N1” e “N22A”, conforme consta do mapa da rede, no Apêndice “F”. Quanto ao funcionamento da bomba B14_15, que abastece o reservatório situado no povoado de Areia Branca, responsável pelo abastecimento de Dois Riachos, verifica-se na fig. 4.13 que ela funciona 24 horas por dia, de forma ininterrupta.

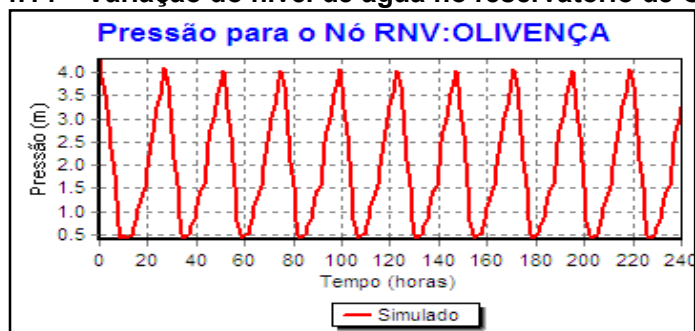
Figura 4.13 – Operação simulada da bomba B14_15



Fonte: Autor

O abastecimento da cidade de Olivença é feito por gravidade a partir de um ponto derivado da adutora velha que abastece a cidade de Santana do Ipanema a partir de Olho d'Água das Flores (NÓ36_DERIV_OLIVENÇA), conforme desenho da rede no apêndice “E”. Verifica-se que o reservatório da cidade, que tem uma capacidade de 300,00 m³, nunca seca, apresentando um nível de água que varia entre seu nível máximo de 4,3 m e o nível mínimo de 0,40m, superior, portanto, ao limite mínimo de água do reservatório, estabelecido no modelo, que é de 0.20m (fig. 4.14).

Figura 4.14 – Variação do nível de água no reservatório de Olivença

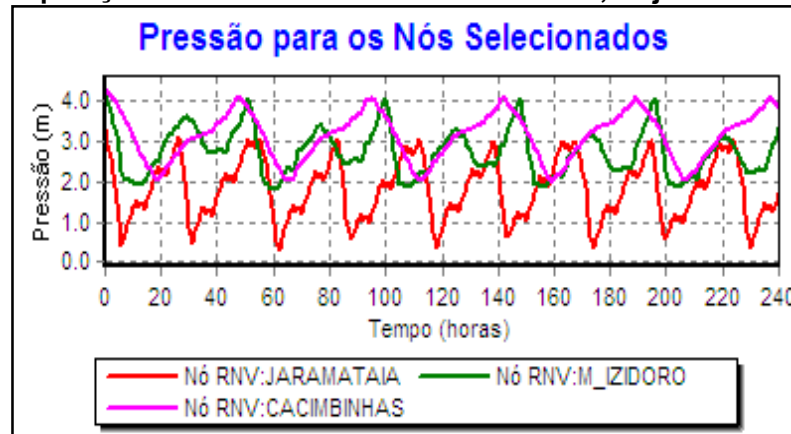


Fonte: Autor

Os níveis de água dos reservatórios de Major Isidoro, Jaramataia e Cacimbinhas são mantidos em um nível confortável, ressaltando-se que o

reservatório de Jaramataia, embora chegue a baixar até a 0,35m, não há falta de água (fig. 4.15).

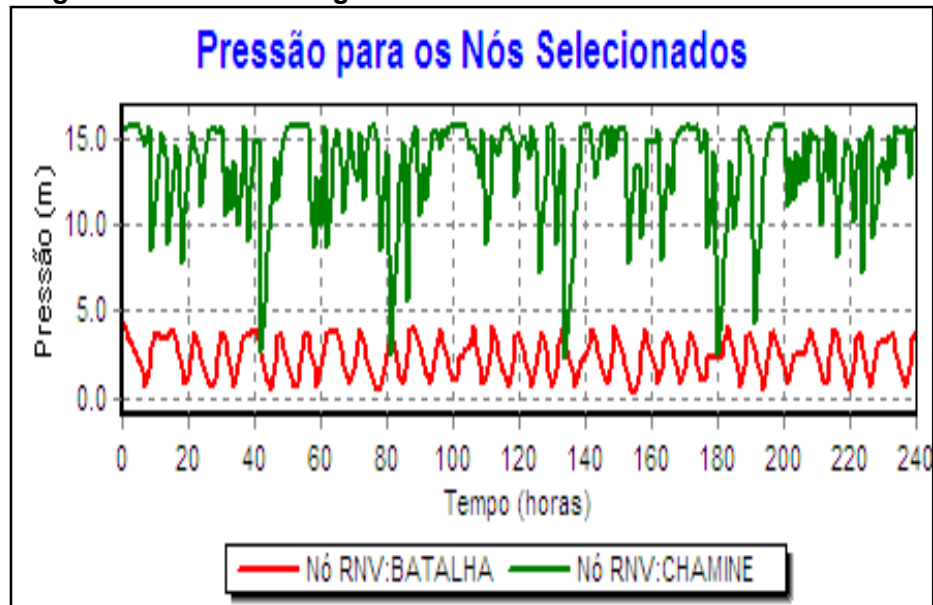
Figura 4.15 – Operação dos reservatórios de cacimbinhas, Major Isidoro e Jaramataia



Fonte: Autor

Já o nível de água nos reservatórios de Batalha e Chaminé (no booster Batalha-Major Isidoro), tem-se que no reservatório Chaminé, o nível de água praticamente oscila em torno de seu nível máximo de 15,80m, com múltiplas e rápidas flutuações, atingindo um nível mínimo de 6,60m, comportamento esse atribuído ao seu pequeno diâmetro e grande altura. Quanto ao reservatório de Batalha tem-se o nível de água variando entre o seu valor máximo de 4,30m e um mínimo de 0,30m (fig. 4.16).

Figura 4.16 – Nível de água nos reservatórios de Batalha e chaminé

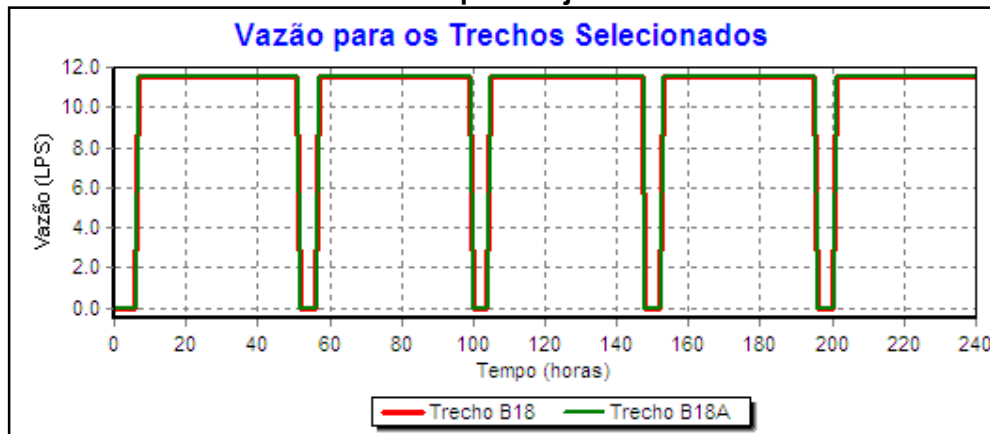


Fonte: Autor

Já as fig. 4.17, 4.18 e 4.19, mostram os gráficos da operação simulada das bombas B18 e B18A, que bombeiam do Booster para Major Isidoro, das bombas B19 e B20, que bombeiam da E.E. de Major Isidoro para Cacimbinhas e das bombas B23 e B24 que bombeiam do Booster para Jaramataia, respectivamente.

Nos gráficos 4.17 e 4.18, verifica-se que, nas duas estações elevatórias, as duas bombas de cada conjunto, operam em paralelo, em regime de 24 horas por dia, só parando quando o reservatório de Major Isidoro está com seu nível de água acima de 2,00m.

Figura 4.17 – Regime simulado da operação das bombas B18 e B18a que bombeiam do Booster para Major Isidoro



Fonte: Autor

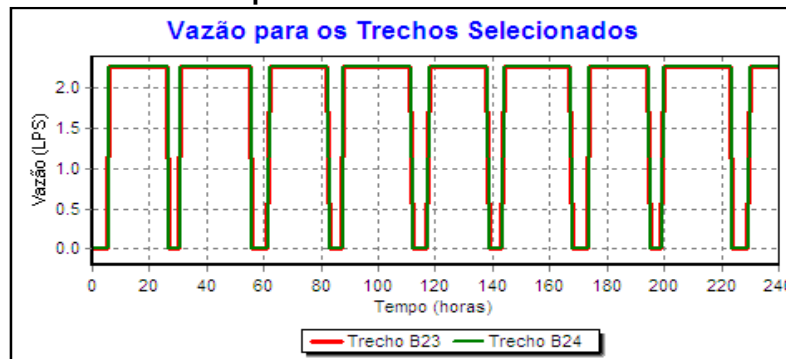
Figura 4.18 – Regime de operação das bombas B19 e B20 que bombeiam de Major Isidoro para Cacimbinhas



Fonte: Autor

No gráfico da fig. 4.19, verifica-se também que as bombas B23 e B24 que bombeiam da estação elevatória do Booster para a cidade de Jaramataia, também funcionam durante 24 horas, só parando quando o reservatório de Jaramataia está cheio, exatamente como acontece no campo.

Figura 4.19 – Regime de operação das bombas B23 e B24 que bombeiam do booster para Jaramataia

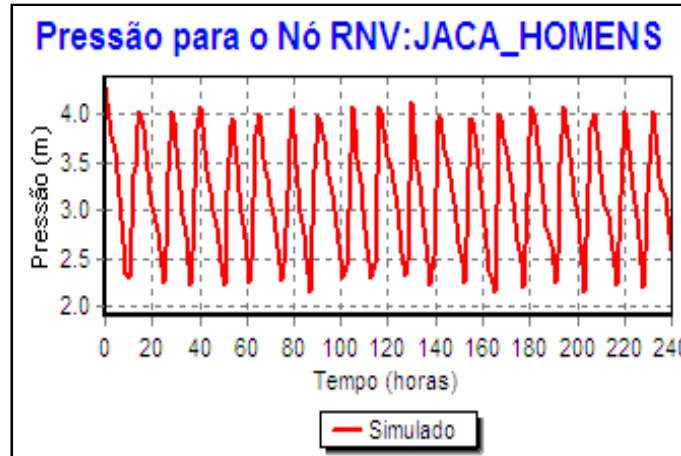


Fonte: Autor

Da análise desses dos gráficos das fig. 4.20 e 4.21 conclui-se que:

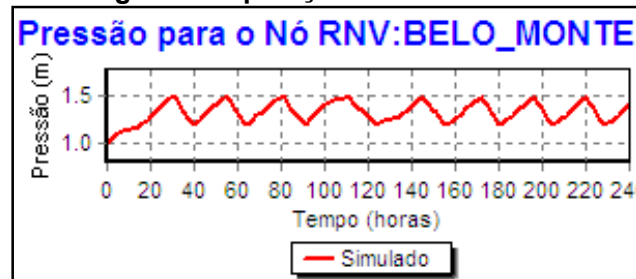
- a) Os reservatórios apresentam um ciclo de operação conforme esperado, enchendo e esvaziando regularmente ;
- b) O reservatório de Jacaré dos Homens enche em aproximadamente 3 horas e esvazia em pouco mais de 10 horas, repetindo o ciclo indefinidamente, mantida as mesmas condições da simulação;
- c) O reservatório de Belo Monte esvazia em, aproximadamente, 18 horas e, enche em um pouco menos de 20 horas, resultado dos parâmetros hidráulicos e das regras adotados na simulação.

Figura 4.20 – Regime de operação do reservatório de Jacaré dos Homens



Fonte: Autor

Figura 4.21 – Regime de operação do reservatório de Belo Monte

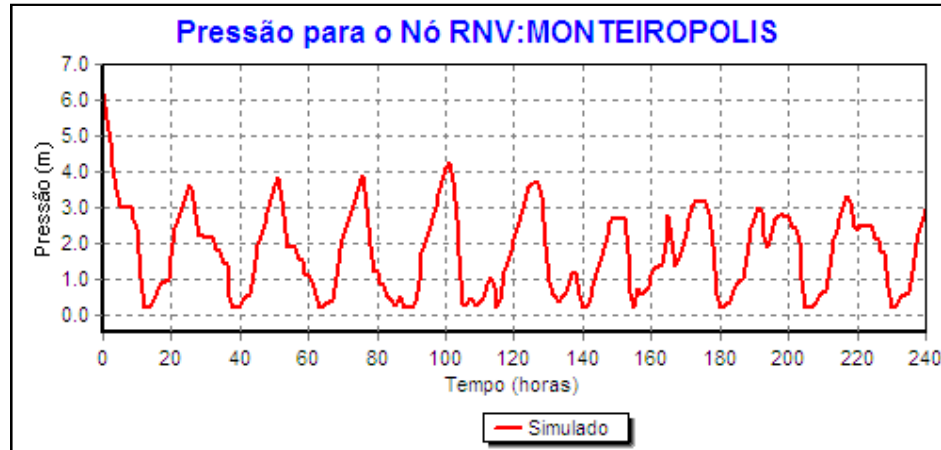


Fonte: Autor

Quanto à operação do reservatório da cidade de Belo monte (fig. 4.22), verifica-se que:

- a) Por ser um reservatório bastante grande, com volume total de 200,00 m³, seu nível de água varia entre o nível mínimo de 0,20m e o nível máximo de 6,20 m, com ciclo completo de esvaziamento e enchimento de aproximadamente 30 horas;
- b) embora não chegue a encher, mas mantém um nível médio de água bastante regular, em torno de 1,80 m, que atende as necessidades da demanda local.

Figura 4.22 – Regime de operação do reservatório de Monteirópolis



Fonte: Autor

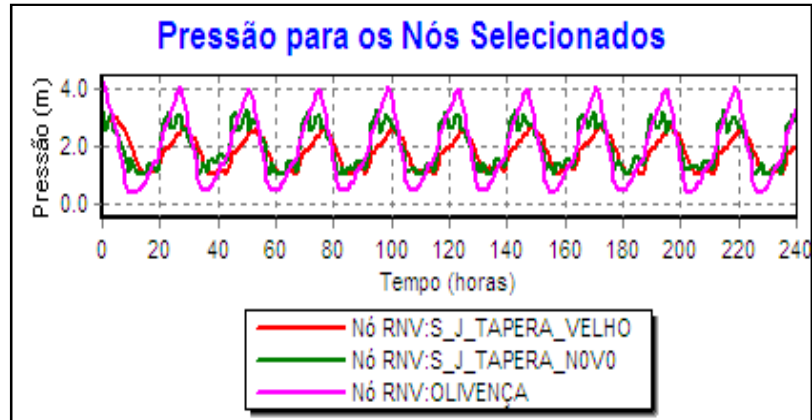
A alimentação de São José da Tapera se dá através de dois reservatórios: o novo e o velho, alimentados por uma rede nova e outra velha, respectivamente.

Os gráficos da fig. 4.23 mostram o comportamento dos reservatórios que abastecem as cidades de Olivença e São José da Tapera (redes velha e nova), todos abastecidos por gravidade, ambos derivando da adutora nova de Olho d' Água das Flores para Santana do Ipanema (nós 38 e 38A respectivamente), conforme desenho da rede no apêndice "E".

Da análise desses gráficos depreende-se que:

- a) O reservatório de Olivença e os dois de São José da Tapera, operam bem e têm seus ciclos de enchimento e esvaziamento, em torno de 20 a 25 horas;
- b) Todos os reservatórios, enchem e esvaziam concomitantemente, sendo, seus ciclos de enchimento/esvaziamento, simultâneos.

Figura 4.23 – Regime de operação dos reservatórios de Olivença e São José da Tapera (rede velha e rede nova)

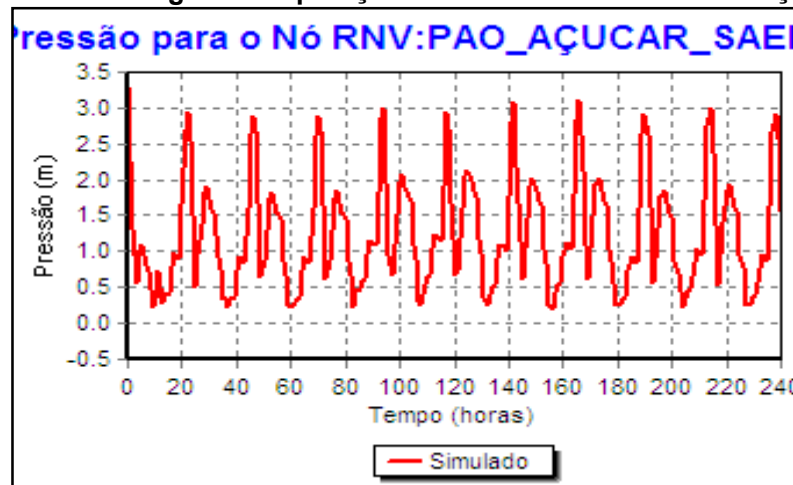


Fonte: Autor

Quanto ao reservatório que abastece a cidade de Pão de Açúcar, verifica-se que, embora, esse reservatório não seja de responsabilidade da CASAL, ele é abastecido pelo Sistema.

Verifica-se na fig. 4.24, que esse reservatório apresenta um ciclo de enchimento/esvaziamento em torno de 12 horas, variando seu nível de água entre 0,20m e 3,3m, aproximadamente.

Figura 4.24 – Regime de operação do reservatório de Pão de Açúcar

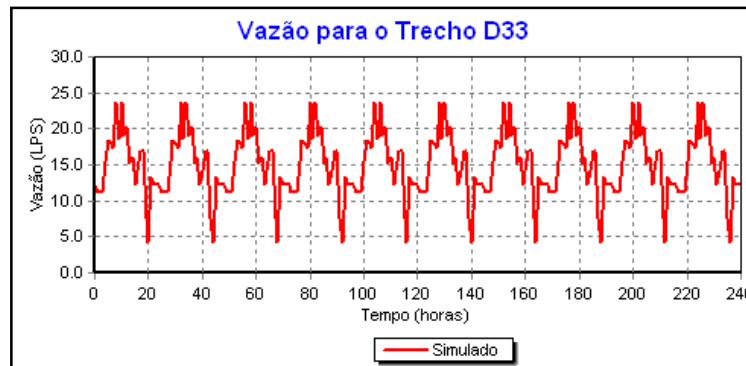


Fonte: Autor

Na modelagem da rede, a cidade de Palestina é alimentada a partir do reservatório EE2 e como na cidade não tem reservatório, representou-se na fig. 4.25, a variação da vazão na rede de alimentação da cidade.

Verifica-se que o abastecimento nas condições simuladas, pelo fato de não haver reservatório, a vazão na rede é regular e obedece ao padrão de consumo adotado para a cidade, variando de 5.0 a 24.0 L/s.

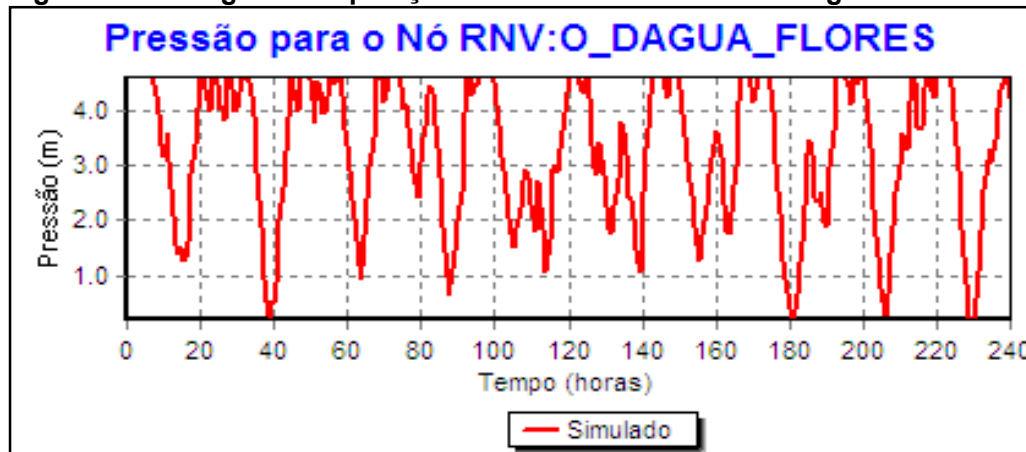
Figura 4.25 – Vazões no trecho alimentador da cidade de Palestina



Fonte: Autor

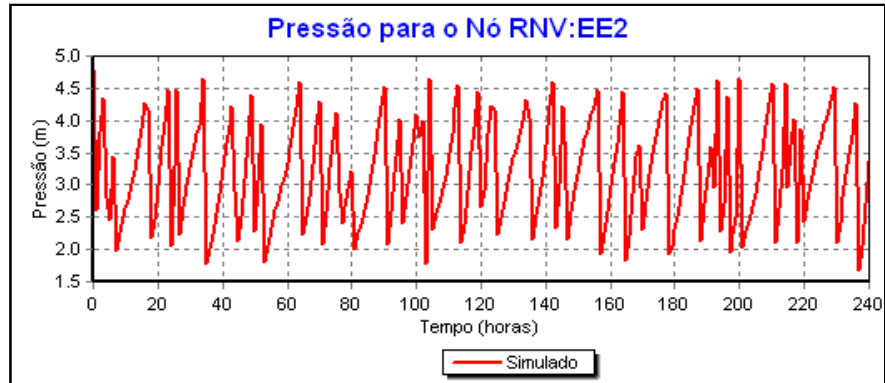
Os reservatórios de Olho d'Água das Flores, de EE1 e EE2, conforme mostrado nas fig. 4.26 a 4.28, estão sendo abastecidos regularmente, apresentando um ciclo operacional (esvazia e enche) em torno de 10 a 12 horas.

Figura 4.26 – Regime de operação do reservatório de Olho d'Água das Flores.



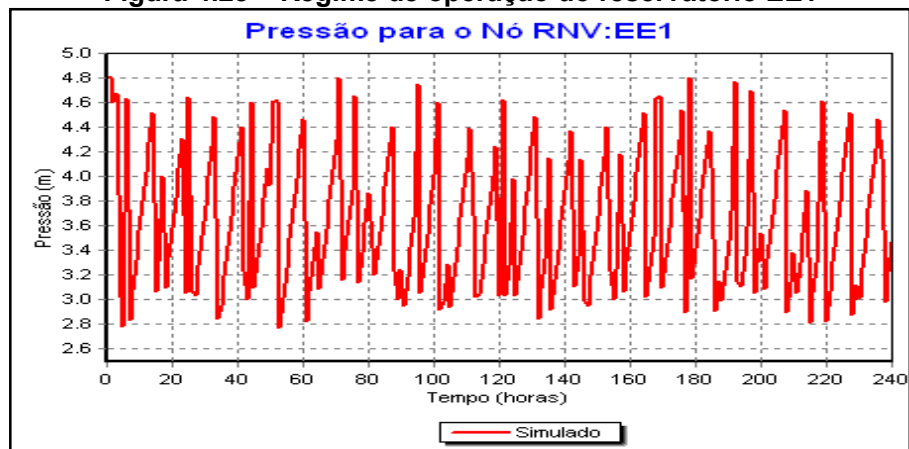
Fonte: Autor

Figura 4.27 – Regime de operação do reservatório EE2



Fonte: Autor

Figura 4.28 – Regime de operação do reservatório EE1



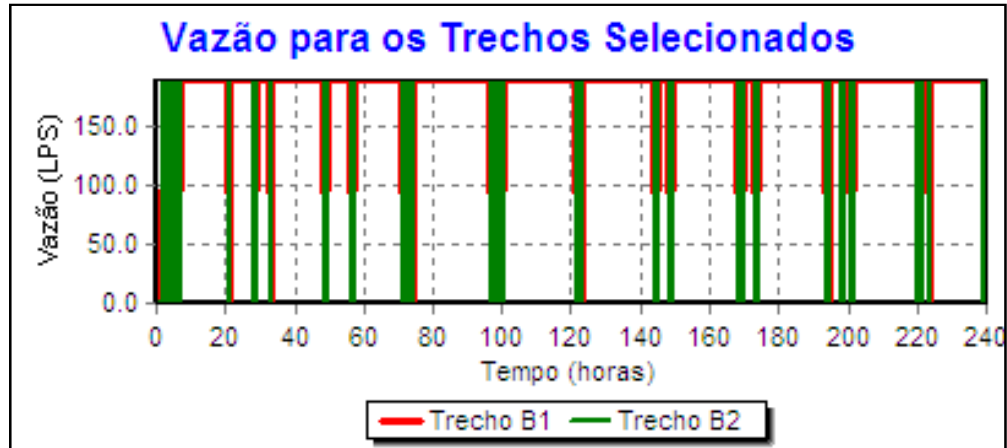
Fonte: Autor

A seguir, as fig. 4.29 a 4.31, mostram a atuação das bombas das estações elevatórias da Captação, EE1 e EE2, responsáveis pela alimentação dos reservatórios EE1, EE2 e Olho d'Água das Flores, respectivamente.

Da análise desses gráficos, conclui-se que nas três estações de recalque analisadas, das três bombas existentes em cada conjunto, só funcionam duas bombas, ficando sempre uma bomba de reserva, como acontece no campo.

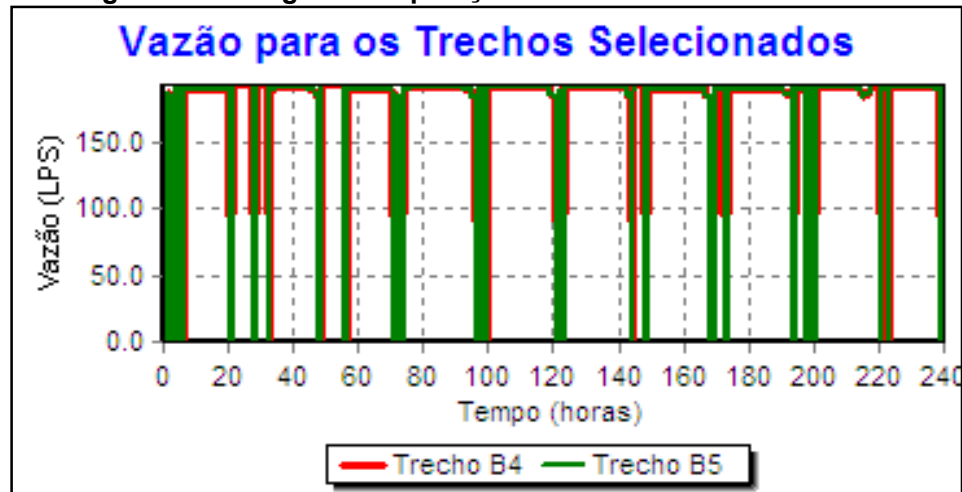
Verifica-se também que as bombas funcionam 24 horas, apresentando todas elas, uma sequência cíclica de liga/desliga, duas a três vezes (de 8 a 12 horas) a cada 24 horas. Isso acontece sempre que os respectivos reservatórios de jusante atingem a cota máxima.

Figura 4.29 – Regime de operação das bombas B1 e B2 na Captação



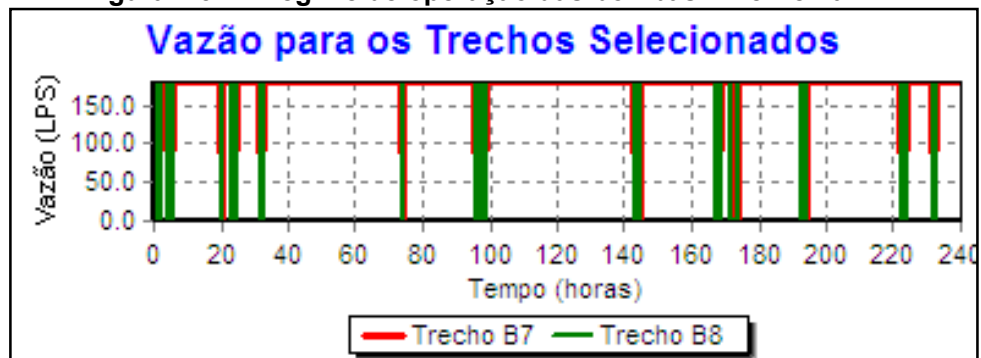
Fonte: Autor

Figura 4.30– Regime de operação das bombas B4 e B5 na EE1



Fonte: Autor

Figura 4.31 – Regime de operação das bombas B7 e B8 na EE2



Fonte: Autor

Da análise do consumo de energia elétrica nesse cenário, verifica-se que as bombas de maior consumo são as bombas B7 e B8, com custo

individual de energia/dia de **R\$ 12.626,67** e que apenas o consumo das bombas B1, B2, B4, B5, B7 e B8 correspondem a **94,49%** do consumo total do sistema conforme tab. 4.1.

Outro aspecto relevante a ser observado na coluna 4 dessa tabela, é o rendimento das bombas. Das 24 bombas, apenas vinte funcionam, sendo que seis (30%) apresentam rendimento muito baixo, inferior a 20%, incluindo aí, as bombas B4, B5, B7 e B8, cujo custo energético corresponde a 84,05% do custo total do sistema. A constatação desse potencial de redução do consumo energético, através da melhoria do rendimento dessas bombas guiou o foco desse trabalho nos cenários subsequentes.

Tabela 4.1 – Relatório do consumo de energia elétrica do Cenário 01.

REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS							
RELATÓRIO DE ENERGIA DO CENÁRIO 01							
OBJETIVO: ATENDIMENTO PLENO DA DEMANDA SEM PREOCUPAÇÃO COM O CUSTO ENERGÉTICO							
Item	Bomba	Percentagem de Utilização(%) (*)	Rendimento médio (**)	kWh/m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo / dia (R\$)
1	B1	88,96	60,88	1,81	752,06	764,58	3.992,62
2	B2	88,96	60,88	1,81	752,06	764,58	3.992,62
3	B3	0	0	0	0	0	0,00
4	B4	90,91	18,82	3,26	2.205,78	2.247,01	11.953,61
5	B5	90,91	18,82	3,26	2.205,78	2.247,01	11.953,61
6	B6	0	0	0	0	0	0,00
7	B7	100	16,14	6,82	2.110,7	2.253,96	12.626,67
8	B8	100	16,14	6,82	2.110,7	2.253,96	12.626,67
9	B9	0	0	0	0	0	0,00
10	B10	82,14	32,38	0,45	14,49	14,71	77,09
11	B11	82,14	32,38	0,45	14,49	14,71	77,09
12	B12	98,13	55	0,88	13,94	14,3	80,24
13	B13	98,13	55	0,88	13,94	14,3	80,23
14	B14_15	99,8	24,03	1,66	16,02	23,62	88,94
15	B17	95,44	62,95	0,82	49,42	74,26	289,93
16	B17A	58,98	60	0,88	40,05	46,78	143,31
17	B18	89,42	60	0,54	22,15	22,21	122,50
18	B18A	89,42	60	0,54	22,15	22,21	122,50
19	B19	61,92	60	0,84	7,57	7,58	35,02
20	B20	61,92	60	0,84	7,57	7,58	35,02
21	B23	80,85	15,18	2,26	18,45	18,56	89,55
22	B24	80,85	15,18	2,26	18,45	18,56	89,55
23	B25	99,39	64	0,51	24,18	27,85	137,61
24	B26	0	0	0	0	0	0,00
Custo Total							58.614,38
Custo Total/Mês							1.758.431,40
Custo Total/Ano							21.101.176,80
Valor da tarifa do kWh (R\$)=					0,110846		
Custo energético das bombas B1 a B9 (R\$)=					57.145,80		
Custo energético das bombas B4 a B9 (R\$)=					49.160,56		

(Consumo de B1 a B9)/(Consumo total) =	97,49 %
(Consumo de B4 a B9)/(Consumo total) =	83,87 %

Fonte: Autor

(*)Porcentagem de utilização: porcentagem de tempo em que a bomba esteve ligada.

(**)Rendimento médio: rendimento médio do conjunto motor-bomba que leva em conta as perdas mecânicas na própria bomba e as perdas elétricas no seu motor.

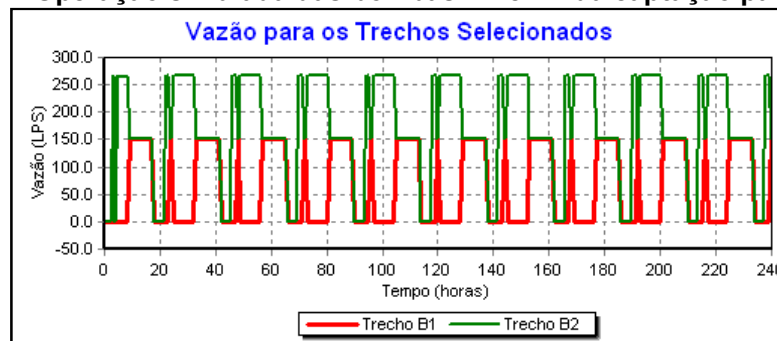
4.2 Simulação do cenário 02

Os ajustes dos parâmetros das válvulas controladoras de vazão desse cenário praticamente se mantiveram iguais aos parâmetros do cenário 01, excetuando-se a válvula VC8 que teve seu parâmetro de controle referente à vazão máxima permitida reduzida para 8 L/s, exatamente a metade do referido valor na cenário 01.

Analisando a operação das bombas, desde a Captação até Olho d'Água das Flores, construiu-se para cada conjunto elevatório, um gráfico para as primeiras 240 horas de operação e um gráfico mais detalhado, entre 95 e 105 horas de funcionamento, onde é observado, com maior precisão, o regime de operação dessas bombas, já fora dos momentos iniciais de aquecimento do modelo.

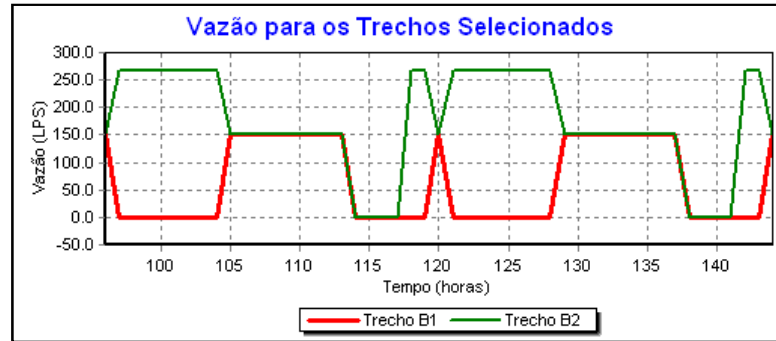
Observa-se em cada conjunto (fig. 4.32 a 4.37), o funcionamento de apenas duas bombas, mantendo um ciclo operacional regular, ora funcionando uma das bombas, ora funcionando as duas bombas em paralelo, sempre em função da vazão demandada pelo reservatório de jusante e regras operacionais.

Figura 4.32 – Operação simulada das bombas B1 e B2 da captação para 240 horas.



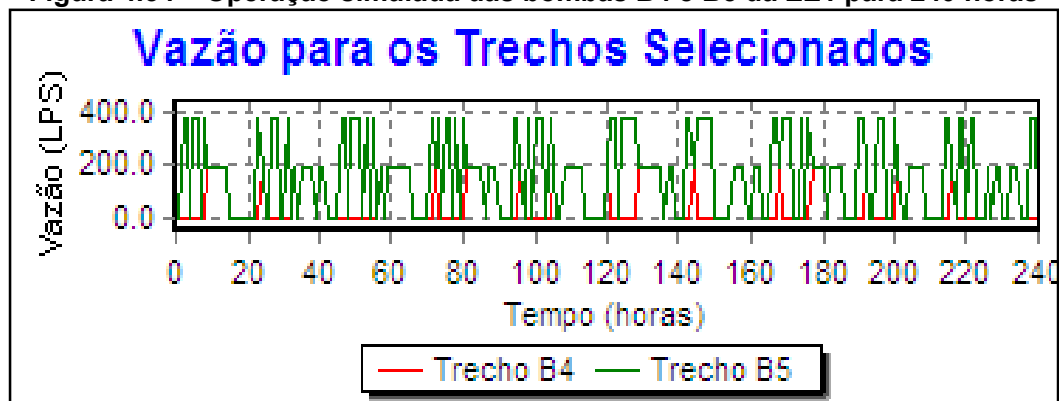
Fonte: Autor

Figura 4.33 – Operação simulada das bombas B1 e B2 da captação para 50 horas



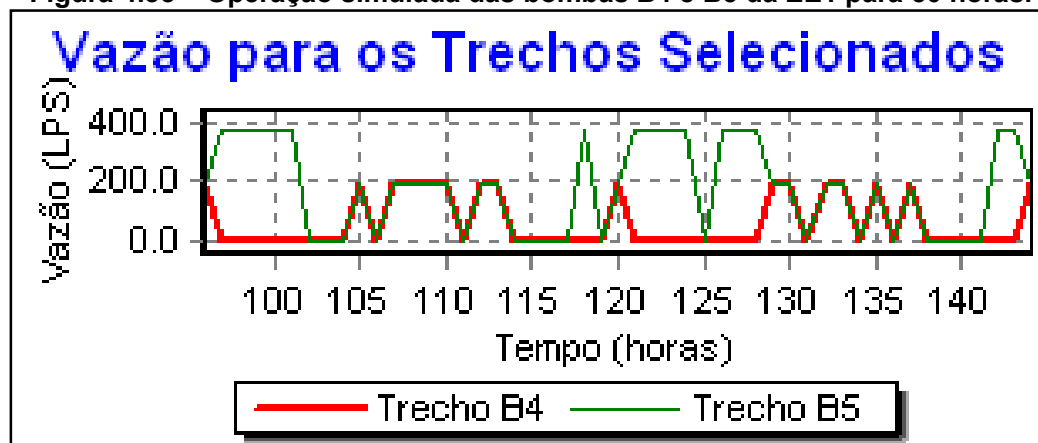
.Fonte: Autor

Figura 4.34 – Operação simulada das bombas B4 e B5 da EE1 para 240 horas



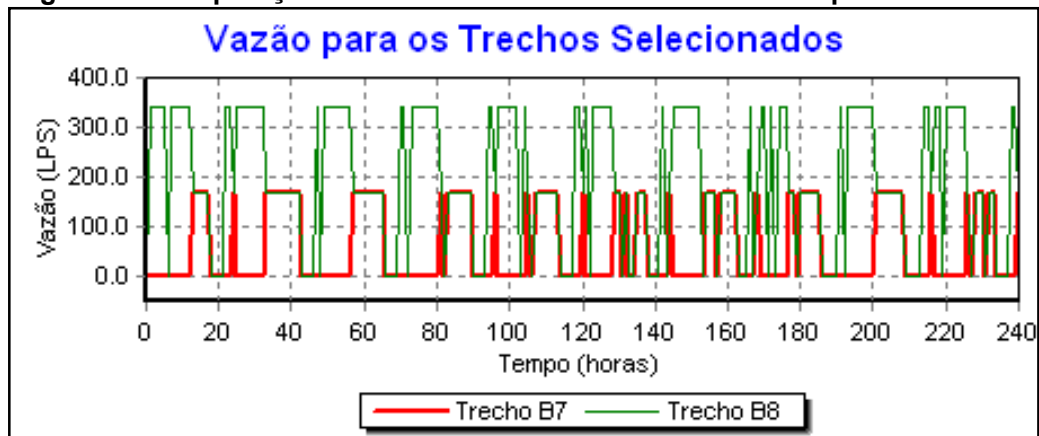
Fonte: Autor

Figura 4.35 – Operação simulada das bombas B4 e B5 da EE1 para 50 horas.



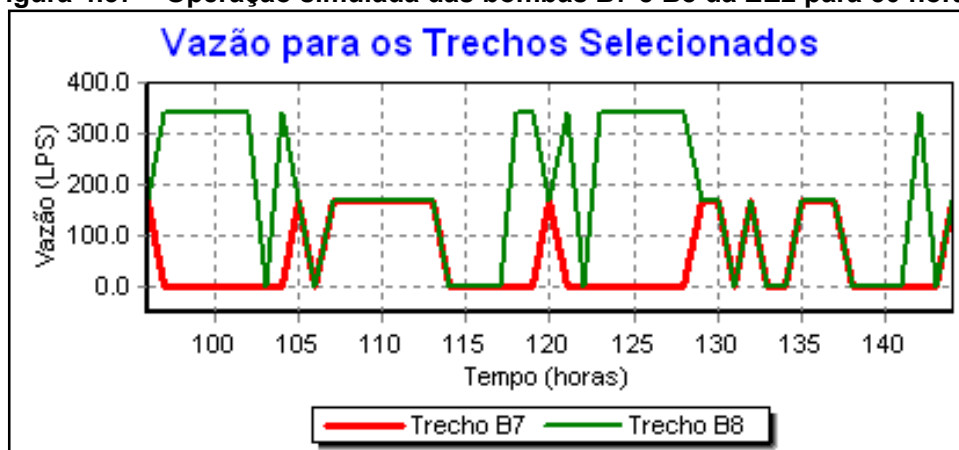
Fonte: Autor

Figura 4.36 – Operação simulada das bombas B7 e B8 da EE2 para 240 horas.



Fonte: Autor

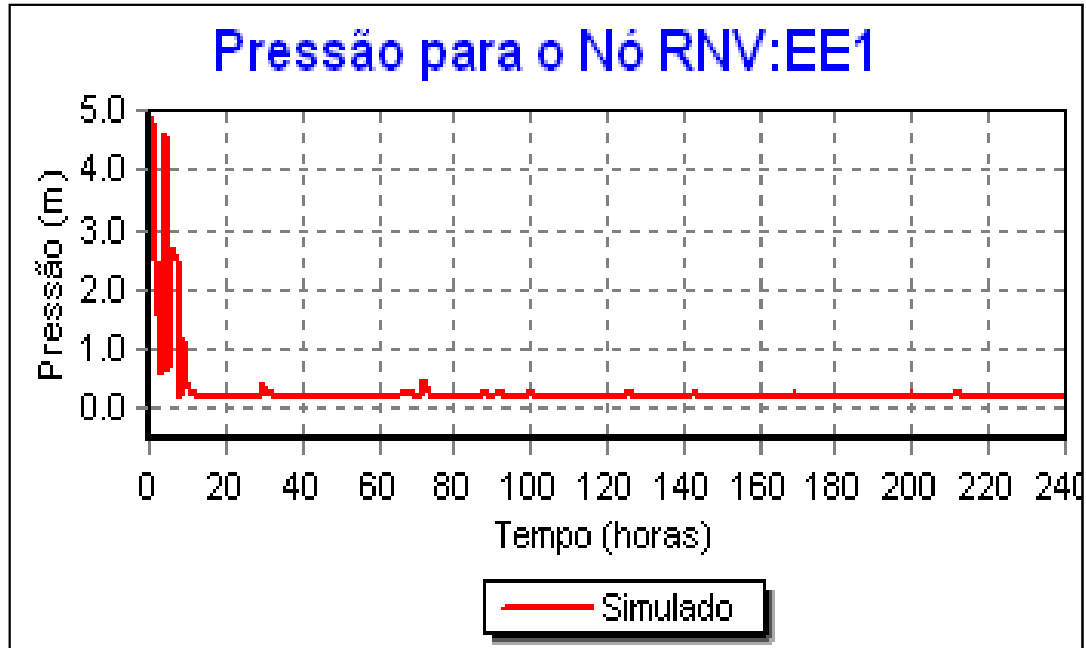
Figura 4.37 – Operação simulada das bombas B7 e B8 da EE2 para 50 horas.



Fonte: Autor

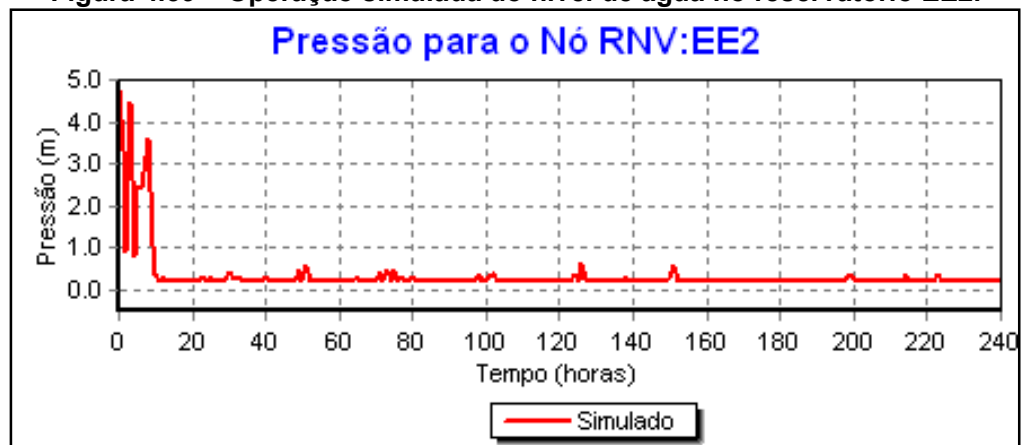
Nesse cenário, onde as bombas foram desligadas no horário de pico, conforme se observa nas fig. 4.38 a 4.40, os reservatórios EE1, EE2 e Olho d'Água das Flores, praticamente, ficaram vazios, mantendo o nível mínimo estabelecido nas regras operacionais.

Figura 4.38 – Operação simulada do nível de água no reservatório EE1.



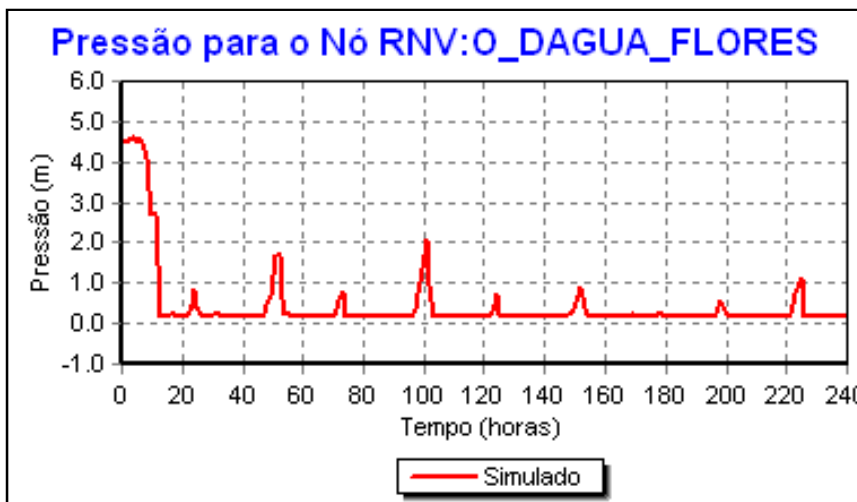
Fonte: Autor

Figura 4.39 – Operação simulada do nível de água no reservatório EE2.



Fonte: Autor

Figura 4.40 – Operação simulada do nível de água no reservatório de Olho d'Água das Flores.



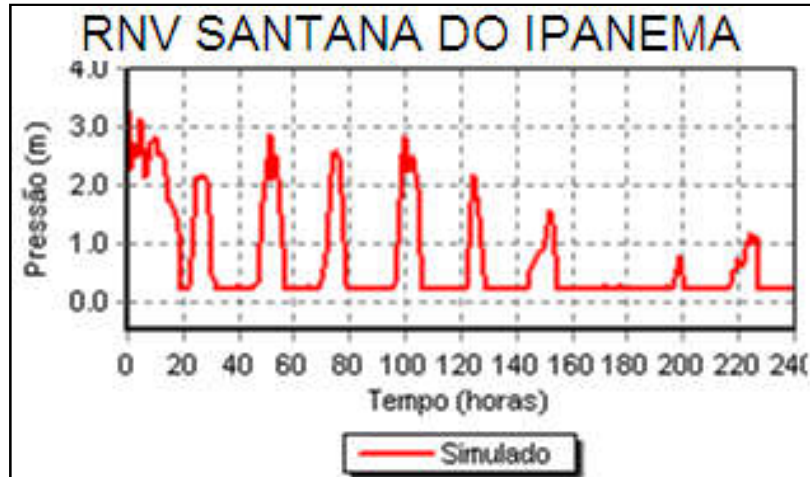
Fonte: Autor

Sob o ponto de vista do atendimento à demanda do sistema, tem-se que a jusante do reservatório de Olho d'Água das Flores, os reservatórios mais importantes são os de Santana do Ipanema e de Batalha, ambos abastecidos por gravidade a partir de Olho d'Água das Flores e responsáveis pelo abastecimento dos demais reservatórios.

Com base no que foi visto no comportamento dos reservatórios no cenário anterior, pode-se afirmar que se esses dois reservatórios estiverem abastecidos, os demais reservatórios a jusante dos mesmos também estarão com suas demandas atendidas, motivo pelo qual a avaliação do atendimento à demanda do restante da rede será iniciada pela análise desses dois reservatórios.

Como se pode ver nas fig. 4.41, o reservatório de Santana do Ipanema não consegue mais encher completamente, atingido os maiores níveis apenas durante a madrugada, entre zero hora e dez horas da manhã e no resto dia, permanece no nível mínimo previsto na regra, o que significa dizer, que nesse período, o reservatório deixa de alimentar adequadamente o Sistema.

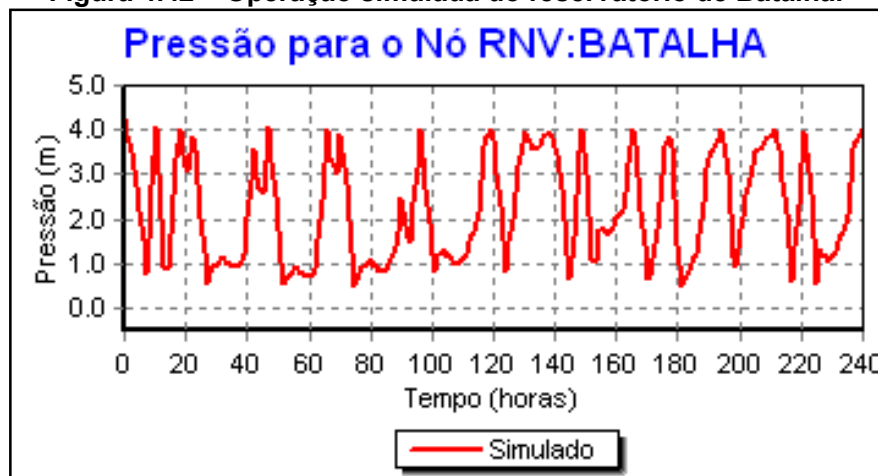
Figura 4.41 – Operação simulada do reservatório de Santana do Ipanema.



Fonte: Autor

Já o reservatório de Batalha está sendo abastecido de forma regular, atingindo um nível mínimo superior a 0,50m em curtos intervalos de tempo, sem prejuízo do atendimento à demanda, conforme pode ser visto na fig. 4.42, concluindo-se que os reservatórios a jusante do mesmo devem estar sendo abastecidos normalmente.

Figura 4.42 – Operação simulada do reservatório de Batalha.



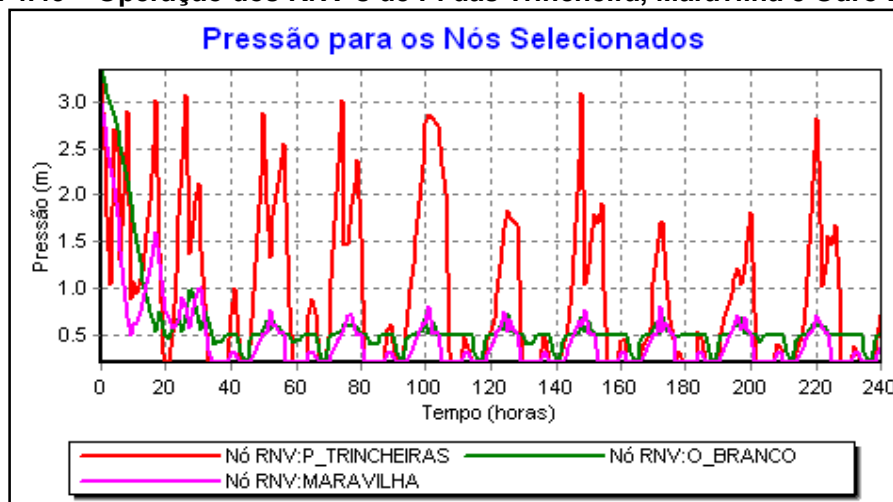
Fonte: Autor

Quanto às condições de abastecimento dos reservatórios de Poço da Trincheiras, Ouro Branco e Maravilha, por estarem esses reservatórios situados em uma das extremidades da rede, sendo o reservatório de Ouro Branco o de maior altitude do sistema (395,00 m), o que vale dizer, ser esse trecho o de maior dificuldade de abastecimento.

Na fig. 4.43, verifica-se que o reservatório de Poço das Trincheiras tem um abastecimento irregular e deficitário, só enchendo durante a madrugada, entre zero hora e seis horas da manhã. No resto período fica no seu nível mínimo.

Já os reservatórios de Maravilha e Ouro Branco, abastecidos a partir de Poço das Trincheiras, permanecem praticamente vazios, mantendo um nível médio em torno de 0.50m, o que implica dizer que essas cidades, nessa situação, estão sem receber água.

Figura 4.43 – Operação dos RNV's de P. das Trincheira, Maravilha e Ouro Branco

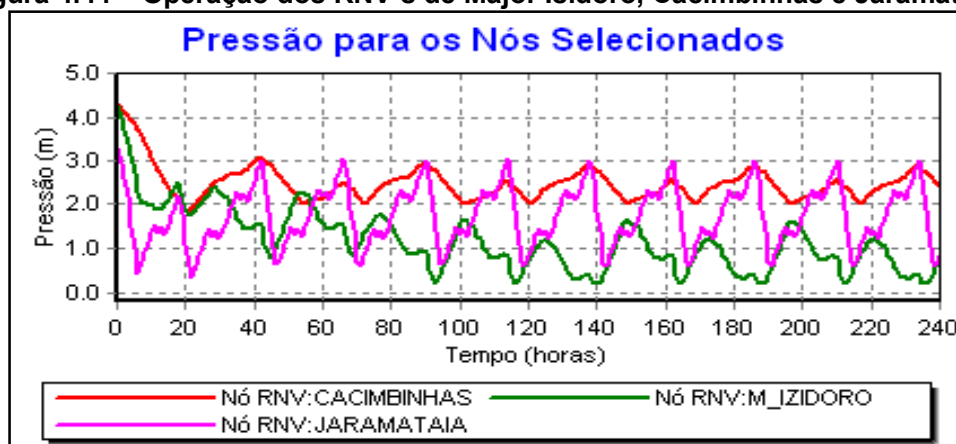


Fonte: Autor

A CASAL transformou a Chaminé de Equilíbrio situada entre Batalha e Major Isidoro em reservatório de abastecimento, para permitir a redução da pressão de trabalho da rede nesse trecho, onde estavam ocorrendo frequentes rompimentos da adutora. Assim, o Booster existente a jusante desse reservatório, se descaracteriza como tal, passando as estações elevatórias que bombeiam para Major Isidoro e Cacimbinhas a funcionarem como estações elevatórias típicas, bombeando do reservatório Chaminé.

Os reservatórios de Cacimbinhas e Jaramataia estão sendo abastecidos regularmente, enquanto que o reservatório de Major Isidoro não mais consegue encher completamente, variando seu nível de água entre o nível mínimo de 0.20m e um máximo em torno de 1.5m, a partir do momento de estabilização ou aquecimento do modelo, que acontece em torno de 70 horas de funcionamento, como visto na fig. 4.44.

Figura 4.44 – Operação dos RNV's de Major Isidoro, Cacimbinhas e Jaramataia



Fonte: Autor

O consumo de energia elétrica desse cenário, mostrado na tab. 4.2 é devido basicamente às bombas B7 e B8, com custo individual de energia/dia de **R\$ 3.922,53** e **R\$ 6.221,54**, respectivamente. O consumo das bombas B1, B2, B4, B5, B7 e B8 correspondem a **96,71%** do consumo total do sistema. Pode-se observar, também, na coluna 4 dessa tabela que as bombas B4, B7, B23 e B24 estão com rendimento inferior a 20%.

Tabela 4.2 – Relatório de energia do cenário 02
REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS
RELATÓRIO DE ENERGIA DO CENÁRIO 02
BOMBAS PARADAS NO HORÁRIO DE PONTA E BOMBAS B1, B4 E B7, TAMBÉM PARADAS NO HORÁRIO DAS 21:00 HORAS ATÉ ÀS 8:00 HORAS DO DIA SEGUINTE.

Item	Bomba	Porcentagem de Utilização (%)	Rendimento médio	kWh/m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo / dia (R\$)
1	B1	41,79	51,8	1,48	723,68	725,38	1.563,86
2	B2	86,36	63,3	1,2	774,26	823,95	2.538,27
3	B3	0	0	0	0	0	0,00
4	B4	39,79	15,5	5,67	1.791,48	2.235,06	3.729,94
5	B5	83,89	23	5,13	1.753,37	2.235,06	5.746,94
6	B6	0	0	0	0	0	0,00
7	B7	37,13	15,1	7,17	1.971,52	2.232,78	3.922,53
8	B8	82,74	23	7,21	1.929,06	2.232,78	6.221,54
9	B9	0	0	0	0	0	0,00
10	B10	72,99	29,3	0,88	13,34	14,75	35,64
11	B11	72,99	29,3	0,88	13,34	14,75	35,64
12	B12	78,77	55	0,86	26,69	28,23	81,26
13	B13	0	0	0	0	0	0,00
14	B14_15	7,5	25,2	1,53	17,35	22,88	5,34
15	B17	85,15	60	0,88	43,38	74,26	144,26
16	B17A	84,69	60	0,88	42,26	46,78	140,14
17	B18	84,74	60	0,54	22,19	22,21	73,28
18	B18A	84,74	60	0,54	22,19	22,21	73,28
19	B19	58,98	60	0,84	7,57	7,58	19,02
20	B20	58,98	60	0,84	7,57	7,58	19,02
21	B23	79,49	15,3	2,27	18,55	18,56	58,65

22	B24	79,49	15,3	2,27	18,55	18,56	58,65
23	B25	76,59	64	0,41	21,69	27,75	62,50
24	B26	0	0	0	0	0	0,00
Custo Total/Dia							24.529,76
Custo Total/Mês							735.892,80
Custo Total/Ano							8.830.713,60
Valor da tarifa do kWh=						0,110846	
Custo energético das bombas B1 a B9(R\$)=						23.723,08	
Custo energético das bombas B4 a B9(\$)=						19.656,59	
(Consumo de B1 a B9)/(Consumo total) =						96,71 %	
(Consumo de B4 a B9)/(Consumo total) =						80,13 %	

Fonte: Autor

Outra conclusão desta tabela é que custo energético das elevatórias, desde a captação até a EE2, corresponde a mais de 90% do custo energético do sistema, o que levou, naturalmente, o foco das atenções para as mesmas, inclusive para verificar se houve alteração significativa na operação em relação ao cenário anterior.

A conclusão a que se chegou, nesse Cenário, é que, embora tenha-se conseguido uma substancial queda do consumo de energia elétrica com a parada das bombas no horário de pico, boa parte do sistema deixou de ser abastecida.

4.3 Simulação do cenário 03

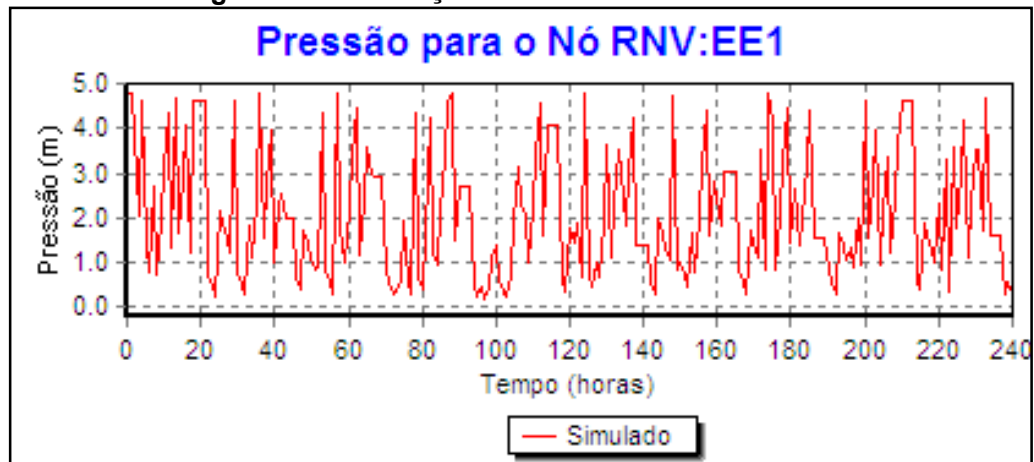
Assim, como visto no Cenário anterior, o fechamento das bombas no horário de ponta do sistema elétrico, no intuito de economizar energia, prejudicou sensivelmente o atendimento da demanda de alguns setores, motivo pelo qual procurou-se, através da adequação do valor ajustado para o coeficiente de perda de carga singular das válvulas controladoras de vazão (FCV), reduzir a perda de carga do trecho de montante, no intuito de recuperar a vazão a jusante.

Deve-se observar que esta é a forma real de operação do sistema, ou seja, havendo falta de água em um trecho, modifica-se a abertura das válvulas.

Nessa sistemática, a intervenção foi feita, primeiramente, no trecho que vai da Captação até Olho d'Água das Flores, por restar sabido, ser esse trecho o responsável pelo atendimento da demanda de toda a rede. Quando foi necessário o ajuste de mais válvulas, o mesmo procedimento foi feito, repetidamente, onde se fez necessário, intervindo nas demais válvulas controladoras de vazão da rede.

A análise do comportamento operacional do reservatório EE1 na fig. 4.45 mostra que ele opera normalmente, mantendo um nível de água confortável garantindo a demanda de jusante.

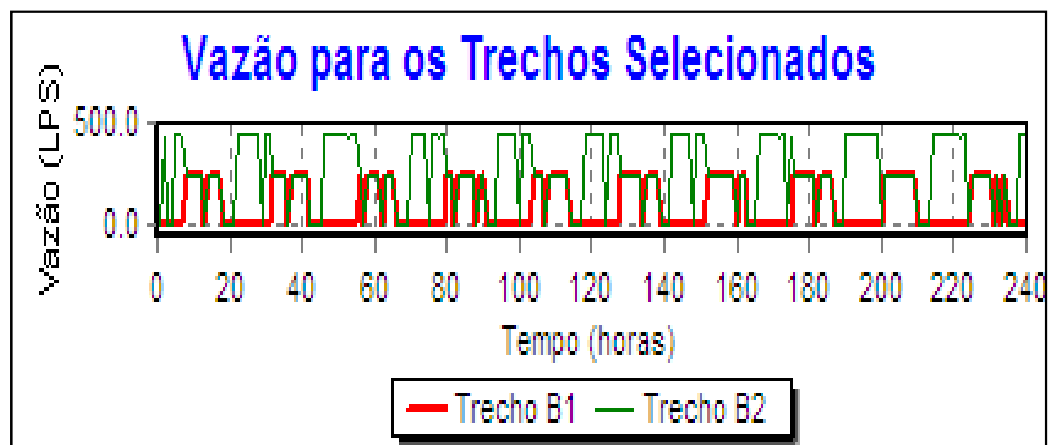
Figura 4.45 – Variação de nível do reservatório EE1



Fonte: Autor

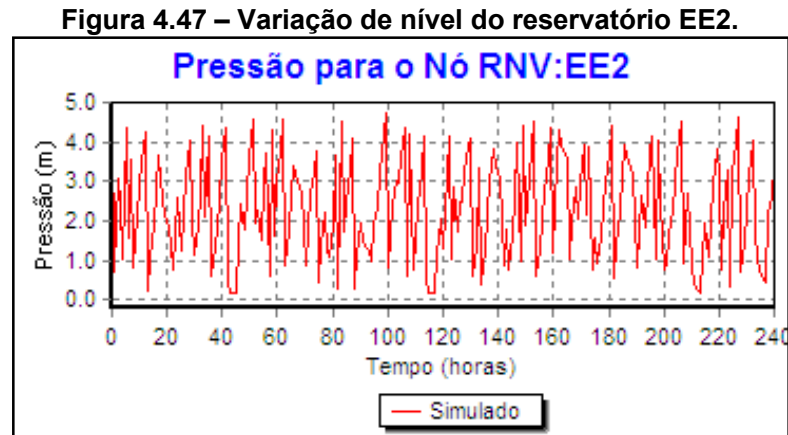
As bombas da captação B1 e B2 operam em função da demanda, ora funcionando B1 e B2 em paralelo, ora funcionando apenas a bomba B2, conforme fig. 4.46.

Figura 4.46 – Regime de operação das bombas B1 e B2



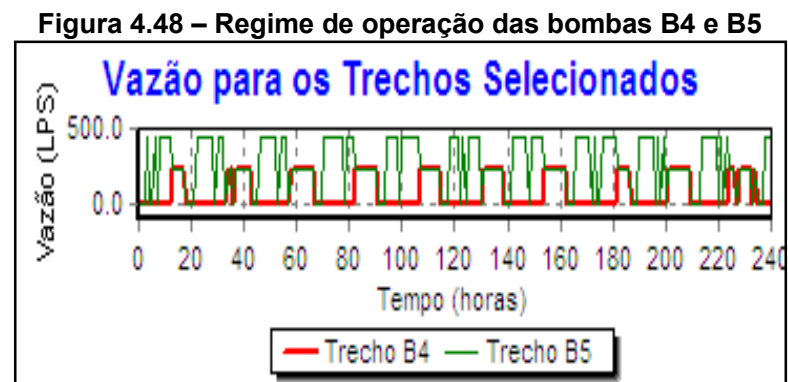
Fonte: Autor

Já o reservatório EE2, que é abastecido por EE1, apresenta um ciclo operacional normal, mantendo um nível médio de água em torno de 2,00 m, conforme fig. 4.47.



Fonte: Autor

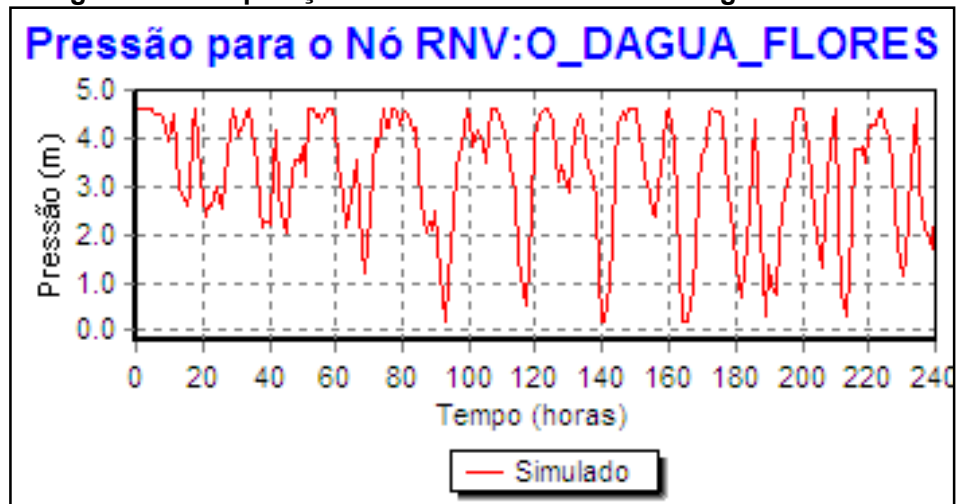
As bombas da captação, B4 e B5, apresentam um padrão operacional compatível com a demanda, ora funcionando B4 e B5 em paralelo, ora funcionando apenas a B5, conforme fig. 4.48.



Fonte: Autor

Verifica-se que E2 está sempre abastecido, apresentando um nível médio de água, em torno de 4,00 m. conforme fig. 4.49.

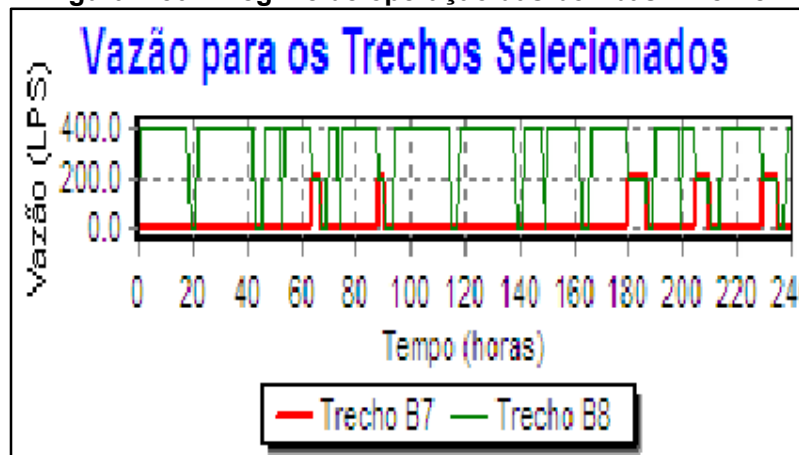
Figura 4.49 – Operação do reservatório de Olho d'Água das Flores



Fonte: Autor

O conjunto de bombas da EE2, B7, B8 e B9, que abastece Olho d'Água das Flores, funciona só com a bomba B8, que opera praticamente 24 horas, só parando no horário de ponta, conforme fig. 4.50.

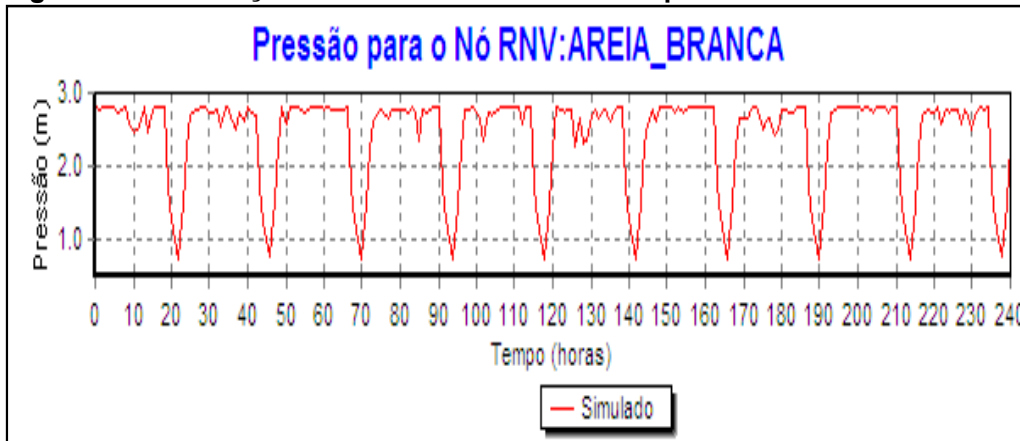
Figura 4.50 – Regime de operação das bombas B7 e B8



Fonte: Autor

O reservatório de Areia Branca está sempre abastecido, havendo uma queda do nível de água sempre a noite, durante a parada das bombas, no horário de pico conforme figura 4.51.

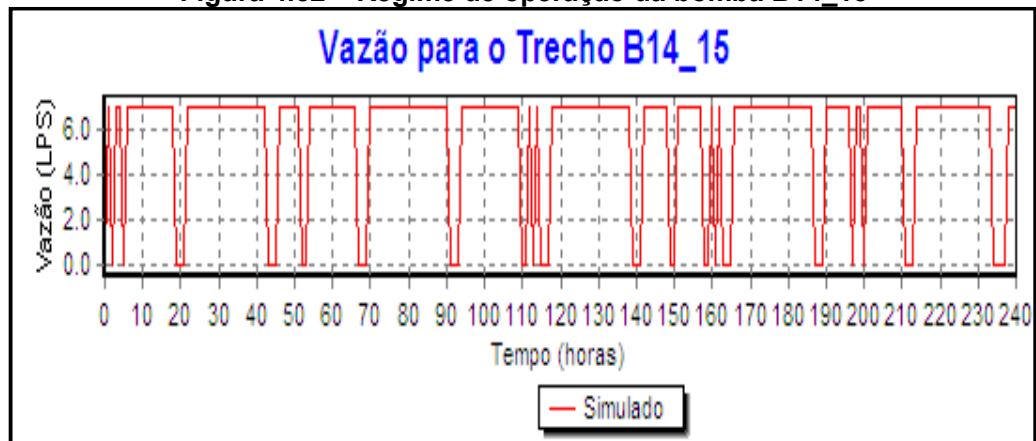
Figura 4.51 – Variação de nível do reservatório do povoado de Areia Branca



Fonte: Autor

A bomba B14_15 é a que abastece o reservatório do povoado Areia Branca, que por sua vez, alimenta a cidade de Dois Riachos, funciona de forma ininterrupta, só desligando no horário de pico, conforme fig. 4.52.

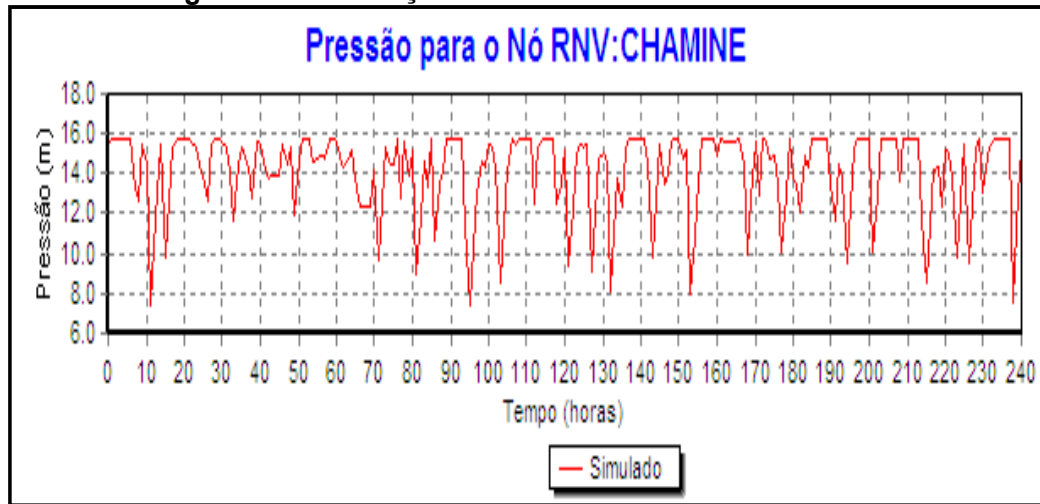
Figura 4.52 – Regime de operação da bomba B14_15



Fonte: Autor

O reservatório tipo chaminé, responsável pelo abastecimento de Major Isidoro e Jaramataia está sempre cheio como mostra a fig. 4.53.

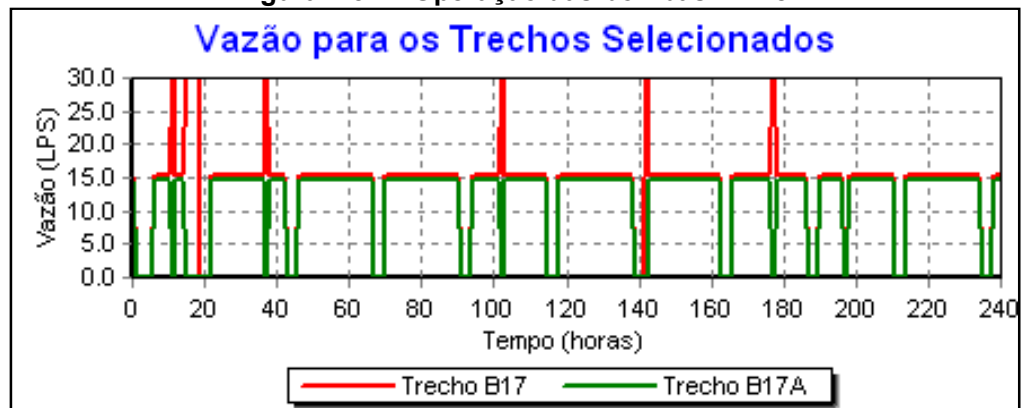
Figura 4.53 – Variação de nível do reservatório Chaminé



Fonte: Autor

As bombas B17 e B17A que alimentam o reservatório tipo chaminé funcionam em paralelo, só parando nos horários de ponta do sistema elétrico conforme fig. 4.54.

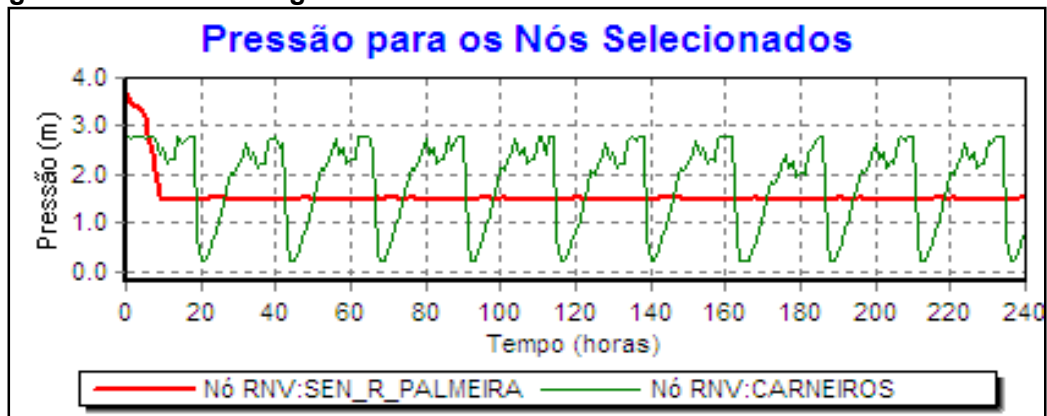
Figura 4.54 – Operação das bombas B17 e B17A



Fonte: Autor

Verifica-se nesse cenário, que o reservatório de Senador Rui Palmeira não enche, mas mantém um nível confortável de 1,5 m, enquanto que o reservatório de Carneiros apresenta uma operação dentro do padrão esperado, enchendo e esvaziando a cada 20 horas, conforme fig. 4.55.

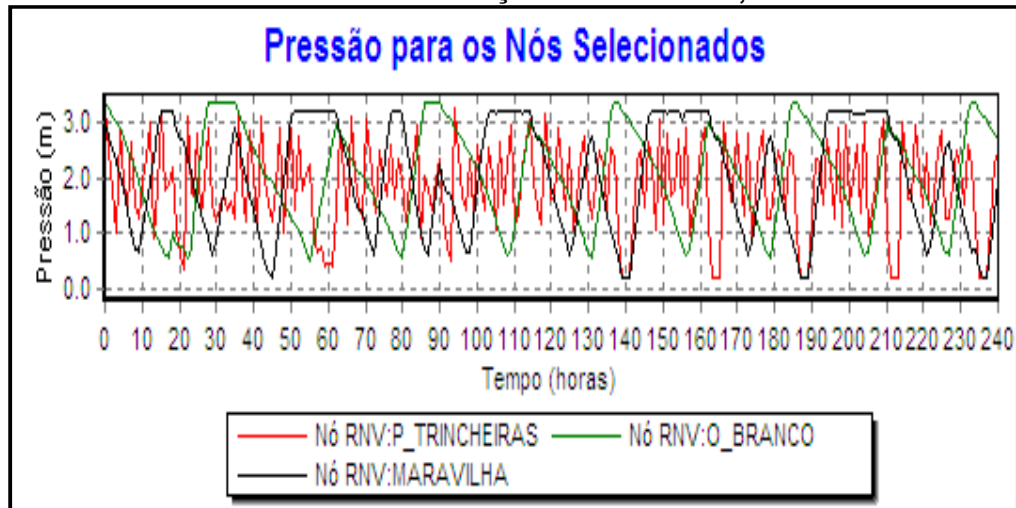
Figura 4.55 – Nível de água dos reservatórios de Carneiros e Senador Rui Palmeira



Fonte: Autor

Os reservatórios de Ouro Branco e Maravilha podem ser considerados como os reservatórios de mais difícil abastecimento pelo fato de se situarem nas maiores cotas do sistema. Mesmo assim, verifica-se que conseguem ser abastecidos, de forma alternada, pelo reservatório de Poço das Trincheiras (fig. 4.56).

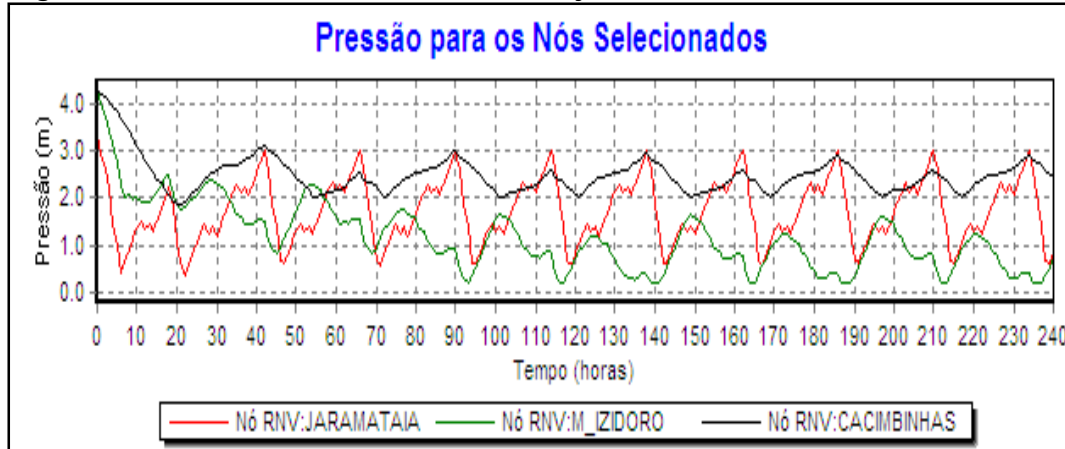
Figura 4.56 – Nível dos reservatórios de Poço das Trincheiras, Maravilha e Ouro Branco



Fonte: Autor

Os reservatórios de Jaramataia, Cacimbinhas e Major Isidoro estão sendo razoavelmente abastecidos pelo reservatório tipo Chaminé conforme pode ser visto na fig. 4.57.

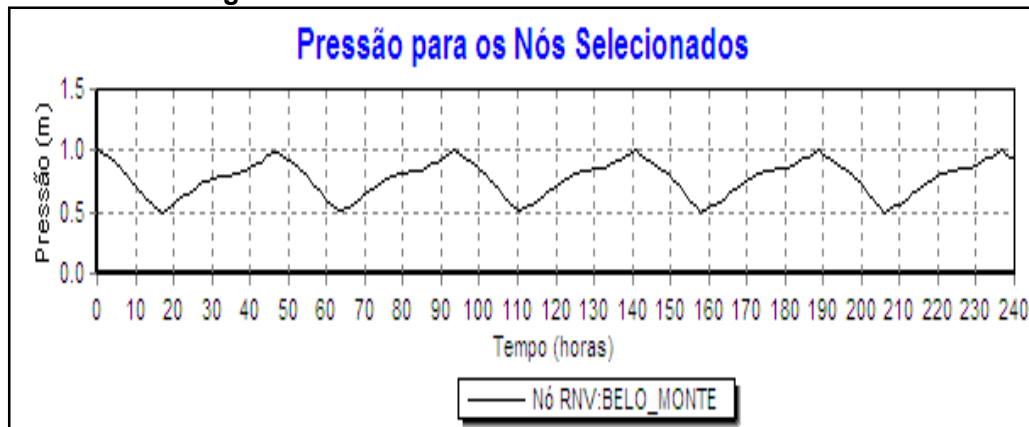
Figura 4.57 – Nível dos reservatórios de Major Isidoro, Jaramataia e Cacimbinhas



Fonte: Autor

Na fig. 4.58 tem-se o comportamento do reservatório de Belo Monte que é abastecido por gravidade pelo reservatório de Jacaré dos Homens. Devido a suas grandes dimensões, ele demora aproximadamente 30 horas para encher.

Figura 4.58 – Nível do reservatório de Belo Monte

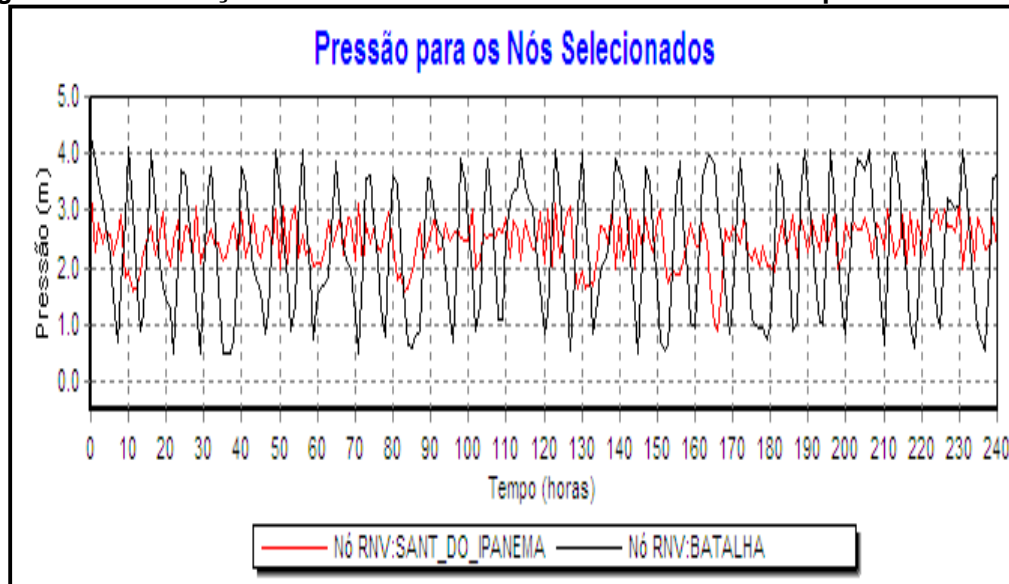


Fonte: Autor

Já os reservatórios de Santana do Ipanema e Batalha, ambos abastecidos por gravidade pelo reservatório de Olho d'Água das Flores, estão sendo regularmente abastecidos, apresentando um nível médio de 2,5 m, sendo que o reservatório de

Santana do Ipanema varia entre 2,0 m e 3,0 m e o de Batalha, varia entre 1,0 m e 4,0 m, conforme fig. 4.59.

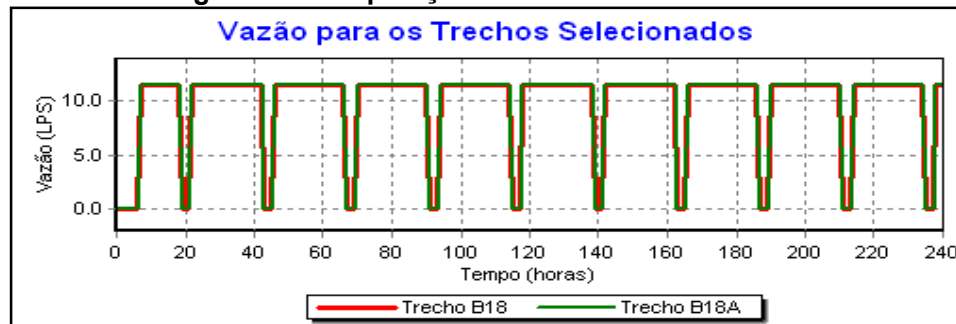
Figura 4.59 – Variação de nível dos reservatórios de Santana de Ipanema e Batalha



Fonte: Autor

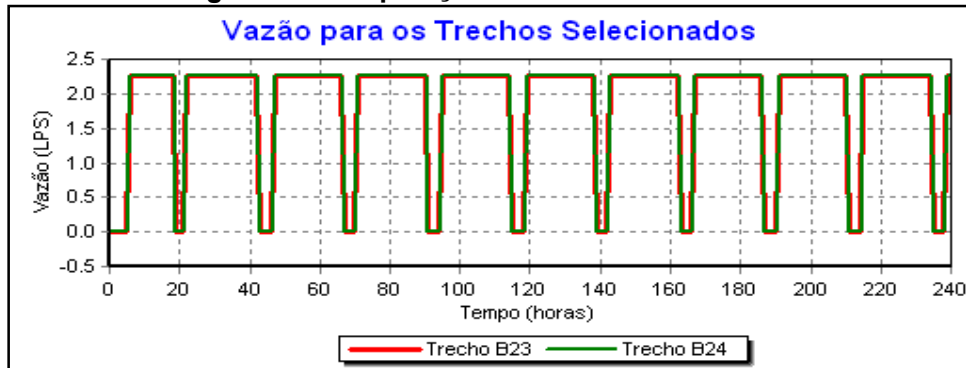
Com relação às bombas B18 e B18A que bombeiam para Major Isidoro, bombas B23 e B24 que bombeiam para Jaramataia, e bombas B19 e B20 que bombeiam para Cacimbinhas, verifica-se que tanto o conjunto B18 e B18A quanto os conjuntos B23 e B24 e B19 e B20 funcionam em paralelo, de forma ininterrupta, só parando no horário de ponta do sistema elétrico, conforme pode ser visto nas fig. 4.60 a 4.62.

Figura 4.60 – Operação das bombas B18 e B18A



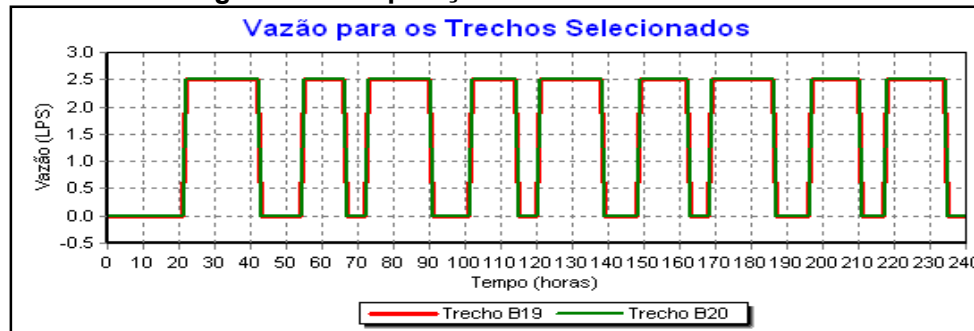
Fonte: Autor

Figura 4.61 – Operação das bombas B23 e B24



Fonte: Autor

Figura 4.62 – Operação das bombas B19 e B20



Fonte: Autor

Quanto ao comportamento do consumo de energia desse cenário, verifica-se na tab. 4.3 que houve uma melhora sensível, tanto no rendimento das bombas, quanto na redução do consumo energético que caiu 7,0% em relação ao cenário anterior.

Tabela 4.3 – Relatório de energia do Cenário 03

REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS

RELATÓRIO DE ENERGIA DO CENÁRIO 03 PARA 240 HORAS

CENÁRIO 03 BASEADO NO CENÁRIO 02, AJUSTADO PARA RECUPERAR A DEMANDA

Item	Bomba	Porcentagem de utilização (%)	Rendimento médio	kWh/m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo / dia (R\$)
1	B1	34,35	70,31	1,60	771,22	800,05	1.299,10
2	B2	72,05	74,99	1,01	859,63	949,65	2.242,05
3	B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	B4	30,15	21,93	2,84	2.164,62	2.260,84	3.614,22

5	B5	75,34	35,35	2,00	2.161,06	2.260,84	6.209,32
6	B6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	B7	9,83	19,52	4,59	2.170,16	2.246,97	1.650,61
8	B8	87,31	34,75	6,40	2.030,54	2.246,97	6.918,25
9	B9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	B10	53,06	47,53	0,44	13,95	14,73	28,55
11	B11	53,06	47,53	0,44	13,95	14,73	28,55
12	B12	65,17	57,36	0,81	37,37	53,40	95,53
13	B13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	B14_15	85,49	26,35	1,54	17,03	23,73	55,52
15	B17	85,17	60,24	0,87	43,96	74,26	147,95
16	B17A	81,94	60,00	0,88	42,63	46,78	133,10
17	B18	84,74	60,00	0,54	22,16	22,21	73,22
18	B18A	84,74	60,00	0,54	22,16	22,21	73,22
19	B19	59,11	60,00	0,84	7,54	7,58	19,01
20	B20	59,11	60,00	0,84	7,54	7,58	19,01
21	B23	80,02	15,15	2,26	18,42	18,56	58,65
22	B24	80,02	15,15	2,26	18,42	18,56	58,65
23	B25	87,44	64,00	0,51	26,07	27,82	84,66
24	B26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						Custo Total/Dia	22.809,17
						Custo Total/Mês	684.275,10
						Custo Total/Ano	8.211.301,20
Valor da tarifa do kWh=						0,110846	
Custo energético das bombas B1 a B9 (R\$)=						21.933,55	
Custo energético das bombas B4 a B9(R\$)=						18.392,40	
(Consumo de B1 a B9)/(Consumo total) =						96,16 %	
(Consumo de B4 a B9)/(Consumo total) =						80.64 %	

Fonte: Autor

4.4 Simulação do cenário 04

O cenário é caracterizado pelo redimensionamento dos reservatórios. O redimensionamento obedeceu ao critério da senóide, destacado no item 2.1 – Fundamentos de um sistema de abastecimento de água. A tab. 4.4 apresenta os reservatórios da rede com os volumes atuais e os redimensionados. Chama-se a atenção para o fato de que, embora o método da senóide seja um critério específico para reservatórios terminais de distribuição, no presente caso, foram considerados todos os reservatórios porque, excetuando-se os reservatórios EE1, EE2 e o tipo

Chaminé, todos os demais, além de abastecerem os setores do sistema de jusante, também distribuem água para as localidades em que estão inseridos.

Ressalte-se que, alguns dos reservatórios, depois de redimensionados, apresentaram volumes inferiores aos existentes (reservatórios das localidades destacadas em negrito na tab. 4.4). Nesses casos foram mantidos os volumes existentes.

Tabela 4.4 – Tabela dos reservatórios redimensionados

ITEM	LOCALIDADES	TIPO DO RESERVATÓRIO	VOLUME ATUAL (m3)	VOLUME MÍNIMO REDIMENSIONADO (m3)	DIAM. EQUIV. REDIMENSIONADO (m)	DIAM. EQUIV. CONSIDERADO (m)
1	CAPTAÇÃO					
2	EE1	RETANGULAR, APOIADO	745.3	4000	33.3	33.3
3	PÃO DE AÇÚCAR (SAEE)	RETANG., APOIADO	100.0	160	8.1	8.1
4	PALESTINA	CIRC. APOIADO	50.0	250	10.1	10.1
5	EE2	RETANG., APOIADO	745.3	3600	31.6	31.6
6	OLHO D'ÁGUA FLORES	RET., SEMI-APOIADO	2500.0	3600	32.3	32.3
7	S.J.TAPER(R.VELHA)	CIRC., ELEVADO 2	200.0	200	9.6	9.6
8	S.J.TAPER(R.NOVA)	CIRCULAR, APOIADO	100.0	200	9.1	9.1
9	CARNEIROS	CIRCULAR, ELEVADO 1	50.0	300	12.1	12.1
10	SENADOR RUI PALMEIRA	RET., SEMI-ENTERRADO	300.0	110	6.3	9.9
11	OLIVENÇA	CIRCULAR APOIADO	350.0	200	9.1	11.3
12	SANT.DO IPANEMA	RET., SEMI-APOIADO	850.0	1700	26.4	26.4
13	POVOADO AREIA BRANCA	CIRC., ELEVADO 1	50.0	70	5.9	5.9
14	POÇO DAS TRINCHEIRAS	CIRCULAR , APOIADO	100.0	270	10.5	10.5
15	MARAVILHA	CIRCULAR, APOIADO	100.0	100	6.4	6.4
16	OURO BRANCO	CIRCULAR, ELEVADO 1	150.0	60	4.9	7.3
17	DOIS RIACHOS	CIRCULAR, APOIADO	100.0	70	5.4	6.0
18	MONTEIRÓPOLIS	CIRCULAR, ELEVADO 2	200.0	120	7.5	9.0
19	JACARÉ DOS HOMENS	RET., SEMI-APOIADO	3750.0	750	15.3	32.6
20	BELO MONTE	RET., SEMI-APOIADO	3000.0	80	5.0	29.1
21	BATALHA	RET., SEMI-APOIADO	1250.0	1050	18.1	18.8
22	RNV_CHAMINÉ	CIRCULAR APOIADO	50.0	410	5.8	5.8
23	JARAMATAIA	CIRC, SEMI-APOIADO	100.0	70	5.4	6.0
24	MAJOR ISIDORO	RETANG., SEMI-APOIADO	750.0	340	10.3	14.6
25	CACIMBINHAS	RETANG., SEMI-APOIADO	450.0	50	3.9	11.3

Fonte: Autor

O relatório de energia gerado pelo EPANET, ressaltando a eficiência e o comportamento energético do sistema desse cenário (tab. 4,5), mostra que houve uma melhora importante no rendimento das bombas e uma significativa redução do consumo energético de 20,6% em relação ao cenário anterior.

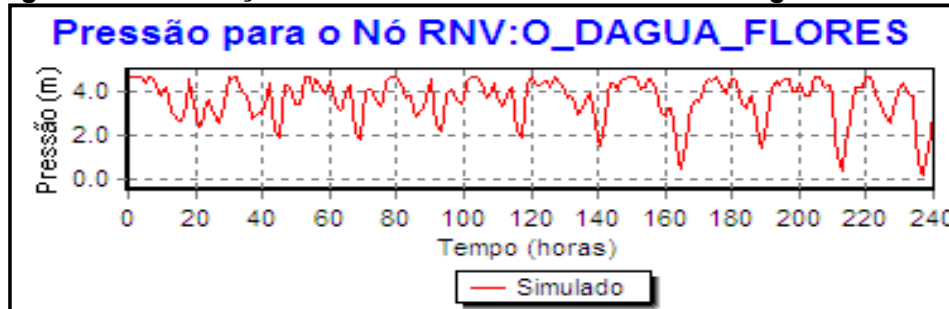
Tabela 4.5 – Relatório de energia do Cenário 04

REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS							
RELATÓRIO DE ENERGIA DO CENÁRIO 04 PARA 240 HORAS							
CENÁRIO BASEADO NO CENÁRIO 03, REDIMENSIONANDO OS RESERVATÓRIOS							
Item	Bomba	Percentag em em utilização (%)	Rendim ento médio	kWh/m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo / dia (R\$)
1	B1	33,43	67,75	4,14	742,80	800,05	1.247,33
2	B2	71,49	74,59	2,05	857,10	949,65	2.129,65
3	B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	B4	10,18	22,10	2,76	2.181,60	2.260,82	1.766,16
5	B5	73,90	41,57	1,64	2.174,56	2.260,82	5.669,24
6	B6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	B7	4,63	18,95	6,34	2.103,90	2.230,11	658,95
8	B8	86,65	35,93	6,22	2.028,88	2.230,11	6.637,11
9	B9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	B10	54,07	48,01	0,39	14,10	14,58	25,75
11	B11	54,07	48,01	0,39	14,10	14,58	25,75
12	B12	73,88	56,87	0,82	33,01	53,34	86,84
13	B13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	B14_15	77,55	27,63	1,41	18,36	23,70	52,89
15	B17	84,80	68,23	0,71	68,05	74,26	216,67
16	B17A	4,26	60,00	0,90	18,04	46,78	2,04
17	B18	55,79	60,00	0,51	32,92	36,76	51,86
18	B18A	55,79	60,00	0,51	32,92	36,76	51,86
19	B19	58,74	60,00	0,84	7,55	7,58	18,24
20	B20	58,74	60,00	0,84	7,55	7,58	18,24
21	B23	41,75	28,19	3,94	15,78	18,15	25,54
22	B24	41,75	28,19	3,94	15,78	18,15	25,54
23	B25	86,11	64,00	0,51	27,26	27,84	87,87
24	B26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						Custo Total/Dia	18.797,53
						Custo Total/Mês	563.925,90
						Custo Total/Ano	6.767.110,80
Valor da tarifa do kWh=						0,110846	
Custo energético das bombas B1 a B9=						18.108,44	
Custo energético das bombas B4 a B9=						14.731,46	
(Consumo de B1 a B9)/(Consumo total) =						96,33 %	
(Consumo de B4 a B9)/(Consumo total) =						78,37 %	

Fonte: Autor

Na fig. 4.63, resta claro que o reservatório de Olho d'Água das Flores está sempre abastecido, mantendo um nível médio acima de 3,8m. Os níveis mínimos ocorrem, sempre, no entorno da zero hora.

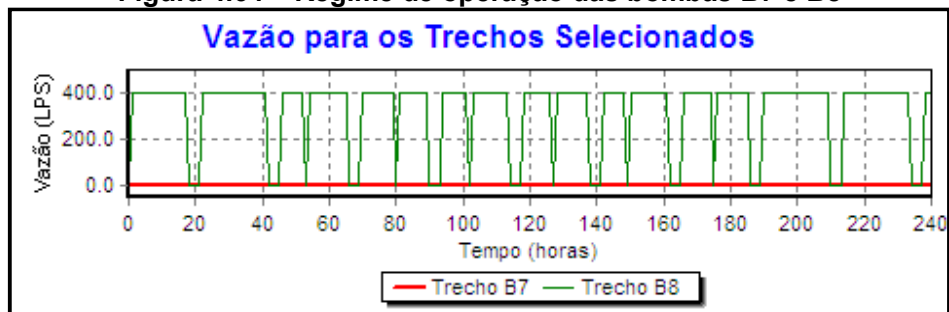
Figura 4.63 – Variação de nível do reservatório de Olho d'Água das Flores



Fonte: Autor

Na fig. 4.64, verifica-se que apenas a bomba B8 está operando conforme esperado.

Figura 4.64 – Regime de operação das bombas B7 e B8



Fonte: Autor

Quanto ao reservatório da EE2 (fig. 4.65), verifica-se que ele apresenta períodos relativamente longos com seu nível de água em torno de 1,0m, sendo que alguns desses períodos persistem por até 8 horas, mas sempre durante a madrugada, entre às 21:00 horas e 05:00 horas do outro dia, mas como visto, essa situação não prejudica o abastecimento do reservatório de Olho d'Água Flores. Vale lembrar que o volume desse reservatório, quadruplicou com o seu redimensionamento, o que explica o fato dele continuar operando normalmente.

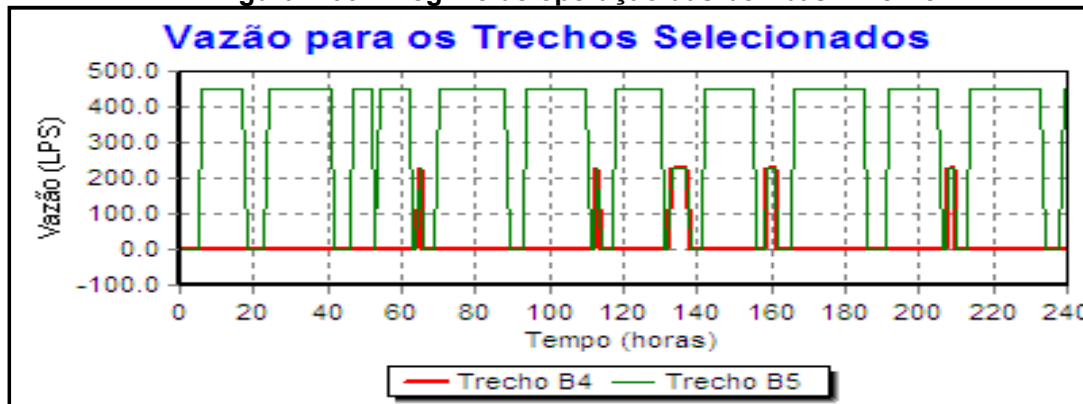
Figura 4.65 – Variação de nível do reservatório de EE2.



Fonte: Autor

Quanto às bombas B4 e B5, a fig. 4.66 mostra que a bomba B4 praticamente não atua e a bomba B5 opera dentro do programado.

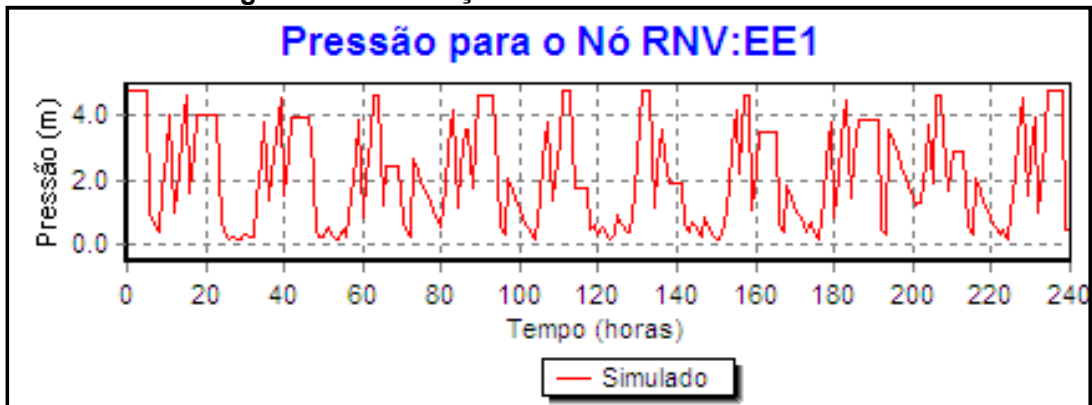
Figura 4.66 – Regime de operação das bombas B4 e B5



Fonte: Autor

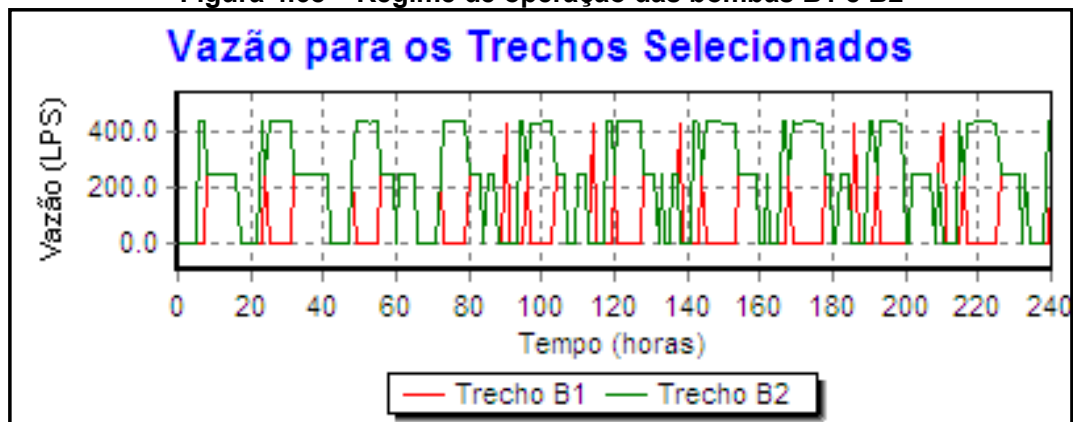
As fig. 4.67 e 4.68, mostram os gráficos do comportamento operacional do reservatório EE1 e das bombas B1 e B2 respectivamente. Verifica-se que o reservatório EE1 apresenta um ciclo de enchimento/esvaziamento muito rápido, sendo que durante a madrugada o reservatório não consegue encher, permanecendo seu nível de água, flutuando em torno do nível mínimo programado, entretantes, sem comprometer o atendimento da demanda dos reservatórios de jusante. As bombas B1 e B2 operam dentro do esperado.

Figura 4.67 – Variação de nível do reservatório de EE1.



Fonte: Autor

Figura 4.68 – Regime de operação das bombas B1 e B2



Fonte: Autor

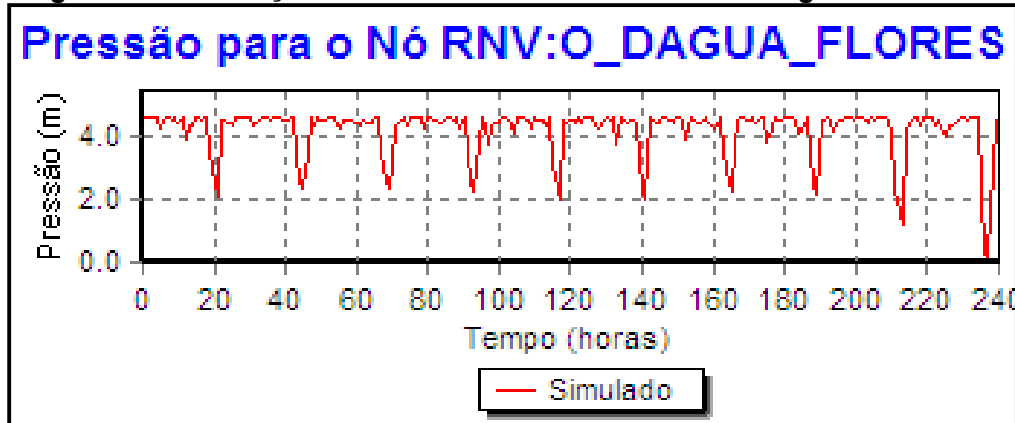
Conclui-se que nesse cenário o redimensionamento dos reservatórios permitiu uma operação mais folgada das bombas, isto é, com um número menor de acionamentos, que se refletiu em redução do custo energético operacional do sistema de 17,6% em relação ao cenário 03 (tab. 4.5).

4.5 Simulação do cenário 05

Assim, como nos cenários anteriores, faz-se, inicialmente, uma análise da operação das bombas e dos reservatórios do trecho mais sensível, energeticamente falando, da rede, que vai desde a captação até Olho d'Água das Flores.

Constata-se que, o reservatório de Olho d'Água das Flores está sempre cheio, mantendo um nível médio bem próximo do seu nível máximo. Os níveis mínimos também ocorrem, sempre, no entorno da zero hora (ver fig. 4.69).

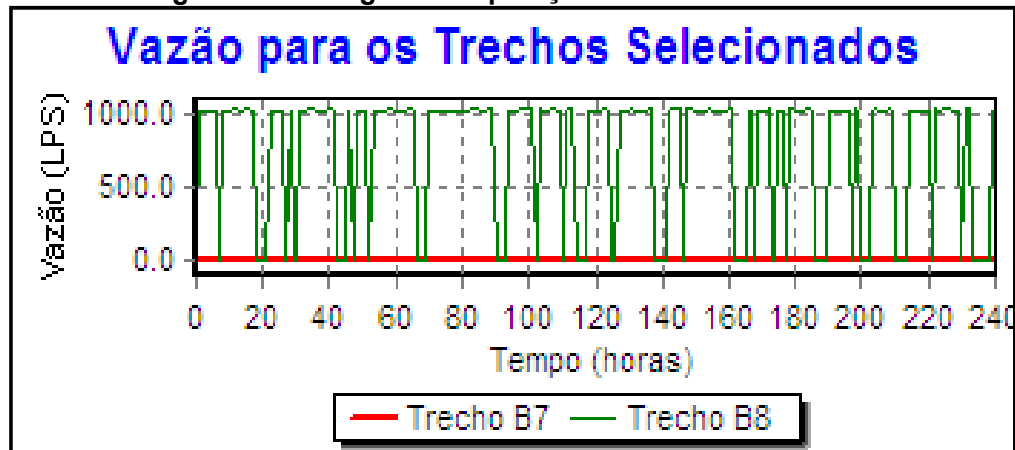
Figura 4.69 – Variação de nível do reservatório de Olho d'Água das Flores.



Fonte: Autor

Quanto à operação das bombas B7 e B8, na fig. 4.70, verifica-se, também aqui, que apenas a bomba B8 funciona.

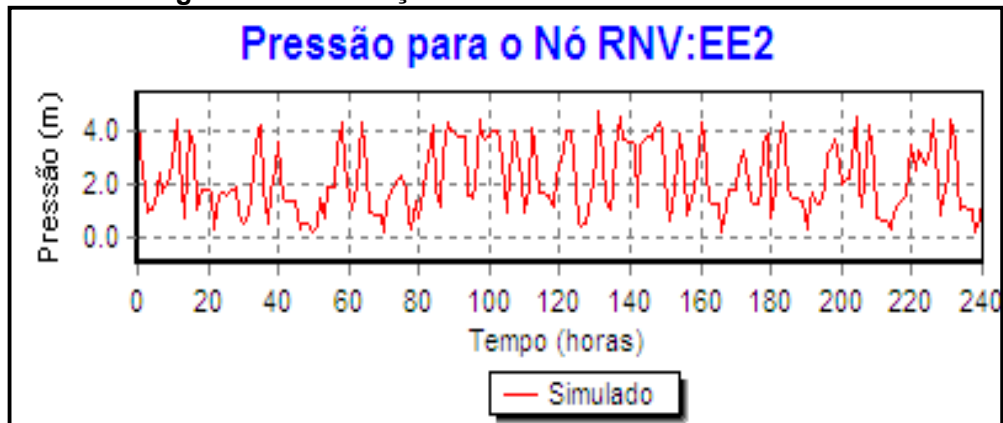
Figura 4.70 – Regime de operação das bombas B7 e B8.



Fonte: Autor

Verifica-se, na fig. 4.71 que o reservatório da EE2 está sempre abastecido, mantendo um nível de água médio em torno de 2,0 m e atingindo o nível mínimo permitido sempre durante a madrugada, sem prejuízo ao atendimento da demanda.

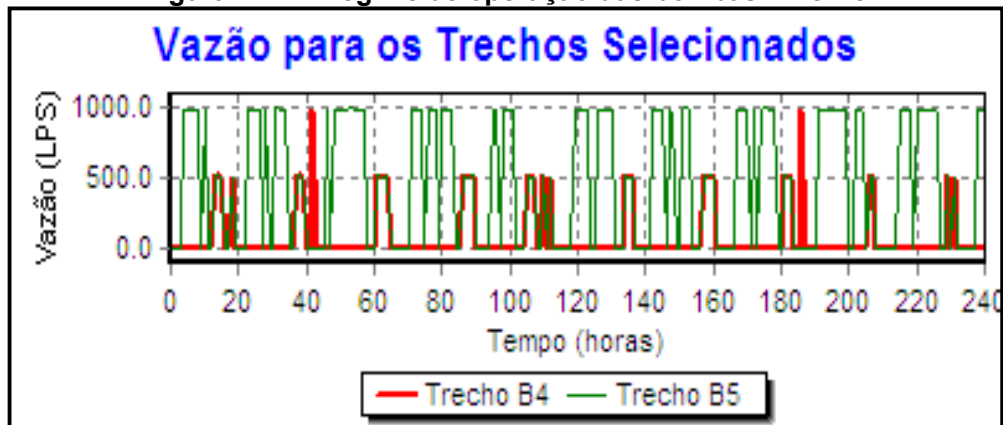
Figura 4.71 – Variação de nível do reservatório de EE2



Fonte: Autor

Quanto às bombas B4 e B5, a fig. 4.72 mostra que a bomba B4, atua muito pouco e a bomba B5 opera dentro do programado, mantendo, praticamente sozinha, a demanda de jusante.

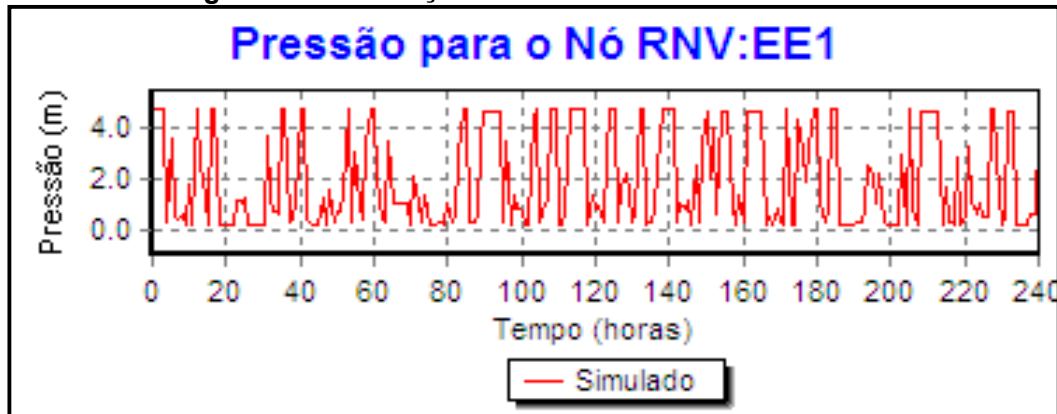
Figura 4.72 – Regime de operação das bombas B4 e B5



Fonte: Autor

Quanto ao reservatório EE1, tem-se na fig. 4.73 que o mesmo apresenta um ciclo de enchimento/esvaziamento, também muito rápido, esvaziando até o nível mínimo permitido, sempre durante as madrugadas, mas garantindo o atendimento da demanda dos reservatórios de jusante durante o dia.

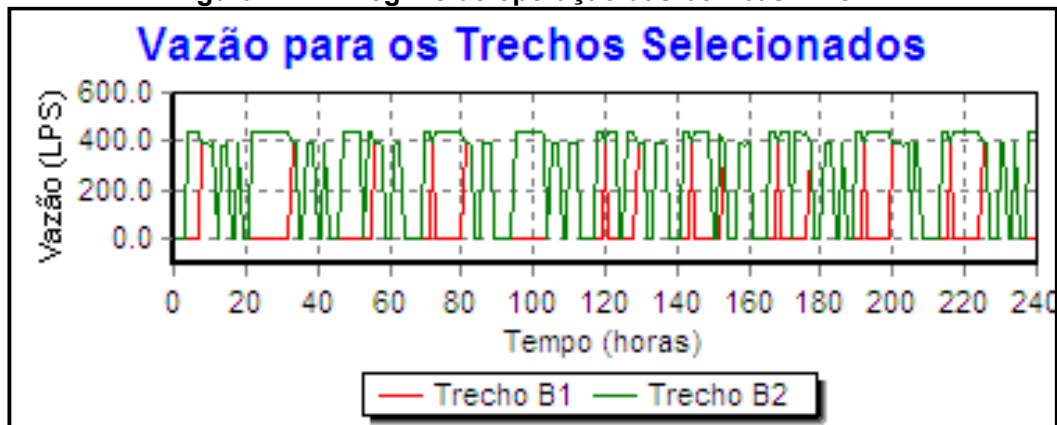
Figura 4.73 – Variação de nível do reservatório de EE1



Fonte: Autor

Quanto à operação das bombas B1 e B2, tem-se que a bomba B2 opera a maior parte do tempo, enquanto que a bomba B1 só entra quando necessário para manter o atendimento da demanda, conforme se constata na fig. 4.74,

Figura 4.74 – Regime de operação das bombas B1 e B2



Fonte: Autor

O consumo energético desse cenário consta da tab. 4.6. Constata-se que a abertura total das válvulas desde a Captação até Olho d'Água das Flores permitiu uma redução de 39,21% no custo energético operacional/dia em relação ao cenário 04.

Tabela 4.6 – Relatório de energia para o Cenário 05
REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS
RELATÓRIO DE ENERGIA DO CENÁRIO 05 PARA 240 HORAS
VÁLVULAS FCV's DESDE A CAPTAÇÃO ATÉ OLHO D'ÁGUA DAS FLORES
ABERTAS (OPEN)

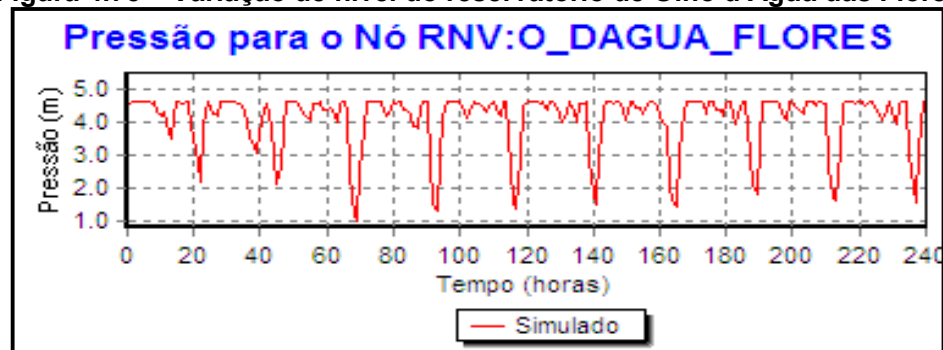
Item	Bomba	Percentagem em utilização (%)	Rendimento médio	kWh/m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo / dia (R\$)
1	B1	24,02	78,00	3,15	883,33	934,48	758,04
2	B2	61,42	78,65	1,89	916,83	949,65	1.691,56
3	B3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	B4	11,45	48,63	1,32	2.121,64	2.264,17	1.121,68
5	B5	41,37	60,24	1,92	2.418,60	2.899,55	3.137,24
6	B6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	B7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	B8	86,26	31,19	36,26	1.218,03	2.948,05	4.005,73
9	B9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	B10	53,44	48,79	0,31	14,33	14,59	24,96
11	B11	53,44	48,79	0,31	14,33	14,59	24,96
12	B12	68,53	57,05	0,82	35,78	53,36	92,14
13	B13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	B14_15	77,33	27,73	1,41	18,46	23,70	55,16
15	B17	84,83	68,33	0,71	68,89	74,26	223,32
16	B17A	4,19	60,00	0,92	17,92	46,78	2,00
17	B18	55,86	60,00	0,51	32,81	36,76	55,55
18	B18A	55,86	60,00	0,51	32,81	36,76	55,55
19	B19	59,08	60,00	0,84	7,54	7,58	18,78
20	B20	59,08	60,00	0,84	7,54	7,58	18,78
21	B23	42,22	28,57	4,19	16,02	18,15	25,20
22	B24	42,22	28,57	4,19	16,02	18,15	25,20
23	B25	86,48	64,00	0,51	27,29	27,90	90,59
24	B26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Total/Dia							11.426,44
Custo Total/Mês							342.793,20
Custo Total/Ano							4.113.518,40
Valor da tarifa do kWh=							0,110846
Custo energético das bombas B1 a B9 (R\$)=							10.714,25
Custo energético das bombas B4 a B9 (R\$)=							8.264,65
(Consumo de B1 a B9)/(Consumo total) =							93,77 %
(Consumo de B4 a B9)/(Consumo total) =							72,33 %

Fonte: Autor

4.6 Simulação do cenário 06

Nesse cenário, o reservatório de Olho d'Água das Flores permanece sempre cheio, exceto por algumas horas, durante a madrugada, entre 22:00 horas e 02:00 do dia seguinte, conforme fig. 4.75.

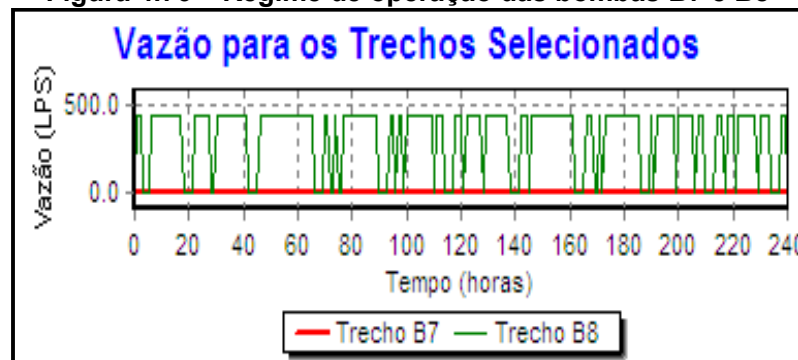
Figura 4.75 – Variação de nível do reservatório de Olho d'Água das Flores



Fonte: Autor

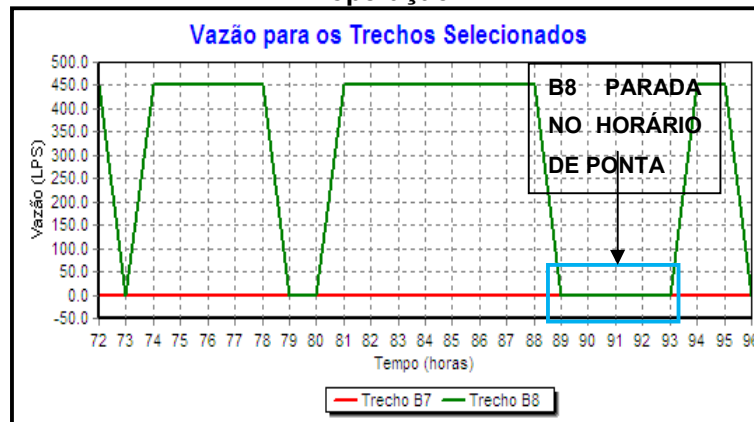
As bombas B7 e B8 que bombeiam para o reservatório pulmão do sistema em Olho d'Água das Flores, na serra do Parujé, estão operando conforme mostrado nas fig. 4.76 e 4.77, onde se denota que a bomba B7 não entra em operação e a bomba B8 está obedecendo ao comando de desligar no horário de ponta.

Figura 4.76 – Regime de operação das bombas B7 e B8



Fonte: Autor

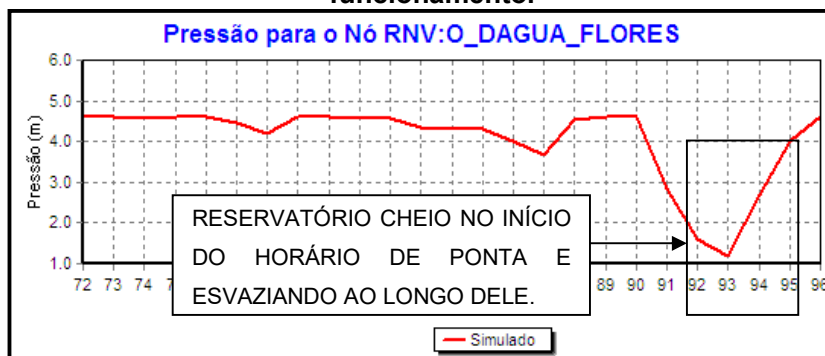
Figura 4.77 - Gráfico da operação das bombas B7 e B8 entre 72 horas e 96 horas de operação



Fonte: Autor

Esse reservatório está sempre abastecido, mantendo um nível médio de 4,50 m, conforme fig. 4.78. Verifica-se que no início do horário de ponta, o reservatório está cheio, esvaziando a partir daí, até o término do horário de ponta, quando começa a encher novamente.

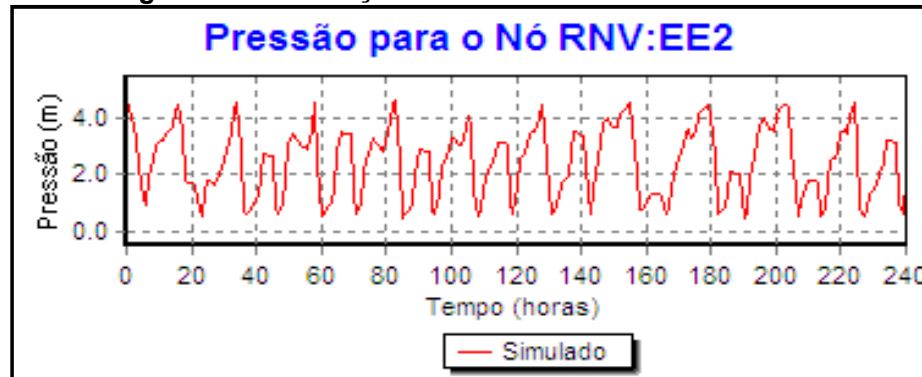
Figura 4.78 – Gráfico do nível do reservatório entre 72 horas e 96 horas de funcionamento.



Fonte: Autor

Quanto ao comportamento operacional do reservatório de EE2 tem-se que o reservatório está bem abastecido, mantendo nível médio de água em 2,00 m e, atingindo seu nível mínimo sempre no horário de pico do sistema quando as bombas estão desligadas, conforme fig. 4.79.

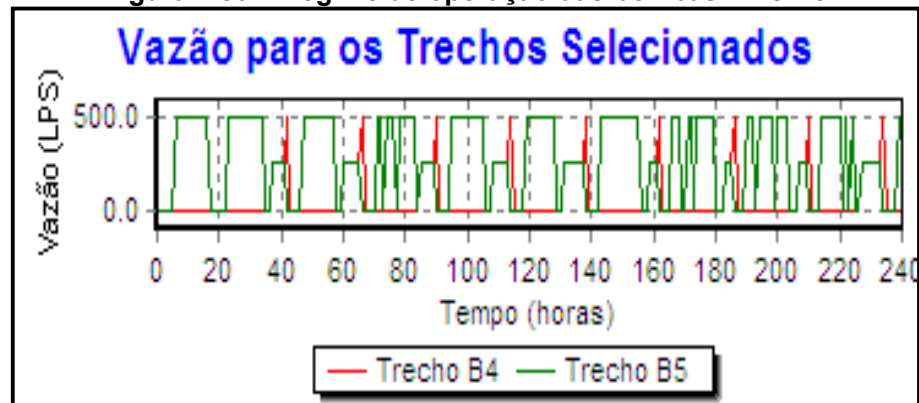
Figura 4.79 – Variação de nível do reservatório de EE2



Fonte: Autor

Quanto à operação das bombas B4 e B5, verifica-se que a bomba B4 opera muito pouco, assumindo a bomba B5, praticamente sozinha, a responsabilidade do atendimento às necessidades de água do reservatório de EE2 a jusante, conforme fig. 4.80.

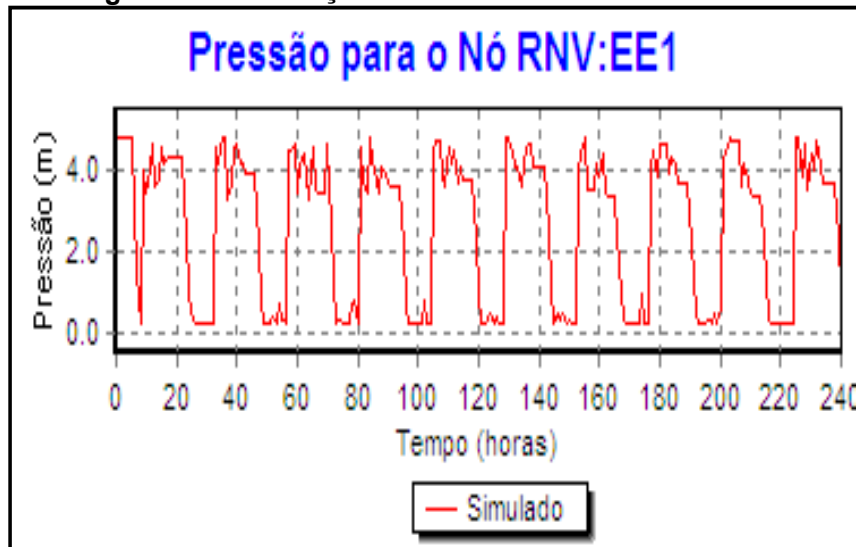
Figura 4.80 – Regime de operação das bombas B4 e B5



Fonte: Autor

O reservatório EE1 também, consegue ficar abastecido, mantendo um nível médio de água em 2,00 m e, atingindo seu nível mínimo sempre no horário de pico do sistema quando as bombas estão desligadas, conforme fig. 4.81.

Figura 4.81 – Variação de nível do reservatório de EE1



Fonte: Autor

O comportamento operacional desse reservatório pode melhor ser visualizado na fig. 4.82 onde se destaca o nível do reservatório EE-1, durante 24 horas, no período de 72:00 horas até 96:00 horas, para evitar o período inicial da simulação, quando é normal ocorrerem algumas distorções no comportamento do modelo motivadas por ajustes numéricos do algoritmo utilizado. Essa figura mostra que o reservatório fica abastecido desde as 8:00 horas até as 18:00 horas, sendo importante ressaltar o fato de o reservatório permanecer abastecido ao longo do horário de ponta, quando as bombas estão desligadas.

Figura 4.82 – Nível do reservatório EE-1 entre 72 horas e 96 horas de funcionamento



Fonte: Autor

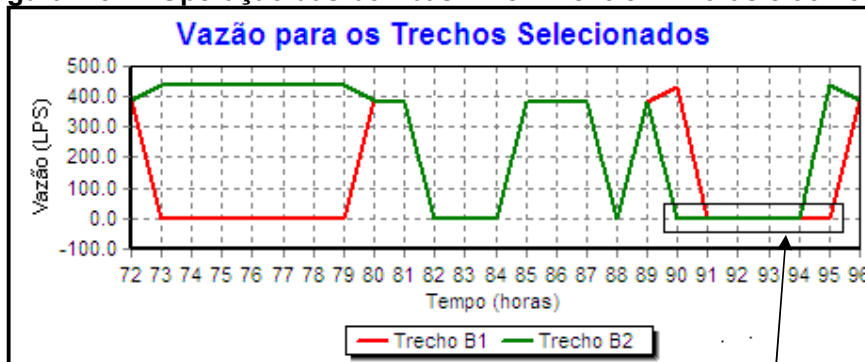
O comportamento operacional das bombas B1 e B2 está mostrado nas fig. 4.83 e 4.84, onde se denota que as bombas estão desligadas no horário de ponta, não só porque o reservatório está cheio mas, principalmente, porque as regras de funcionamento das bombas são para que elas desliguem nesse horário, mesmo com o reservatório vazio.

Figura 4.83 – Regime de operação das bombas B1 e B2



Fonte: Autor

Figura 4.84 – Operação das bombas B1 e B2 entre 72 horas e 96 horas



Fonte: Autor

 BOMBAS PARADAS NO
 HORÁRIO DE PONTA DO
 SISTEMA ELÉTRICO

Finalizando a análise desse Cenário, verifica-se na tab. 4.7 que houve uma melhoria significativa no rendimento das bombas, principalmente nas estações elevatórias do sistema adutor principal (bombas B1 a B9), tendo como resultado uma preponderante redução do seu custo energético operacional com o atendimento pleno da demanda, saindo de R\$ 58.614,38/dia no cenário 01 para R\$ 15.576,04/dia no cenário 06. Verifica-se que o custo anual do cenário 06 foi de R\$ 5.607.374,04 contra um custo real anual de um pouco mais de R\$ 6.000.000,00 conforme tab. 4.2 e Delgado (2001).

Tabela 4.7 – Relatório de energia do Cenário 06 gerado pelo EPANET
 REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS
 RELATÓRIO DE ENERGIA DO CENÁRIO 06 PARA 240 HORAS DE SIMULAÇÃO
 TODAS AS VÁLVULAS FCVs DI SISTEMA ABERTAS (OPEN)

Item	Bomba	Porcentagem em utilização (%)	Rendimento médio	kWh/m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo / dia (R\$)
1	B1	35.13	81.21	1.38	920.08	934.48	1246.14
2	B2	78.3	80.81	0.77	939.92	949.65	2344.15
3	B3	0	0	0	0	0	0
4	B4	18.91	49.36	1.5	2151.4	2235.7	1776.6
5	B5	52.66	54.22	3.02	2194.9	2850.0	3748.7
6	B6	0	0	0	0	0	0
7	B7	0	0	0	0	0	0
8	B8	84.02	37.69	30.85	1477.1	2927.5	4815.26
9	B9	0	0	0	1	4	0
10	B10	52.59	55.84	0.26	14.32	14.46	24.7
11	B11	52.59	55.84	0.26	14.32	14.46	24.7
12	B12	64.92	63.67	0.71	33.18	55.11	92.61
13	B13	0	0	0	0	0	0
14	B14_15	77.11	28.51	1.97	12.32	26.97	36.9
15	B17	80.53	67.03	0.68	62.16	94.2	219.17
16	B17A	7.5	62.37	0.86	28.88	72.48	6.13
17	B18	38.43	65.29	0.44	42.39	43.56	83.56
18	B18A	38.43	65.29	0.44	42.39	43.56	83.56
19	B19	20.11	64.72	0.7	18.93	19.04	10.13
20	B20	20.11	64.72	0.7	18.93	19.04	10.13

21	B23	37.33	32.47	1.04	18.03	18.16	17.9
22	B24	37.33	32.47	1.04	18.03	18.16	17.9
23	B25	87.43	64	0.52	13.84	25.48	46.66
24	B26	79.93	64	0.52	12.81	12.94	39.09
Custo Total/Dia(R\$)							14,643.99
Custo Total/Mês(R\$)							439,319.70
Custo Total/Ano (R\$)							5,271,836.40
Valor da tarifa do kWh=					0.110846		
Custo energético das bombas B1 a B9(R\$) =					13,930.85		
Custo energético das bombas B4 a B9(R\$) =					10,340.56		
(Consumo de B1 a B9)/ (Consumo total-dia) =					95.13 %		
(Consumo de B4 a B9)/ (Consumo total-dia) =					70.61 %		

Fonte: Autor

4.7 Análise global do sistema adutor principal da bacia leiteira

O presente trabalho fez uma abordagem sistêmica de toda a rede, considerando os mais variados aspectos técnico e econômico. Dos resultados colhidos, pôde-se explicitar os seguintes aspectos:

- 1) Não se pode dizer que o sistema foi, de fato, otimizado globalmente, no que se refere ao consumo energético operacional com atendimento pleno da demanda, mas, seguramente, obteve-se no cenário 06, uma otimização local, no âmbito do lapso temporal considerado nas simulações que foi de 240 horas.
- 2) Observa-se que em alguns momentos houve ação instantânea de liga-desliga de sistemas elevatórios, ou seja, a bomba foi desligada e ligada no instante seguinte. Esse fato deve-se a ausência de um ajuste fino dos parâmetros das válvulas para eliminar essas ações, uma vez que o tempo de simulação efetivo é diferente daquele que se apresenta nos relatórios de simulação. Por uma questão de “tempos de simulação”, optou-se por trabalhar com intervalos de tempo iguais a 30 minutos para o “intervalo de cálculo hidráulico” e de 60 minutos para o “intervalo de tempo de relatório” que corresponde ao tempo utilizado pela interface de visualização dos relatórios do aplicativo. Desta forma, essas ações de “liga-desliga” instantâneas não foram consideradas efetivamente na interpretação dos resultados;
- 3) O percentual de automação do Sistema é baixo, haja vista que apenas a estação elevatória de Olhos d'Água das Flores apresenta alguma automação. Desde antes de 2009, as estações elevatórias da Serra do Parugé em Olho D'água das Flores, recalque para a cidade de Carneiros, e a estação elevatória de Poço das

Trincheiras recalque para Maravilha e Ouro Branco, são automatizadas com relés de nível, parando o bombeamento quando o reservatório seca e reiniciando após atingir determinado nível.

4) O qualidade do cadastro do sistema, está desatualizado, pois muitas das informações da rede, principalmente aquelas referentes às alterações ocorridas ao longo do tempo, não estão, devidamente, registradas, dependendo, muitas vezes, da memória dos operadores e funcionários mais antigos;

5) O rendimento de algumas bombas é baixo, o que implica dizer que as bombas utilizadas podem estar sendo subutilizadas ou superdimensionadas;

6) O consumo de energia elétrica é fortemente sensível às mudanças nas regras operacionais (abertura de válvulas e variação de nível de reservatório);

7) O esforço de efficientização energética na rede deve ser centrado, principalmente, no trecho principal da adutora que vai da captação até Olho d'Água das Flores, uma vez que o maior consumo de energia elétrica corresponde a esse trecho;

8) A maior economia de energia elétrica, garantindo a demanda, a partir do redimensionamento dos reservatórios, é obtida quando se atua apenas abrindo as válvulas do trecho principal da adutora, que vai da captação até o reservatório de Olho d'Água das Flores;

9) No cenário 02, a paralisação das bombas no horário de ponta do sistema elétrico, bem como a paralisação das bombas B1, B4 e B7 das 21: horas até às 8:00 horas do dia seguinte, acarretou sérios prejuízos de atendimento da demanda, embora tenha representado uma economia energética de 58%;

10) Para a recuperação da demanda do sistema no cenário 03, considerando o cenário 02, quando as bombas foram paradas na ponta do sistema elétrico, reproduzindo as mesmas condições de campo, alterou-se as regras operacionais, variando o valor ajustado para o coeficiente de perda de carga singular das válvulas controladoras de vazão (FCV), recuperando a vazão a jusante, possibilitando assim, a recuperação do nível de água dos reservatório. Verifica-se que mesmo com a

recuperação da demanda, obteve-se uma redução do custo energético operacional de 7,20% em relação ao cenário anterior;

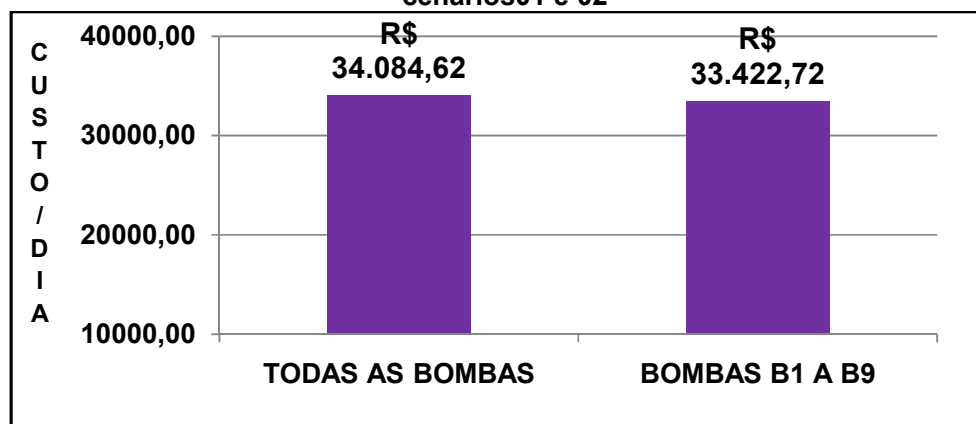
11) Comparando o cenário 01 (bombas funcionando 24 horas, sem restrição de horário) com o cenário 02 (bombas paradas no horário de ponta do sistema elétrico), conforme tab. 4.8 e fig. 4.9 verifica-se que a redução do custo do cenário 02 para o cenário 01, todas as bombas funcionando, foi de R\$ 34.084,62, enquanto que, considerando só as bombas de B1 a B9, tem-se uma redução de R\$ 23.422,72 que corresponde a 98% da economia total, denotando-se a prevalência do consumo energético das bombas do trecho adutor principal, desde a captação até Olho d'Água da flores em relação às demais bombas do sistema.

Tabela 4.8 – Comparação dos consumos energéticos entre os cenários 01 e 02

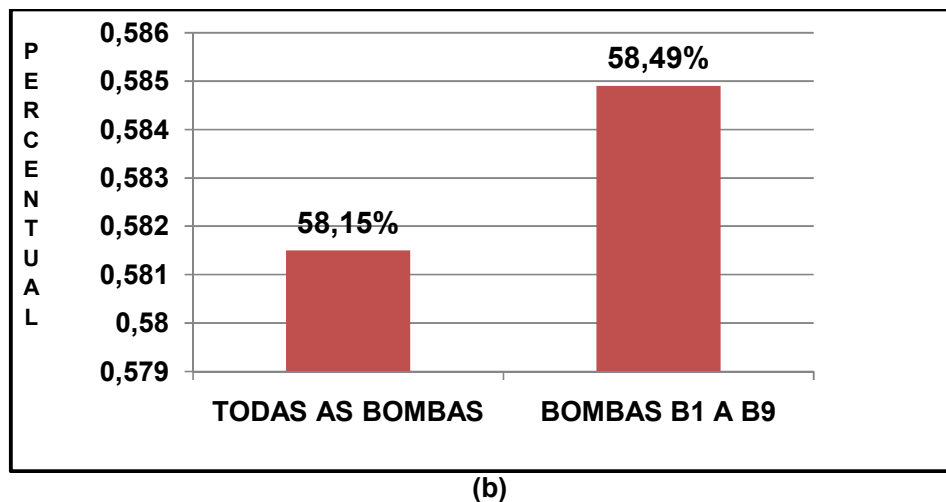
BOMBAS DO SISTEMA	CUSTO/DIA CENÁRIO 01 R\$	CUSTO/DIA CENÁRIO 02 R\$	REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ENTRE OS CENÁRIOS 01 E 02	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ENTRE OS CENÁRIOS 01 E 02 (%)
TODAS AS BOMBAS	58,614.38	24,529.76	34,084.62	58.15
BOMBAS B1 A B9	57,145.80	23,723.08	33,422.72	58.49

Fonte: Autor

Figura 4.85 (a) e (b) – Comparação da redução do custo energético/dia entre os cenários 01 e 02



(a)



Fonte: Autor

12) No cenário 04, o redimensionamento da capacidade dos reservatórios pela regra da senóide acarretou uma substancial melhoria da performance de operação das bombas (número menor de liga-desliga), bem como uma redução expressiva do custo operacional, equivalente a 17,6% em relação ao custo do cenário anterior;

13) No cenário 05, a liberação total das válvulas de controle de vazão (FCV), no trecho principal da adutora, desde a captação até Olho d'Água das Flores, assumindo-se para o "estado fixo" das referidas válvulas a condição "OPEN", acarretou numa redução de custo operacional energético de 39,2% em relação ao cenário anterior e de 80,5% em relação ao cenário 01,

14) Verificou-se que o cenário que apresenta melhor eficiência é o cenário 05 por atender ao objetivo social do Sistema, que é o de atender a demanda de água das comunidades, por ele abastecidas, com o menor custo operacional (**R\$ 11,426,44/dia**), conforme visto na tab. 4.9 que mostra como variou o consumo de energia do sistema, desde o cenário 01 até o Cenário 06.

Tabela 4.9 – Relatório geral de energia englobando todos os Cenários

REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS							
RELATÓRIO GERAL DE ENERGIA DOS CENÁRIOS DE 01 A 06 PARA 240 HORAS DE SIMULAÇÃO							
		Custo / dia (R\$)					
Item	Bomba	CENÁRIO 01	CENÁRIO 02	CENÁRIO 03	CENÁRIO 04	CENÁRIO 05	CENÁRIO 06
1	B1	3.992,62	1.564,83	1.299,10	1.247,33	758,04	1.246,14
2	B2	3.992,62	2.531,81	2.242,05	2.129,65	1.691,56	2.344,15
3	B4	11.953,61	3.756,18	3.614,22	1.766,16	1.121,68	1.776,60
4	B5	11.953,61	5.749,99	6.209,32	5.669,24	3.137,24	3.748,70
5	B7	12.626,67	3.930,27	1.650,61	658,95	0,00	0,00
6	B8	12.626,67	6.222,99	6.918,25	6.637,11	4.005,73	4.815,26

7	B10	77,09	38,05	28,55	25,75	24,96	24,70
8	B11	77,09	38,05	28,55	25,75	24,96	24,70
9	B12	80,24	83,45	95,53	86,84	92,14	92,61
10	B13	80,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	B14_15	88,94	5,32	55,52	52,89	55,16	36,90
12	B17	289,93	144,86	147,95	216,67	223,32	219,17
13	B17A	143,31	139,19	133,10	2,04	2,00	6,13
14	B18	122,50	73,25	73,22	51,86	55,55	83,56
15	B18A	122,50	73,25	73,22	51,86	55,55	83,56
16	B19	35,02	19,02	19,01	18,24	18,78	10,13
17	B20	35,02	19,02	19,01	18,24	18,78	10,13
18	B23	89,55	58,68	58,65	25,54	25,20	17,90
19	B24	89,55	58,68	58,65	25,54	25,20	17,90
20	B25	137,61	63,04	84,66	87,87	90,59	46,66
21	B26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,09
CUSTO TOTAL/DIA (R\$)		58.614,38	24.569,93	22.809,17	18.797,53	11.426,44	14.643,99
CUSTO TOTAL/MÊS (R\$)		1.758.431,40	737.097,90	684.275,10	563.925,90	342.793,20	439.319,70
CUSTO TOTAL/ANO (R\$)		21.101.176,80	8.845.174,80	8.211.301,20	6.767.110,80	4.113.518,40	5.271.836,40
EVOLUÇÃO DA REDUÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DIÁRIO EM RELAÇÃO AO CENÁRIO ANTERIOR(%)			-58,08%	-7,17%	-17,59%	-39,21%	28,16%

Obs.: As bombas de reserva B4, B6 e B9, por não funcionarem normalmente, foram expurgadas da planilha.

Cenário 01: cenário objetivando o atendimento pleno da demanda sem preocupação com o custo energético.

Cenário 02: cenário baseado no cenário 01, agora parando as bombas no horário de ponta e também parando as bombas B1, B4 e B7 das 21:00 horas até às 08:00 horas do dia seguinte.

cenário 03: cenário baseado no cenário 02, ajustado para recuperar a demanda.

cenário 04: Cenário baseado no cenário 03, redimensionando os reservatórios,

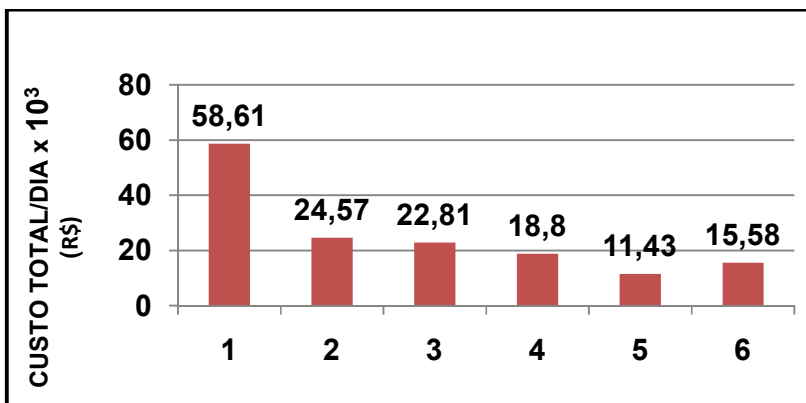
Cenário 05: Cenário baseado no cenário 04 abrindo as válvulas FCV's desde a captação até Olho d'Água das Flores.

Cenário 06: Cenário baseado no cenário 05, abrindo todas as válvulas FCVs da adutora.

Fonte: Autor

15) Verifica-se na fig. 4.86 que o custo cai do cenário 01 ao cenário 05, resultado da otimização da rede. No cenário 06, com a abertura de todas as válvulas FCVs, ocorre um aumento do custo energético operacional de 28,16% em relação ao cenário 05, devido ao incremento da vazão, e conseqüente aumento da energia de bombeamento. Mesmo assim, comparando esse cenário com o cenário 03 (cenário de calibração), verifica-se ainda uma economia de 35,82% no custo energético operacional diário das bombas (ver fig. 4.87).

Figura 4.86 – Evolução do custo diário da energia por cenário



Fonte: Autor

21	B23	15,18	15,30	15,15	28,19	28,57	32,47
22	B24	15,18	15,30	15,15	28,19	28,57	32,47
23	B25	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00
24	B26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,00
MÉDIA DO RENDIMENTO DAS BOMBAS POR CENÁRIO (%)		40,37	37,39	42,39	44,29	46,12	51,88

Fonte: Autor

17) Tomando como base rendimentos iguais ou maiores a 20%, verifica-se que o cenário 01 apresenta o maior número de bombas com rendimento menor que 20% (seis ao todo), correspondendo a 24% das bombas que estão operando. Nos cenários dois a quatro, conforme tab. 4.11, esse número continua diminuindo, paulatinamente e nos cenários cinco e seis, todas as bombas trabalham com rendimento superior a 20%.

Tabela 4.11 – Número de bombas por cenário com rendimento muito baixo (inferior a 20%)

Bombas com rendimento < 20%	CENÁRIO 01	CENÁRIO 02	CENÁRIO 03	CENÁRIO 04	CENÁRIO 05	CENÁRIO 06
	6	4	3	1	0	0
Percentual	24,0%	16,7%	12,5%	4,17%	0,0%	0,0%

Fonte: Autor

18) Verificou-se que a maior variação de rendimento médio entre dois cenários adjacentes, ocorreu no cenário 03 comparado com o 02, atingindo o percentual de 13,4%, conforme tab. 4.12, enquanto que a maior variação percentual de rendimento entre cenários ocorreu entre os cenários 02 e 06.,no valor de 38,8%, verificando-se existir, notadamente, uma tendência de melhoria consistente da desempenho operacional de todo o sistema, do cenário 02 para o cenário 06.

Tabela 4.12 – Variação do rendimento médio entre um cenário e o anterior

CENÁRIOS	01	02	03	04	05	06
RENDIMENTO MÉDIO	40,37	37,39	42,39	44,29	46,12	51,88
Variação do rendimento médio entre um cenário e o anterior	-	-7,4%	13,4%	4,5%	4,1%	12,5%

Fonte: Autor

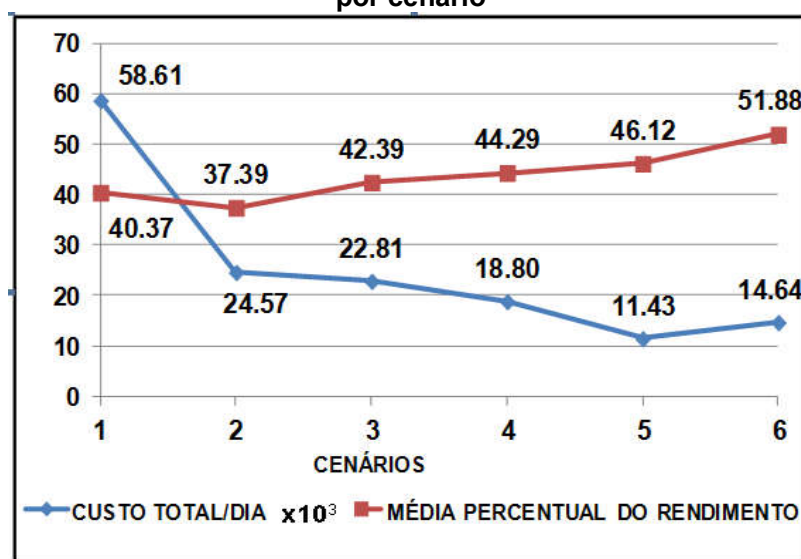
19) Verifica-se que, desconsiderando o cenário 01, o custo energético dia do Sistema varia inversamente com a média dos rendimentos das bombas por cenário, conforme tabela 4.13 e fig. 4.88.

Tabela 4.13 – Custo energético total/dia e rendimento das bombas do Sistema

CENÁRIOS	CUSTO TOTAL/DIA x 10 ³	MÉDIA PERCENTUAL DO RENDIMENTO
CENÁRIO 01	58.61	40.37
CENÁRIO 02	24.57	37.39
CENÁRIO 03	22.81	42.39
CENÁRIO 04	18.80	44.29
CENÁRIO 05	11.43	46.12
CENÁRIO 06	14.64	51.88

Fonte: Autor

Figura 4.88 – Custo energético dia (R\$ $\times 10^3$) & rendimento médio total(%) das bombas por cenário



Fonte: Autor

20) É interessante avaliar o número de horas/dia de operação de cada bomba em função do cenário simulado. A tab.4.13 fornece esses dados para todas as bombas do sistema, exceto as bombas de reserva B3, B6 e B9, que foram, propositadamente, expurgadas. Como as bombas que mais influem no consumo energético do sistema são as bombas B1 a B8, é importante observar o regime de operação das mesmas em função do Cenário, conforme fig.4.89. Dessa Figura, conclui-se que:

- a) Todas as bombas, exceto a bomba B8, a cada cenário, desde o cenário 01 até o cenário 05, têm o número de horas de operação decrescente, conforme fig.4.90, onde se vê também que do cenário 05 para o cenário 06, as bombas B1, B2, B4 e B5 apresentam um pequeno acréscimo do número de horas de operação, enquanto as bombas B7 e B8 apresentam uma pequena queda nos tempos de operação. Mesmo assim o número de horas de operação total do cenário 06 é menor que o do cenário 05, conforme tab. 4.13.
- b) As bombas B1, B2, B5 e B7 operam o menor número de horas no Cenário 05;
- c) A bomba B4 opera o menor número de horas no Cenário 04 (2,4 horas/dia);
- d) A bomba B8 opera, praticamente, o mesmo número de horas/dia (entre 20 e 21 horas) do cenário 02 ao cenário 06;

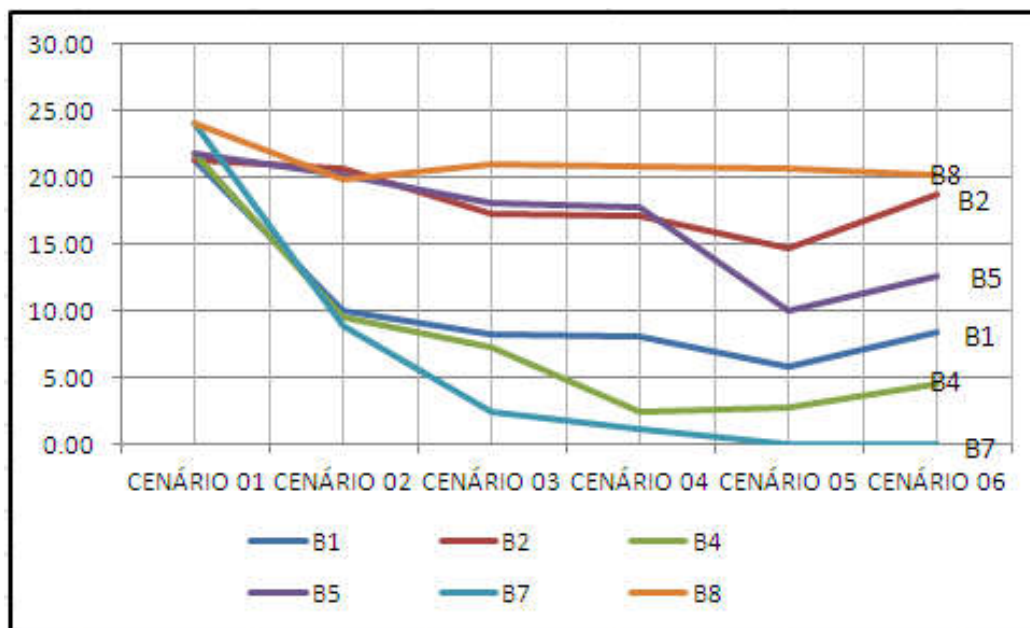
Tabela 4.13 – Horas por dia de operação das bombas por Cenário

REDE ADUTORA DA BACIA LEITEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS							
(RELATÓRIO GERAL DE TEMPO DE OPERAÇÃO DAS BOMBAS POR CENÁRIO PARA 240 HORAS DE SIMULAÇÃO)							
Item	Bomba	TEMPO DE OPERAÇÃO DAS BOMBAS(HORAS)					
		CENÁRIO 01	CENÁRIO 02	CENÁRIO 03	CENÁRIO 04	CENÁRIO 05	CENÁRIO 06
1.00	B1	21.35	10.03	8.24	8.02	5.76	8.43
2.00	B2	21.35	20.73	17.29	17.16	14.74	18.79
4.00	B4	21.82	9.55	7.24	2.44	2.75	4.54
5.00	B5	21.82	20.13	18.08	17.74	9.93	12.64
7.00	B7	24.00	8.91	2.36	1.11	0.00	0.00
8.00	B8	24.00	19.86	20.95	20.80	20.70	20.16
10.00	B10	19.71	17.52	12.73	12.98	12.83	12.62
11.00	B11	19.71	17.52	12.73	12.98	12.83	12.62
12.00	B12	23.55	18.90	15.64	17.73	16.45	15.58
13.00	B13	23.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14.00	B14_15	23.95	1.80	20.52	18.61	18.56	18.51
15.00	B17	22.91	20.44	20.44	20.35	20.36	19.33
16.00	B17A	14.16	20.33	19.67	1.02	1.01	1.80
17.00	B18	21.46	20.34	20.34	13.39	13.41	9.22

18.00	B18A	21.46	20.34	20.34	13.39	13.41	9.22
19.00	B19	14.86	14.16	14.19	14.10	14.18	4.83
20.00	B20	14.86	14.16	14.19	14.10	14.18	4.83
21.00	B23	19.40	19.08	19.20	10.02	10.13	8.96
22.00	B24	19.40	19.08	19.20	10.02	10.13	8.96
23.00	B25	23.85	18.38	20.99	20.67	20.76	20.98
24.00	B26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.18
	MÉDIA	417.18	311.23	304.34	246.62	232.10	231.21

Fonte: Autor

Figura4.89 – Número de horas/dia de operação das bombas B1, B2, B4, B5, B7 e B8 por cenário



Fonte: Autor

21) Verifica-se, portanto, que 66,7% das bombas analisadas, atingem no cenário 05 o mínimo de horas/dia trabalhadas, o que vem reforçar o fato desse cenário ser o mais econômico de todos, operacionalmente falando;

22) Como já comentado, as bombas desde a captação até a estação de bombeamento EE1 são responsáveis pela maior parte do consumo energético operacional do sistema, conforme pode ser visto na tab. 4.14 e fig.4.90. Esta tabela mostra que o conjunto de bombas (B1 a B9) apresenta um mínimo de 70,61% do

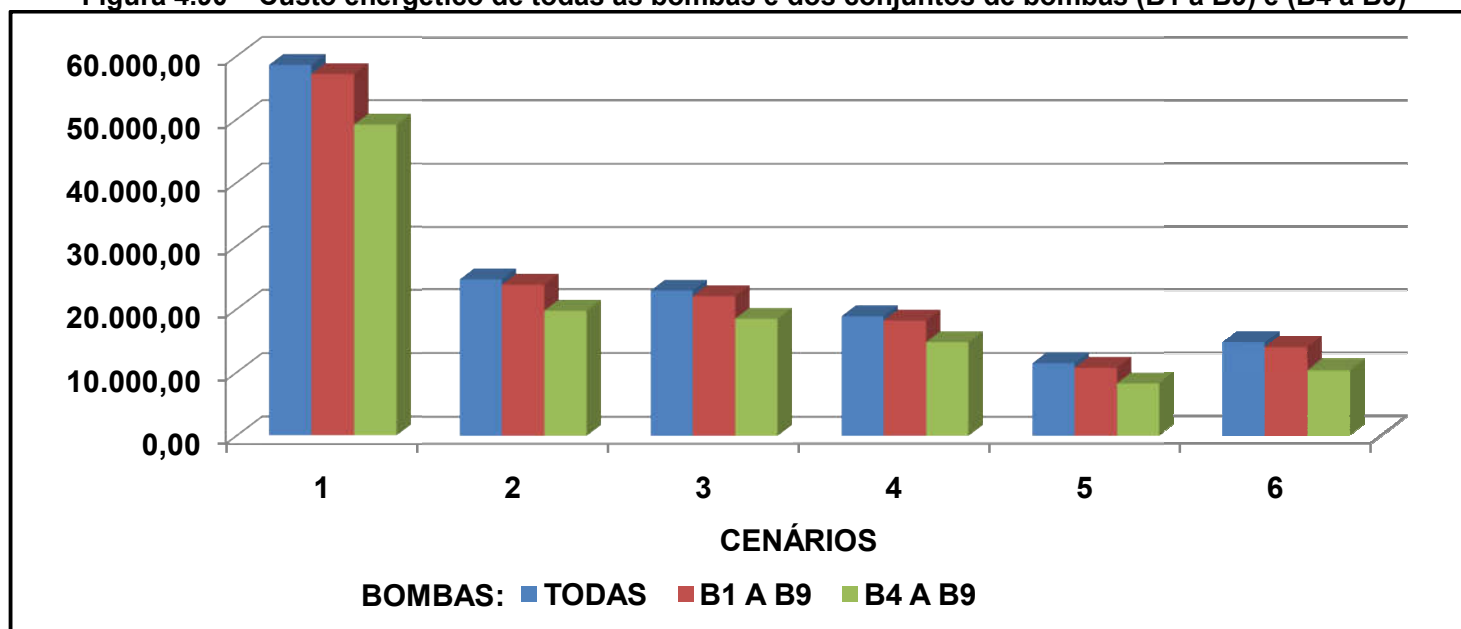
consumo total (cenário 06) e o conjunto (B1 a B9) apresenta um mínimo de 93,77% (cenário 05), donde se conclui que as ações de efficientização energética devem ser focadas no conjunto de bombas (B1 a B9) ou, em segunda opção, no conjunto de bombas (B a B9).

Tabela 4.14 – Custo de operação e percentual do custo dos conjuntos de bombas (B1 a B9) e (B4 a B9) em relação ao total por cenário

BOMBAS	CENÁRIO 01		CENÁRIO 02		CENÁRIO 03		CENÁRIO 04		CENÁRIO 05		CENÁRIO 06	
	R\$	%	R\$	%	R\$	%	R\$	%	R\$	%	R\$	%
TODAS	58.614,38	100,00	24.569,93	100,00	22.809,17	100,00	18.797,53	100,00	11.426,44	100,00	14.643,99	100,00
B1 A B9	57.145,80	97,49	23.723,08	96,55	21.933,55	96,16	18.108,44	96,33	10.714,25	93,77	13.930,85	95,13
B4 A B9	49.160,56	83,87	19.656,59	80,00	18.392,40	80,64	14.731,46	78,37	8.264,25	72,33	10.340,56	70,61

Fonte: Autor

Figura 4.90 – Custo energético de todas as bombas e dos conjuntos de bombas (B1 a B9) e (B4 a B9)



Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da avaliação da metodologia utilizada e da análise dos resultados descortinados nesse estudo de caso, verifica-se que o processo de modelagem e simulação hidráulica, utilizando o EPANET é um método consistente que, se apropriadamente executado poderia se tornar uma indispensável ferramenta de trabalho do engenheiro hidráulico e imprescindível para a otimização dos processos operacionais e de gestão das empresas de saneamento.

A simulação de Cenários com regras simples construídas objetivando atender a demanda, mantendo os reservatórios sempre abastecidos com o menor custo energético, mostrou ser um método eficiente, apresentando resultados coerentes com a realidade de campo, podendo ser aplicado com sucesso em sistemas desse porte.

Verificou-se ser de bom alvitre a divisão do sistema em estudo em subsistemas, no intuito de facilitar as calibração do modelo.

A calibração do modelo com fulcro na média histórica dos níveis de água dos reservatórios, rendeu bons resultados, pois existia um cadastro consistente de medição diária dos níveis dos reservatórios do sistema.

A calibração do modelo se mostrou mais fácil e eficiente quando se partiu das extremidades para o início da rede, na captação.

Com o redimensionamento dos reservatórios, proposto no cenário 04 elimina-se o consumo excessivo encontrado na determinação do cálculo da curva de modulação de consumo após as 21:00 horas, devido ao enchimento das tubulações e caixas de água residenciais, conforme constante do último parágrafo do item 3.4.2.. Com isso, espera-se uma alteração positiva da curva de modulação de consumo, aproximando-se da curva típica preconizada pela literatura especializada.

Tendo em vista a metodologia utilizada neste trabalho recomenda-se que no futuro essa metodologia seja aplicada a esse e a outros sistemas de maior magnitude, buscando-se:

a) Simular e avaliar a possibilidade de substituição das bombas atuais por bombas de menor potência, mantendo as válvulas abertas, sem prejuízo do atendimento da demanda atual;

- b) No caso do sistema adutor da Bacia Leiteira, sugere-se:
- b.1 Simular e avaliar a possibilidade de desativar as estações elevatórias localizadas no Booster de Batalha para Major Isidoro, aumentando a vazão do trecho, através da duplicação da rede Batalha – Major Isidoro e do trecho do reservatório Chaminé – Jaramataia;
 - b.2 Simular e avaliar a influência da duplicação do trecho Poço das Trincheiras – Maravilha na melhoria do abastecimento de Maravilha e Ouro Branco e a implicação dessa alteração no consumo energético do trecho;
- c) Simular sistemas que envolvam outros parâmetros, a exemplo do controle de vazão através da variação da velocidade das bombas pelo uso de conversores de frequência e que levem em consideração a pressão e a velocidade na rede como parâmetros operacionais;
- d) Aplicar essa metodologia em outros sistemas que permitam modelar os reservatórios com alimentação por cima, mantendo invariante a curva do sistema.

Por tudo que foi visto ao longo desse estudo, depreende-se existir um leque grande de possibilidades de melhorias e de efficientização do Sistema Adutor Principal da Bacia Leiteira, dentre as quais se destacam:

1. A atualização do cadastro do Sistema parece ser uma medida administrativa de grande valia nas ações de intervenção no sistema futuramente;
2. O aumento da capacidade de armazenamento pode ser uma boa alternativa para redução de custos operacionais;
3. As análises de operação da adutora de Carneiros sugerem um aumento da capacidade de vazão do referido trecho como uma provável solução de redução do custo operacional, garantindo a demanda;
4. Em toda a rede, um “retrofit” das tubulações antigas poderia representar uma boa alternativa na redução das perdas e redução de custos operacionais;
5. As análises das estações elevatórias sugerem a possibilidade de substituição de algumas das bombas por bombas de potencia menor, sem prejuízo do atendimento da demanda, trabalhando em um ciclo operacional mais contínuo, sem muitos

“liga/desliga”, minimizando tanto o custo operacional mecânico, quanto o custo operacional energético;

6. A implantação de inversores de frequência nas principais estações elevatórias parece ser uma solução que poderia trazer uma representativa redução de custos do sistema;

7. A automação das operações de todo o sistema poderia ser uma solução preponderante para se otimizar a operação em todo o sistema analisado;

REFERÊNCIAS

- NBR 12211:** estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 14 p.
- NBR 12218:** projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 4 p.
- NBR 7675:** tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005, 73 p
- SENERG (1990).** Estudo de Reforço no Sistema Coletivo da Bacia Leiteira. Relatório Técnico da SENERG – Secretaria de Saneamento e Energia.
- ALBANO, G. D.** Integração de um Modelo Matemático de Quantidade de Água em Rede de Fluxo ACQUANET com um Modelo Matemático de Qualidade de Água em Represas (CE-QUALR1). Estudo de Caso: Represa Jaguari-Jacaréi – Sistema Cantareira, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.
- ALMEIDA, R.; FRANCATO, A. L.; BARBOSA, P. S. F.** Algoritmos de Otimização para a Operação em Tempo Real de Sistemas Urbanos de Abastecimento de água. In: **CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA**, 19., 2000, Córdoba, Argentina, 2000. Córdoba, Argentina, 2000.
- ALMEIDA, R.; BARBOSA, P.S.** Efeito da Reservação Inicial Sobre o Desempenho Operacional de Sistemas de Abastecimento de água. In: SEREA, 2., 2000, .
- BANCO NORDESTE.** Perfil dos Estados. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/Investir_no_Nordeste/Perfil_dos_Estados/gerados/al_apresentacao.asp>. Acesso em: 10 out. 2010.
- BARBOSA, P. S. F.; COSTA, A.A.; SANTOS J. S. B. J.** Um algoritmo de programação Linear para Análise de Redes Hidráulicas, RBRH, V.4, n. 4, 1999.
- BARROS, R.T.V. et al.** Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- BRASIL, PNCD-1999. Ministério das Cidades.** Documento Técnico D1. Controle de pressão da rede, PNCD - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, DF.
- BRASIL, PNCD-1999. Ministério das Cidades.** DTA A2. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água. PNCD - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, , Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF. (2004).

CALLADO, N.H. et al. Relatório Técnico do Projeto de Ampliação do Sistema Coletivo da Bacia Leiteira operado pela Companhia de Saneamento de Alagoas. Maceió: CASAL, 2007.

CAMACHO, A.; OLIVEIRA, F.; SOUZA, R.A aplicação do modelo de simulação EPANET no Sistema Regional do Carvoeiro Águas do Vouga. 2003.

CARRIJO, I.B. Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multi-objetivo e aprendizado de máquina. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

CASAL, 2003. Relatório:diagnóstico Técnico e Operacional dos Serviços de água e Esgoto operados pela CASAL elaborado pela Empresa VBA Consultores.

CASAL, 2007. Projeto de Ampliação do Sistema Coletivo da Bacia Leiteira.

CASAL, 2009. Fichariotécnico das bombas do Sistema Adutor da Bacia Leiteira de Alagoas.

CASAL, 2012.Dados de uma medição pitométrica utilizando a maleta LAMON. Setor de pitometriada CASAL.

Cunha, C.Métodos numéricos para as engenharias e ciências aplicadas. Campinas: Editora da Unicampi,1993.

DANTAS, E. A. (2010).Comunicação pessoal do Coordenador de Produção e Distribuição do Sistema adutor da Bacia Leiteira de alagoas, lotado na Unidade de Negócio da Bacia Leiteira, incluindo o fornecimento de fichas de controle operacional dos sistemas de bombeamento, dados da tubulação e dos reservatórios de nível variável.

DELGADO, M. A. B. Relatório gerencial da CASAL. Maceió: CASAL, 2011.

FAZENDA PASSAREDO. Disponível em:
<<http://www.fazendapassaredo.com/rio-sao-francisco.html>>. Acesso em: 29 abr. 2012.

GAIO, M.M.Mecânica computacional aplicada ao abastecimento de água.In:HELLER, L.; PÁDUA, V, L. (Orgs.).**Abastecimento de Água para Consumo Humano.**Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2010.

GALVÃO, C.O.et al. Simulações intensivas de redes de abastecimento de água utilizando o EPANET em grade computacional. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2007.

GOMES, H.P. Sistemas de Abastecimento de água. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2004.

GOMES, H.P.; SALVINO, M. M. Manual do EPANET 2,0: manual do usuário do laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento da UFPB. 2007.

GOMES, H.P.; SILVA, F.C. Viabilidade técnica e econômica da operação de uma rede de distribuição de água sem bombear no horário de ponta. In: SEREA,4., 2004.

GUMIER, C. C.; LUVIZOTTO, Junior, E. Aplicação de Modelo de Simulação, Otimização na Gestão de Perda de água em Sistemas de Abastecimento. Revista de Engenharia Sanitária Ambiental, v. 12, n. 1, pp. 32-41, jan./mar., 2007.

IBGE (2010). Censo Demográfico 2010: documentação do arquivo. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php>. Acesso em: 12 abr. 2011.

JAMES, K.; GODLOVE, C.E.; CAMPBELL, S.L. Água e Energia: aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas de água municipais. Local, editora, 2002. Disponível em: <<http://www.abae.org/arquivos/livro/aguaeenergia.pdf>> Acessado em: 23 dez de 2008.

JOWITT, P.W.XU.C. Optimal Valves Control in Water-Distribution Networks. Journal of Water Resources Planning and Management. **ASCE**. v. 116. n. 4, pp.455-472, 1990.

LACERDA, I.S. Regras de Operação para Sistemas de Abastecimento de água com Baixo Nível de Automação e Sujeitos a Incertezas. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

LACERDA, I. S. Modelagem de transientes no EPANET [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por e-mail(ivonaldolacerda@yahoo.com.br) em 1 de set. 2011.

McCRODDEN, B. J. ; LITTLE, K. W. Minimization of Raw Water Pumping Cost Using MILP. Journal of Water Resources Planning and Management. **ASCE**, v. 115, n. 4, p. 511-522, 1989

MIRANDA, E. C. Gerenciamento de perdas de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (orgs). Abastecimento de Água para Consumo Humano. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2010.

MOURA, V. M. Modelação matemática e sistema de informação geográfica como suporte ao gerenciamento de sistemas de abastecimento de água-subsistema

COOPHEMA de Cuiabá/MT. 2006..Dissertação (Mestrado em engenharia) –, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2006.

NAZARÉ, A.V.B.Análise da Eficiência dos Indicadores Utilizados pela Companhia de Saneamento de Alagoas para Avaliação dos Sistemas de Abastecimento de água.2006.Monografia (Especialização em Gestão de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Santa Catarina; Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

NETTO, J. M. A.; ALVAREZ, G. A. Manual de Hidráulica. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

NIAGARA. Catálogo Técnico. Válvulas de controle para água.Disponível em: <<http://www.niagara.com.br/v2/comercial/valloy01.htm>>.Acesso em: 03 abr. 2011.

PEDROSA F.L.A.Um modelo de operação de sistemas adutores de abastecimento de água com vistas à minimização dos custos energéticos.2006. 160 f. Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

PEDROSA FILHO, L, A. Custo com energia elétrica na operação do Canal do Sertão de Alagoas. Apresentação realizada para a Secretaria de Meio Ambiente. Recursos Hídricos e Naturais em setembro de 2001.Maceió, (2007).

PEDROSA,V.etal.O custo da oferta de água no sistema Bacia Leiteira. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 9., 2008,.

PMSS/SNIS/DSAE. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.Disponível em:<<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=85>>. Ministérios das Cidades, 2008. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2010 – Brasília.

PROCEL(2001) - Manual de Tarifação de Energia Elétrica.Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

RIGHETTO, A. M. Calibração de Modelo Hidráulico de Rede de Distribuição de Água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.,6, n. 3, jul./set., 2001.

SAINT GOBAIN. Catálogo Eletrônico. Disponível em:<<http://www.saint-gobain>> Acesso em: 08 maio 2009.

SANTANA, G.C.Otimização da Operação de Sistemas de Distribuição de água Abastecidos por Bombeamento e Reservatórios de Regularização.1999. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação) - Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação. Universidade de Campinas, Campinas/SP, 1999.

SANTOS, W.P. Comunicação pessoal: Gerente operacional da região metropolitana. Maceió. 2009.

SILVA, F. G. B. Estudos de Calibração de Redes de Distribuição de Água através de Algoritmos Genéticos. 2003. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2003.

SILVA, F. G. B.; VALADÃO, M. N.; BARROS, R. M. Simulação Hidráulica e Redes de Abastecimento De Água com o Uso do EPANET: aplicação em setores de Itajubá/M.G. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, 1.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS. Construção da adutora de água da zona leste de Manaus. Disponível em:
<<http://www.ncpam.com.br/2009/11/construcao-da-adutora-de-agua-da-zona.html>>.
Acesso em: 12 ago. 2011.

VICENTE, R. V. Modelo de operação para centros de controle de sistemas de abastecimento de água: estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo. 2005. 139 f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo/ SP, 2005.

VIEGAS, J. V.; PAZ, M. F.; GASTALDINI, M. C. C.; DANIELLE, R. D.; BARROSO, L. B. Simulação do comportamento hidráulico de redes de abastecimento de água utilizando o modelo EPANET. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28., 2002, Cancún.

VIEIRA, L. L. A.; PIMENTEL, I. M^a. C.; FAIÃO, D.; PEDROSA, V. A. P. A futura oferta de água pelo canal do sertão alagoano. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 9., 2008.

APENDICES

APÊNDICE A – TABELA “A” – DADOS TÉCNICOS DOS DUTOS POR TRECHOS DE REDE

TRECHO ALIMENTANDO	DUTO	COMPRIMENTO (m)	DN	MATERIAL E CLASSE DO TUBO	IDADE DA TUBULAÇÃO (ANOS)	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE (H-W)
DA CAPTAÇÃO PARA EE1	D5	2,00	700	FoFo	> QUE 20	105
	D132	6.320,00	700	FoFo		
	D133_VR_B2	12,53	700	FoFo		
	D134_VR_B1	12,53	700	FoFo		
	D135_VR_B3	12,53	700	FoFo		
	TOTAL	6.357,59	700	FoFo		105
DE EE1 PARA EE2	D6	2,00	700	FoFo	> QUE 20	105
	D9	2,00	700	FoFo		
	D95	3.300,00	700	FoFo		
	D121	2,00	700	FoFo		
	D122	8.900,00	700	FoFo		
	D127	4.000,00	700	FoFo		
	D128_VR_B4	2,00	700	FoFo		
	D129_VR_B5	2,00	700	FoFo		
	D130_VR_B6	2,00	700	FoFo		
TOTAL	16.212,00	700	FoFo	105		
DE EE2 PARA OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	D10	2,00	700	FoFo	> QUE 20	105
	D11	2,00	700	FoFo		
	D116	2,00	700	FoFo		
	D117	8.192,00	700	FoFo		
	D118_VR_B7	2,00	700	FoFo		
	D119_VR_B8	2,00	700	FoFo		
	D120_VR_B9	2,00	700	FoFo		
TOTAL	8.204,00	700	FoFo	105		
DA ADUTORA PARA PÃO DE ACÚCAR	D96	2,00	150	FoFo	> QUE 10	135
	D97	3.000,00	150	FoFo		
	D98	2,00	150	FoFo		
	D99	1,00	150	FoFo		
	TOTAL	3.005,00	150	FoFo		135
DA ADUTORA PARA PALESTINA	D7	2,00	150	DEFoFo	> QUE 10	135
	D8	2,00	150	DEFoFo		
	D126	1,00	150	DEFoFo		
	D129	6.000,00	150	DEFoFo		
	TOTAL	6.005,00	150	FoFo		135
DE OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA SANTANA DE IPANEMA (REDE NOVA)	D67	2,00	400	FoFo	> QUE 20	105
	D47	39,00	400	FoFo		
	D47A	19.959,00	400	FoFo		
	D68	2,00	400	FoFo		
	D40	1,00	400	FoFo		
	TOTAL	20.003,00	400	FoFo		105
DE OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA SANTANA DE IPANEMA (REDE VELHA)	D39	2,00	400	FoFo	> QUE 20	105
	D46	7.000,00	400	FoFo		
	D42	12.998,00	400	FoFo		
	D59	2,00	400	FoFo		
	D41	1,00	400	FoFo		
	TOTAL	20.003,00	400	FoFo		105
DE OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA JACARÉ DOS HOMENS	D12	2,00	400	FoFo	> QUE 20	105
	D15	2,00	400	FoFo		
	D48	9.812,00	400	FoFo		
	D52	1,00	400	FoFo		
	D53	5.886,00	400	FoFo		
	D16	2,00	400	FoFo		
	D53A	5,00	400	FoFo		

	TOTAL	15.710,00	400	FoFo		105
DA ADUTORA PARA MONTEIRÓPOLIS	D13	2,00	150	FoFo	> QUE 20	105
	D14	2,00	150	FoFo		
	D50	1,00	150	FoFo		
	D51	2.000,00	150	FoFo		
	TOTAL	2.005,00	150	FoFo		105
DA ADUTORA PARA BATALHA	D21	2,00	350	FoFo	> QUE 20	105
	D26	2,00	350	FoFo		
	D54	9.719,00	350	FoFo		
	D54A	2,00	350	FoFo		
	D55	1,00	350	FoFo		
	TOTAL	9.726,00	350	FoFo		105
DE BATALHA PARA BOOSTER	D27	2,00	200	FoFo	> QUE 20	105
	D56	20,00	200	FoFo		
	D57_VR_B17A	1,00	200	FoFo		
	D58_VR_B17	1,00	200	FoFo		
	D60	7.248,00	200	FoFo		
	TOTAL	7.272,00	200	FoFo		105
DO BOOSTER PARA JARAMATAIA	D28	2,00	100	DEFoFo	> QUE 20	130
	D31	2,00	100	DEFoFo		
	D61	5,00	100	DEFoFo		
	D63_VR_B23	1,00	100	DEFoFo		
	D64	9.949,00	100	DEFoFo		
	D64A	1,00	100	DEFoFo		
	D66	20,00	100	DEFoFo		
	TOTAL	9.980,00	100	FoFo		130
DO BOOSTER PARA MAJOR ISIDORO	D32	2,00	250	FoFo	> QUE 20	105
	D33	2,00	250	FoFo		
	D65	5,00	250	FoFo		
	D67_VR_B18	1,00	250	FoFo		
	D68_VR_B18A	1,00	250	FoFo		
	D70	15.525,00	250	FoFo		
	D71	7,00	250	FoFo		
	TOTAL	15.543,00	250	FoFo		105
DE MAJOR IZIDORA PARA CACIMBINHAS	D34	2,00	150	DEFoFo	> QUE 20	105
	D35	2,00	150	DEFoFo		
	D72	3,00	150	DEFoFo		
	D73_VR_B19	1,00	150	DEFoFo		
	D74_VR_B20	1,00	150	DEFoFo		
	D76	15.498,00	150	DEFoFo		
	D77	1,00	150	DEFoFo		
	TOTAL	15.508,00	150	FoFo		105
DA ADUTORA PARA SÃO JOSE DA TAPERA (REDE VELHA)	D84	2,00	100	FoFo	> QUE 20	105
	D101	1,00	100	FoFo		105
	D102	2.730,00	100	FoFo		105
	TOTAL	2.733,00	100	FoFo		105
	D103	8.364,00	150	FoFo		105
	D83	2,00	150	FoFo		105
DA ADUTORA PARA SÃO JOSE DA TAPERA (REDE NOVA)	TOTAL	8.366,00	150	FoFo	> QUE 10	135
	D85	2,00	200	DEFoFo		135
	D86	2,00	200	DEFoFo		135
	D105	1,00	200	DEFoFo		135
	D106	11.000,00	200	DEFoFo		135
	TOTAL	11.005,00	200	FoFo		135
DA ADUTORA PARA OLIVENÇA	D44	1,00	150	FoFo	> QUE 20	105
	D45	10.999,00	150	FoFo		
	D57	2,00	150	FoFo		
	D58	2,00	150	FoFo		
	TOTAL	11.004,00	150	FoFo		105
DE S. DE IPANEMA	D38	11.600,00	150	FoFo	> QUE 20	105

PARA DOIS RIACHOS	D39_VR_B14_15	1,00	150	FoFo		
	D62	2,00	150	FoFo		
	D91	2,00	150	FoFo		
	TOTAL	11.605,00	150	FoFo		
DE SANTANA DE IPANEMA PARA POÇO DAS TRINCHEIRAS	D29	1,00	250	FoFo	> QUE 20	105
	D30	9.098,00	250	FoFo		
	D32_VR_B11	1,00	250	FoFo		
	D33_VR_B10	1,00	250	FoFo		
	D73	2,00	250	FoFo		
	D74	2,00	250	FoFo		
TOTAL	9.105,00	250	FoFo	105		
DE POÇO DAS TRINCHEIRA PARA OURO BRANCO	D25	12.258,00	200	FoFo	> QUE 20	105
	D27_VR_B13	1,00	200	FoFo		
	D28_VR_B12	1,00	200	FoFo		
	D75	2,00	200	FoFo		
	TOTAL	12.262,00	200	FoFo		105
	D81	2,00	150	FoFo		
	D82	2,00	150	FoFo		
	D2	1,00	150	FoFo		
	D3	8.739,00	150	FoFo		
TOTAL	8.744,00	150	FoFo	105		
DA ADUTORA PARA MARAVILHA	D23	1,00	150	FoFo	> QUE 20	105
	D24	2,00	150	FoFo		
	D79	48,00	150	FoFo		
	D80	2,00	150	FoFo		
TOTAL	53,00	150	FoFo	105		
DE OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA CARNEIROS	D87	2,00	200	FoFo	> QUE 20	105
	D88	2,00	200	FoFo		
	D107_VR_B25	1,00	200	FoFo		
	D108_VR_B26	1,00	200	FoFo		
	D110	13.000,00	200	FoFo		
	D111	11,00	200	FoFo		
TOTAL	13.017,00	200	FoFo	105		
DE CARNEIROS PARA SENADOR RUI PALMEIRA	D89	2,00	150	DEFoFo	> QUE 20	130
	D90	2,00	150	DEFoFo		
	D113	9.000,00	150	DEFoFo		
	D114	1,00	150	DEFoFo		
TOTAL	9.005,00	150	DEFoFo	130		
DE JACARÉ DOS HOMENS PARA POV. MOTA	D136A	1,00	450	FoFo	> QUE 20	105
	D17	2,00	450	FoFo		
	D136	10.257,00	450	FoFo		
	D18	2,00	450	FoFo		
	D137	2,00	450	FoFo		
	TOTAL	10.264,00	450	FoFo		105
DO POV. MOTA PARA BELO MONTE	D19	2,00	100	DEFoFo	> QUE 10	130
	D138	12.749,00	100	DEFoFo		
	D20	2,00	100	DEFoFo		
	D139	5,00	200	DEFoFo		
TOTAL	12.758,00	200	DEFoFo	130		

Fonte: Autor

Legenda:

DEFoFo = PVC, DIAMETRO EQUIVALENTE AO FoFo

FOFO = FERRO DÚCTIL

Obs.: Nos projetos e relatórios da CASAL constam alguns trechos de FoFo de DN125, mas esta bitola não consta dos catálogos do fabricante.

(*) Trecho OLHO D'ÁGUA DAS FLORES para SÃO JOSÉ DA TAPERA (rede velha).

(**) Trecho OLHO D'ÁGUA DAS FLORES para SÃO JOSÉ DA TAPERA (rede nova).

APÊNDICE B – DADOS PITOMÉTRICOS DO SISTEMA ADUTOR DA BACIA LEITEIRA

LOCAL DE MEDIÇÃO	P (m)	Q (m³/h)	LOCAL DE MEDIÇÃO	P (m)	Q (m³/ h)
SAÍDA DA CAPTAÇÃO	184,00	2,693,00	SAÍDA DO RNV NO POV, MOTA	-	-
ENTRADA DO RNV EM EE1	5,00	2,561,00	ENTRADA DO RNV EM BELO MONTE	-	-
SAÍDA DO RNV EM EE1	113,00	2,670,00	DERIVAÇÃO PARA BATALHA (ANTES DO RNV DE J, DOS HOMENS)	-	-
ENTRADA DO RNV EM EE2	6,00	2,480,00	ENTRADA DO RNV EM BATALHA	5,00	310,00
SAÍDA DO RNV EM EE2	142,00	2,290,00	SAÍDA DA EE DO BOOSTER PARA MAJOR ISIDORO	119,00	95,00
ENTRADA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	13,00	2,139,00	ENTRADA DO RNV EM MAJOR ISIDORO	6,50	59,30
SAÍDA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA CARNEIROS	72,00	134,00	SAÍDA DA EE EM MAJOR ISIDORO	135,00	50,00
ENTRADA DO RNV EM CARNEIROS	11,00	45,00	ENTRADA DO RNV EM CACIMBINHAS	6,00	19,00
SAÍDA DO RNV EM CARNEIROS	-	-	SAÍDA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA SANTANA DO IPANEMA(REDE NOVA)	7,00	410,43
ENTRADA DO RNV EM SENADOR RUI PALMEIRA	5,50	43,00	ENTRADA DO RNV EM SANTANA DO IPANEMA(REDE NOVA)	4,50	84,62
SAÍDA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA SÃO JOSÉ DA TAPERA(REDE NOVA)	-	-	SAÍDA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA SANTANA DO IPANEMA(REDE VELHA)	10,00	580,00
ENTRADA DO RNV EM SÃO JOSÉ DA TAPERA(REDE NOVA)	5,50	51,33	ENTRADA DO RNV EM SANTANA DO IPANEMA(REDE VELHA)	3,00	215,00
SAÍDA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA SÃO JOSÉ DA TAPERA(REDE VELHA)	-	-	SAÍDA DO RNV EM SANTANA DO IPANEMA PARA DOIS RIACHOS	93,00	87,00
ENTRADA DO RNV EM SÃO JOSÉ DA TAPERA(REDE VELHA)	24,50	44,60	ENTRADA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES	-	-
SAÍDA DO RNV EM OLHO D'ÁGUA DAS FLORES PARA JACARÉ DOS HOMENS	3,50	828,00	SAÍDA DA EE EM SANTANA PARA P, DAS TRINCHEIRAS	43,00	164,00
ENTRADA DO RNV EM JACARÉ DOS HOMENS	36,50	173,00	ENTRADA DO RNV EM POÇO DAS TRINCHEIRAS	4,00	82,00
SAÍDA DO RNV EM JACARÉ DOS HOMENS PARA POV, MOTA	-	-	SAÍDA DA EE EM P, DAS TRINCHEIRAS PARA PONTO DE DERIVAÇÃO DE OURO BRANCO E MARAVILHA	81,00	102,00
ENTRADA DO RNV NO POV, MOTA	-	-			
SAIDA DA EE EM BATALHA	98,50	196,00	SAÍDA DOPONTO DE DERIVAÇÃO DE OURO BRANCO E MARAVILHA PARA OURO BRANCO	18,00	47,00
CHEGADA NO BOOSTER	5,00	115,00	ENTRADA DO RNV EM OURO BRANCO	2,50	21,00
SAÍDA DA EE DO BOOSTER PARA JARAMATAIA	120,00	23,00	SAÍDA DOPONTO DE DERIVAÇÃO DE OURO BRANCO E MARAVILHA PARA MARAVILHA	-	-
ENTRADA DO RNV EM JARAMATAIA	19,00	21,00	ENTRADA DO RNV EM MARAVILHA	5,00	59,00

Fonte – CASAL (2010)

APÊNDICE C – PARÂMETROS DE AJUSTE DAS VÁLVULAS “FCV”

CENÁRIO 01

AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE TIPO FCV					
ITEM	IDENTIFICAÇÃO	PARÂMETROS DAS VÁLVULAS FCV's			
		DIÂMETRO (mm)	PARÂMETRO DE CONTROLE (VAZÃO MÁX, PERMITIDA EM L/S)	COEF, DE PERDA DE CARGA SINGULAR	ESTADO FIXO
1	Válvula VC1	211,2	15	15000	NONE
2	Válvula VC2	156,4	4	1000	NONE
3	Válvula VC3	204,2	10,81	0	NONE
4	Válvula VC4	105,8	10,81	0	NONE
5	Válvula VC5	159,6	9	0	NONE
6	Válvula VC6	159,6	8,5	0	NONE
7	Válvula VC7	159,6	7	10000	NONE
8	Válvula VC8	159,6	16	0	NONE
9	Válvula VC9	211,2	18,5	1000	NONE
10	Válvula VC10	108,4	30	0	NONE
11	Válvula VC12	105,8	4,54	0	NONE
12	Válvula VC13	159,6	5	0	NONE
13	Válvula VC14	150,8	9	0	NONE
14	Válvula VC15	159,6	30	0	NONE
15	Válvula VC16	263	23	0	NONE
16	Válvula VC17	416,4	140	0	NONE
17	Válvula VC18	314,6	75	20000	NONE
18	Válvula VC19	716,4	340	0	NONE
19	Válvula VC20	716,4	390	3000	NONE
20	Válvula VC21	716,4	380	6000	NONE
21	Válvula VC22	211,2	30	0	NONE
22	Válvula VC23	159,6	11	0	NONE
23	Válvula VC25	260,4	20	3000	NONE
24	Válvula VC27	156,4	30	0	NONE

CENÁRIO 02

AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE TIPO FCV					
ITEM	IDENTIFICAÇÃO	PARÂMETROS DAS VÁLVULAS FCVs			
		DIÂMETRO (mm)	PARÂMETRO DE CONTROLE (VAZÃO MÁX, PERMITIDA EM L/s)	COEF, DE PERDA DE CARGA SINGULAR	ESTADO FIXO
1	Válvula VC1	211,2	15	15000	NONE
2	Válvula VC2	156,4	4	1000	NONE
3	Válvula VC3	204,2	10,81	0	NONE
4	Válvula VC4	105,8	10,81	0	NONE
5	Válvula VC5	159,6	9	0	NONE
6	Válvula VC6	159,6	8,5	0	NONE
7	Válvula VC7	159,6	7	10000	NONE
8	Válvula VC8	159,6	8	0	NONE
9	Válvula VC9	211,2	18,5	1000	NONE
10	Válvula VC10	108,4	30	0	NONE
11	Válvula VC12	105,8	4,54	0	NONE
12	Válvula VC13	159,6	5	0	NONE
13	Válvula VC14	150,8	9	0	NONE
14	Válvula VC15	159,6	30	0	NONE
15	Válvula VC16	263	23	0	NONE
16	Válvula VC17	416,4	140	0	NONE
17	Válvula VC18	314,6	75	20000	NONE
18	Válvula VC19	716,4	340	0	NONE
19	Válvula VC20	716,4	390	3000	NONE
20	Válvula VC21	716,4	380	6000	NONE
21	Válvula VC22	211,2	30	0	NONE
22	Válvula VC23	159,6	11	0	NONE
23	Válvula VC25	260,4	20	3000	NONE
24	Válvula VC27	156,4	30	0	NONE

CENÁRIO 03

AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE TIPO FCV					
ITEM	IDENTIFICAÇÃO	PARÂMETROS DAS VÁLVULAS FCV's			
		DIÂMETRO (mm)	PARÂMETRO DE CONTROLE (VAZÃO MÁX, PERMITIDA EM L/s)	COEF, DE PERDA DE CARGA SINGULAR	ESTADO FIXO
1	Válvula VC1	211,2	15	5000	NONE
2	Válvula VC2	156,4	4	1000	NONE
3	Válvula VC3	204,2	10,81	0	NONE
4	Válvula VC4	105,8	10,81	0	NONE
5	Válvula VC5	159,6	15	0	NONE
6	Válvula VC6	159,6	15	0	NONE
7	Válvula VC7	159,6	7	500	NONE
8	Válvula VC8	159,6	16	0	NONE
9	Válvula VC9	211,2	30	0	NONE
10	Válvula VC10	108,4	30	0	NONE
11	Válvula VC12	105,8	4,54	0	NONE
12	Válvula VC13	159,6	5	0	NONE
13	Válvula VC14	150,8	9	0	NONE
14	Válvula VC15	159,6	30	0	NONE
15	Válvula VC16	263	23	0	NONE
16	Válvula VC17	416,4	140	0	NONE
17	Válvula VC18	314,6	75	10000	NONE
18	Válvula VC19	716,4	400	0	NONE
19	Válvula VC20	716,4	500	0	NONE
20	Válvula VC21	716,4	450	0	NONE
21	Válvula VC22	211,2	30	0	NONE
22	Válvula VC23	159,6	11	0	NONE
23	Válvula VC25	260,4	30	0	NONE
24	Válvula VC27	156,4	30	0	NONE

CENÁRIO 04

AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE TIPO FCV					
ITEM	IDENTIFICAÇÃO	PARÂMETROS DAS VÁLVULAS FCVs			
		DIÂMETRO (mm)	PARÂMETRO DE CONTROLE (VAZÃO MÁX. PERMITIDA EM L/S)	COEF. DE PERDA DE CARGA SINGULAR	ESTADO FIXO
1	Válvula VC1	211,2	15	15000	NONE
2	Válvula VC2	156,4	4	1000	NONE
3	Válvula VC3	204,2	10,81	0	NONE
4	Válvula VC4	105,8	10,81	0	NONE
5	Válvula VC5	159,6	15	0	NONE
6	Válvula VC6	159,6	15	0	NONE
7	Válvula VC7	159,6	7	500	NONE
8	Válvula VC8	159,6	16	0	NONE
9	Válvula VC9	211,2	30	0	NONE
10	Válvula VC10	108,4	30	0	NONE
11	Válvula VC12	105,8	10	0	NONE
12	Válvula VC13	159,6	5	0	NONE
13	Válvula VC14	150,8	9	0	NONE
14	Válvula VC15	159,6	30	0	NONE
15	Válvula VC16	263	40	0	NONE
16	Válvula VC17	416,4	140	0	NONE
17	Válvula VC18	314,6	75	10000	NONE
18	Válvula VC19	716,4	400	0	NONE
19	Válvula VC20	716,4	500	0	NONE
20	Válvula VC21	716,4	450	0	NONE
21	Válvula VC22	211,2	30	0	NONE
22	Válvula VC23	159,6	11	0	NONE
23	Válvula VC25	260,4	30	0	NONE
24	Válvula VC27	156,4	30	0	NONE

CENÁRIO 05

AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE TIPO FCV					
ITEM	IDENTIFICAÇÃO	PARÂMETROS DAS VÁLVULAS FCVs			
		DIÂMETRO (mm)	PARÂMETRO DE CONTROLE (VAZÃO MÁX. PERMITIDA EM L/S)	COEF. DE PERDA DE CARGA SINGULAR	ESTADO FIXO
1	Válvula VC1	211,2	15	15000	NONE
2	Válvula VC2	156,4	4	1000	NONE
3	Válvula VC3	204,2	10,81	0	NONE
4	Válvula VC4	105,8	10,81	0	NONE
5	Válvula VC5	159,6	15	0	NONE
6	Válvula VC6	159,6	15	0	NONE
7	Válvula VC7	159,6	7	500	NONE
8	Válvula VC8	159,6	16	0	NONE
9	Válvula VC9	211,2	30	0	NONE
10	Válvula VC10	108,4	30	0	NONE
11	Válvula VC12	105,8	10	0	NONE
12	Válvula VC13	159,6	5	0	NONE
13	Válvula VC14	150,8	9	0	NONE
14	Válvula VC15	159,6	30	0	NONE
15	Válvula VC16	263	40	0	NONE
16	Válvula VC17	416,4	140	0	NONE
17	Válvula VC18	314,6	75	10000	NONE
18	Válvula VC19	716,4	400	0	OPEN
19	Válvula VC20	716,4	500	0	OPEN
20	Válvula VC21	716,4	450	0	OPEN
21	Válvula VC22	211,2	30	0	NONE
22	Válvula VC23	159,6	11	0	NONE
23	Válvula VC25	260,4	30	0	NONE
24	Válvula VC27	156,4	30	0	NONE

CENÁRIO 06

AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS VÁLVULAS DE CONTROLE TIPO FCV					
ITEM	IDENTIFICAÇÃO	PARÂMETROS DAS VÁLVULAS FCV's			
		DIÂMETRO (mm)	PARÂMETRO DE CONTROLE (VAZÃO MÁX. PERMITIDA EM L/S)	COEF. DE PERDA DE CARGA SINGULAR	ESTADO FIXO
1	Válvula VC1	211,2	15	15000	OPEN
2	Válvula VC2	156,4	4	1000	OPEN
3	Válvula VC3	204,2	10.81	0	OPEN
4	Válvula VC4	105,8	10.81	0	OPEN
5	Válvula VC5	159,6	15	0	OPEN
6	Válvula VC6	159,6	15	0	OPEN
7	Válvula VC7	159,6	7	500	OPEN
8	Válvula VC8	159,6	16	0	OPEN
9	Válvula VC9	211,2	30	0	OPEN
10	Válvula VC10	108,4	30	0	OPEN
11	Válvula VC12	105,8	10	0	OPEN
12	Válvula VC13	159,6	5	0	OPEN
13	Válvula VC14	150,8	9	0	OPEN
14	Válvula VC15	159,6	30	0	OPEN
15	Válvula VC16	263	40	0	OPEN
16	Válvula VC17	416,4	140	0	OPEN
17	Válvula VC18	314,6	75	10000	OPEN
18	Válvula VC19	716,4	400	0	OPEN
19	Válvula VC20	716,4	500	0	OPEN
20	Válvula VC21	716,4	450	0	OPEN
21	Válvula VC22	211,2	30	0	OPEN
22	Válvula VC23	159,6	11	0	OPEN
23	Válvula VC25	260,4	30	0	OPEN
24	Válvula VC27	156,4	30	0	OPEN

APÊNDICED – REGRAS OU CONTROLES PROGRAMADOS

REGRAS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 01
CONDIÇÕES: OPERAR O SISTEMA OBJETIVANDO A GARANTIA DA DEMANDA SEM PREOCUPAR-SE COMO O CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA,

RULE 00 "CAPTAÇÃO PARA EE1"
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 10
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL <= 3,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 20 "DE EE1 PARA EE2"
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS CLOSED

RULE 25
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS OPEN

RULE 30 "DE EE2 PARA PAO DE AÇUCAR"
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR_SAE LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D35 STATUS IS CLOSED

RULE 35
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR_SAE LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D35 STATUS IS OPEN

RULE 40 "DE EE2 PARA PALESTINA"
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,2
 THEN LINK D7 STATUS IS CLOSED
 ELSE LINK D7 STATUS IS OPEN

RULE 60 "EE2 PARA OLHO D'ÁGUA"
 IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS CLOSED

RULE 70
 IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 2,5
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS OPEN
 PRIORITY 01

RULE 80 "ALIMENTAÇÃO DE OLIVENÇA"
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL >= 4,10
 THEN LINK D45 STATUS IS CLOSED

RULE 90
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL <= 0,50
 THEN LINK D45 STATUS IS OPEN

RULE 100
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL >= 6,2
 THEN LINK D83 STATUS IS CLOSED

RULE 110
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL <= 4,0
 THEN LINK D83 STATUS IS OPEN

RULE 120
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_N0V0 LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D85 STATUS IS CLOSED

RULE 130
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_N0V0 LEVEL <= 2,5
 THEN LINK D85 STATUS IS OPEN

RULE 140
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D47A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 141
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL <= 2,0
 THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
 AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 145
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL <= 1
 THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
 AND LINK D42 STATUS IS OPEN

RULE 150
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 3,1
 THEN PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED

RULE 160
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL <= 0,5
 THEN PUMP B10 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B11 STATUS IS OPEN

RULE 170 "ALIMENTAÇÃO DE MARAVILHA E OURO BRANCO"
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL >= 3,0
 AND TANK RNV:MARAVILHA LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 01

RULE 180
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,5

AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED

RULE 185
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 190
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,2
 OR TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 200 "ALIMENTAÇÃO DO RNV:AREIA_BRANCA"
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL >= 2,80
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED

RULE 220
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS OPEN

RULE 240
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL >= 6
 THEN LINK D51 STATUS IS CLOSED

RULE 250
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL <= 3
 THEN LINK D51 STATUS IS OPEN

RULE 260
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D53A STATUS IS CLOSED

RULE 270

IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL <= 2,15
THEN LINK D53A STATUS IS OPEN

RULE 300 "ALIMENTACAO DE BELO MONTE"
IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL >= 1,5
THEN LINK D139 STATUS IS CLOSED

RULE 310
IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL <= 1,2
THEN LINK D139 STATUS IS OPEN

RULE 320
IF TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 4,1
THEN LINK D55 STATUS IS CLOSED

RULE 330
IF TANK RNV:BATALHA LEVEL <= 0,5
THEN LINK D55 STATUS IS OPEN

RULE 332
IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL >= 15,8
THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
AND LINK D27A STATUS IS CLOSED

RULE 334
IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 8
AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
AND LINK D27A STATUS IS OPEN
PRIORITY 1

RULE 335
IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 3,0
AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
AND LINK D27A STATUS IS OPEN
PRIORITY 1

RULE 340
IF TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL >= 4,1
THEN LINK D65 STATUS IS CLOSED

AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED

RULE 350
IF TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL <= 2,0
AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
AND PUMP B18 STATUS IS OPEN
AND PUMP B18A STATUS IS OPEN
AND LINK D65 STATUS IS OPEN

RULE 360
IF TANK RNV:JARAMATAIA LEVEL <= 0,5
AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
AND PUMP B23 STATUS IS OPEN
AND PUMP B24 STATUS IS OPEN
AND LINK D61 STATUS IS OPEN

RULE 380
IF TANK RNV:JARAMATAIA LEVEL >= 3,1
THEN LINK D61 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED

RULE 390 "BOOSTER"
IF PUMP B23 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
AND LINK D61 STATUS IS CLOSED
AND LINK D65 STATUS IS CLOSED

RULE 400
IF TANK RNV:CACIMBINHAS LEVEL >= 4,1
THEN PUMP B19 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED

RULE 410
IF TANK RNV:CACIMBINHAS LEVEL <= 2,0
AND TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL >= 0,20

REGRAS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 02
--

CONDIÇÕES: OPERAR O SISTEMA COM BASE NO CENÁRIO 01, DESLIGANDO AS BOMBAS NO HORÁRIO DE PONTA E DESLIGANDO, TAMBÉM, AS BOMBAS B1, B4 E B7 NO HORÁRIO DAS 21:00 HORAS ATÉ ÀS 8:00 HORAS DO DIA SEGUINTE,
--

RULE 00
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 12 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 8 AM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 02
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN

RULE 04
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN

RULE 06
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN

RULE 08
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 9 PM
 THEN PUMP B2 STATUS IS CLOSED

AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B19 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B25 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 12
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 11:59 PM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 15 "CAPTACAO PARA EE1"
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 20

IF TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 25 "DE EE1 PARA EE2"

IF TANK RNV:EE2 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS CLOSED

RULE 30

IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS OPEN

RULE 35 "ALIMENTAÇÃO DE PÃO DE AÇÚCAR"

IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR_SAAE LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D97 STATUS IS CLOSED

RULE 40

IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR_SAAE LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D97 STATUS IS OPEN

RULE 45 "ALIMENTAÇÃO DE PALESTINA"

IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,2
 THEN LINK D7 STATUS IS CLOSED
 ELSE LINK D7 STATUS IS OPEN

RULE 50 "EE2 PARA OLHO D'ÁGUA"

IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS CLOSED

RULE 70

IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 1

AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS OPEN

RULE 80 "ALIMENTAÇÃO DE OLIVENÇA"

IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL >= 4,10
 THEN LINK D45 STATUS IS CLOSED

RULE 90

IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL <= 0,50
 THEN LINK D45 STATUS IS OPEN

RULE 100

IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL >= 6,2
 THEN LINK D83 STATUS IS CLOSED

RULE 110

IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL <= 4,0
 THEN LINK D83 STATUS IS OPEN

RULE 120

IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D85 STATUS IS CLOSED

RULE 130

IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL <= 2,5
 THEN LINK D85 STATUS IS OPEN

RULE 140

IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D47A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 141

IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL <= 2,0
 THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
 AND LINK D42 STATUS IS OPEN

RULE 150

IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 3,1
 THEN PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED

RULE 160
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B10 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B11 STATUS IS OPEN

RULE 170 "ALIMENTAÇÃO DE MARAVILHA E OURO BRANCO"
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL >= 3,0
 AND TANK RNV:MARAVILHA LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 01

RULE 180
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED

RULE 185
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 190
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,20
 OR TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,20
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 200 "ALIMENTAÇÃO DO RNV:AREIA_BRANCA"
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL >= 2,80
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED

RULE 220
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS OPEN

RULE 240
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL >= 6
 THEN LINK D51 STATUS IS CLOSED

RULE 250
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL <= 3
 THEN LINK D51 STATUS IS OPEN

RULE 260
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D53A STATUS IS CLOSED

RULE 270
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL <= 2,15
 THEN LINK D53A STATUS IS OPEN

RULE 300 "ALIMENTAÇÃO DE BELO MONTE"
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL >= 1,0
 THEN LINK D139 STATUS IS CLOSED

RULE 310
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D139 STATUS IS OPEN

RULE 320
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D55 STATUS IS CLOSED

RULE 330
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D55 STATUS IS OPEN

RULE 332
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL >= 15,8
 THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D27A STATUS IS CLOSED

RULE 334
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 8

AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D27A STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 335
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
 AND LINK D27A STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 340
 IF TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D65 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED

RULE 350
 IF TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
 AND PUMP B18 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B18A STATUS IS OPEN
 AND LINK D65 STATUS IS OPEN

RULE 360
 IF TANK RNV:JARAMATAIA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
 AND PUMP B23 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B24 STATUS IS OPEN
 AND LINK D61 STATUS IS OPEN

RULE 380
 IF TANK RNV:JARAMATAIA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D61 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED

RULE 390 "BOOSTER"

IF PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
 THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D61 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D65 STATUS IS CLOSED

RULE 400
 IF TANK RNV:CACIMBINHAS LEVEL >= 4,1
 THEN PUMP B19 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED

RULE 410
 IF TANK RNV:CACIMBINHAS LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B19 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B20 STATUS IS OPEN

RULE 420 "ALIMENTACAO DE CARNEIROS"
 IF TANK RNV:CARNEIROS LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B25 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED

RULE 430
 IF TANK RNV:CARNEIROS LEVEL <= 1
 AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B25 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED

RULE 440 "ALIMENTACAO DE SEN RUI PALMEIRA"
 IF TANK RNV:SEN_R_PALMEIRA LEVEL >= 3,5
 THEN LINK D43 STATUS IS CLOSED

RULE 450
 IF TANK RNV:SEN_R_PALMEIRA LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:CARNEIROS LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D43 STATUS IS OPEN
 RULE 460
 "PERIODO_ALIMENTACAO_R_PALMEIRA_
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 5 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
 THEN LINK D43 STATUS IS CLOSED
 ELSE LINK D43 STATUS IS OPEN

#####

REGRAS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 03
CONDIÇÕES: OPERAR AS BOMBAS O MAIS PRÓXIMO POSSÍVEL DO REGIME DE OPERAÇÃO DE CAMPO

IF SYSTEM CLOCKTIME > 12 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 8 AM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 02

IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN

RULE 04

IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN

RULE 06

IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN

RULE 08

IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 9 PM
 THEN PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED

AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B19 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B25 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 12

IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 11:59 PM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 15 "CAPTACAO PARA EE1"

IF TANK RNV:EE1 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 20

IF TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 25 "DE EE1 PARA EE2"
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS CLOSED

RULE 30
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS OPEN

RULE 35 "ALIMENTAÇÃO DE PÃO DE AÇÚCAR"
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR_SAE LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D97 STATUS IS CLOSED

RULE 40
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR_SAE LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D97 STATUS IS OPEN

RULE 45 "ALIMENTAÇÃO DE PALESTINA"
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,2
 THEN LINK D7 STATUS IS CLOSED
 ELSE LINK D7 STATUS IS OPEN

RULE 50 "EE2 PARA OLHO D'ÁGUA"
 IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS CLOSED

RULE 70
 IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS OPEN

RULE 80 "ALIMENTAÇÃO DE OLIVENÇA"

IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL >= 4,10
 THEN LINK D45 STATUS IS CLOSED

RULE 90
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL <= 0,50
 THEN LINK D45 STATUS IS OPEN

RULE 100
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL >= 6,2
 THEN LINK D83 STATUS IS CLOSED

RULE 110
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL <= 4,0
 THEN LINK D83 STATUS IS OPEN

RULE 120
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D85 STATUS IS CLOSED

RULE 130
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL <= 2,5
 THEN LINK D85 STATUS IS OPEN

RULE 140
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D47A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 141
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL <= 2,0
 THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
 AND LINK D42 STATUS IS OPEN

RULE 150
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 3,1
 THEN PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED

RULE 160
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B10 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B11 STATUS IS OPEN

RULE 170 "ALIMENTAÇÃO DE MARAVILHA E OURO BRANCO"

IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL >= 3,0
 AND TANK RNV:MARAVILHA LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 01

RULE 180
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED

RULE 185
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 190
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,20
 OR TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,20
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 200 "ALIMENTAÇÃO DO RNV:AREIA_BRANCA"
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL >= 2,80
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED

RULE 220
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL <= 0,50
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS OPEN

RULE 240
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL >= 6
 THEN LINK D51 STATUS IS CLOSED

RULE 250
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL <= 3
 THEN LINK D51 STATUS IS OPEN

RULE 260
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D53A STATUS IS CLOSED

RULE 270
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL <= 2,15
 THEN LINK D53A STATUS IS OPEN

RULE 300 "ALIMENTAÇÃO DE BELO MONTE"
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL >= 1,0
 THEN LINK D139 STATUS IS CLOSED

RULE 310
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D139 STATUS IS OPEN

RULE 320
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D55 STATUS IS CLOSED

RULE 330
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D55 STATUS IS OPEN

RULE 332
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL >= 15,8
 THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D27A STATUS IS CLOSED

RULE 334
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 8
 AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D27A STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 335
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 2,0

AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
 AND LINK D27A STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 340
 IF TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D65 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED

RULE 350
 IF TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
 AND PUMP B18 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B18A STATUS IS OPEN
 AND LINK D65 STATUS IS OPEN

RULE 360
 IF TANK RNV:JARAMATAIA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B17A STATUS IS OPEN
 AND PUMP B23 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B24 STATUS IS OPEN
 AND LINK D61 STATUS IS OPEN

RULE 380
 IF TANK RNV:JARAMATAIA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D61 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED

RULE 390 "BOOSTER"
 IF PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
 THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D61 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D65 STATUS IS CLOSED

RULE 400
 IF TANK RNV:CACIMBINHAS LEVEL >= 4,1
 THEN PUMP B19 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED

RULE 410
 IF TANK RNV:CACIMBINHAS LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:M_ISIDORO LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B19 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B20 STATUS IS OPEN

RULE 420 "ALIMENTACAO DE CARNEIROS"
 IF TANK RNV:CARNEIROS LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B25 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED

RULE 430
 IF TANK RNV:CARNEIROS LEVEL <= 1
 AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 0,2
 THEN PUMP B25 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED

RULE 440 "ALIMENTAÇÃO DE SEN RUI PALMEIRA"
 IF TANK RNV:SEN_R_PALMEIRA LEVEL >= 3,5
 THEN LINK D43 STATUS IS CLOSED

RULE 450
 IF TANK RNV:SEN_R_PALMEIRA LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:CARNEIROS LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D43 STATUS IS OPEN

RULE 460 "PERIODO_ALIMENTACAO_R_PALMEIRA_
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 5 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
 THEN LINK D43 STATUS IS CLOSED
 ELSE LINK D43 STATUS IS OPEN

#####

REGRAS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 04
CONDIÇÕES: COM BASE NO CENÁRIO 03, REDIMENSIONAR OS RESERVATÓRIOS PELO MÉTODO DA SENÓIDE

RULE 00
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 12 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 8 AM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 02
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN

RULE 04
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN

RULE 06
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
 AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN

RULE 08
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 9 PM
 THEN PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED

AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B19 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B25 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 12
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 11:59 PM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 15 "CAPTACAO PARA EE1"
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 20
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN

AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 25 "DE EE1 PARA EE2"
IF TANK RNV:EE2 LEVEL \geq 4,6
THEN PUMP B4 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
AND LINK D122 STATUS IS CLOSED

RULE 30
IF TANK RNV:EE2 LEVEL \leq 0,5
AND TANK RNV:EE1 LEVEL \geq 0,20
THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
AND LINK D122 STATUS IS OPEN

RULE 35 "ALIMENTAÇÃO DE PÃO DE AÇÚCAR"
IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR LEVEL \geq 3,1
THEN LINK D97 STATUS IS CLOSED

RULE 40
IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR LEVEL \leq 0,2
AND TANK RNV:EE2 LEVEL \geq 0,2
THEN LINK D97 STATUS IS OPEN

RULE 45 "ALIMENTAÇÃO DE PALESTINA"
IF TANK RNV:EE2 LEVEL \leq 0,2
THEN LINK D7 STATUS IS CLOSED
ELSE LINK D7 STATUS IS OPEN

RULE 50 "EE2 PARA OLHO D'ÁGUA"
IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL \geq 4,6
THEN PUMP B7 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
AND LINK D117 STATUS IS CLOSED

RULE 70
IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL \leq 2,0
AND TANK RNV:EE2 LEVEL \geq 0,20
THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED

AND LINK D117 STATUS IS OPEN

RULE 80 "ALIMENTAÇÃO DE OLIVENÇA"
IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL \geq 4,10
THEN LINK D45 STATUS IS CLOSED

RULE 90
IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL \leq 0,50
THEN LINK D45 STATUS IS OPEN

RULE 100
IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL \geq 6,2
THEN LINK D83 STATUS IS CLOSED

RULE 110
IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL \leq 4,0
THEN LINK D83 STATUS IS OPEN

RULE 120
IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL \geq 3,3
THEN LINK D85 STATUS IS CLOSED

RULE 130
IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL \leq 2,5
THEN LINK D85 STATUS IS OPEN

RULE 140
IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL \geq 3,1
THEN LINK D47A STATUS IS CLOSED
AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 141
IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL \leq 2,0
THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
AND LINK D42 STATUS IS OPEN

RULE 150
IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL \geq 3,1
THEN PUMP B10 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED

RULE 160
IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL \leq 1,0
AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL \geq 0,20
THEN PUMP B10 STATUS IS OPEN

AND PUMP B11 STATUS IS OPEN

RULE 170 "ALIMENTAÇÃO DE MARAVILHA E OURO BRANCO"

IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL >= 3,0
AND TANK RNV:MARAVILHA LEVEL >= 3,0
THEN PUMP B12 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
AND LINK D23 STATUS IS CLOSED
PRIORITY 01

RULE 180

IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,5
AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
AND LINK D2 STATUS IS OPEN
AND LINK D23 STATUS IS CLOSED

RULE 185

IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,5
AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 190

IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,20
OR TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,20
AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
AND LINK D2 STATUS IS OPEN
AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 200 "ALIMENTAÇÃO DO RNV:AREIA_BRANCA"

IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL >= 2,80
THEN PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED

RULE 220

IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL <= 0,50
AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
THEN PUMP B14_15 STATUS IS OPEN

RULE 240

IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL >= 6
THEN LINK D51 STATUS IS CLOSED

RULE 250

IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL <= 3
THEN LINK D51 STATUS IS OPEN

RULE 260

IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL >= 4,1
THEN LINK D53A STATUS IS CLOSED

RULE 270

IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL <= 2,15
THEN LINK D53A STATUS IS OPEN

RULE 300 "ALIMENTAÇÃO DE BELO MONTE"

IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL >= 1,0
THEN LINK D139 STATUS IS CLOSED

RULE 310

IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL <= 0,5
THEN LINK D139 STATUS IS OPEN

RULE 320

IF TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 4,1
THEN LINK D55 STATUS IS CLOSED

RULE 330

IF TANK RNV:BATALHA LEVEL <= 0,5
THEN LINK D55 STATUS IS OPEN

RULE 332

IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL >= 15,8
THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
AND LINK D27A STATUS IS CLOSED

RULE 334

IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL <= 8
AND TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 0,2
THEN PUMP B17 STATUS IS OPEN
AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
AND LINK D27A STATUS IS OPEN

REGRAS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 05

**CONDIÇÕES: RESERVATÓRIOS REDIMENSIONADOS E VALVULAS FCVs
DO TRECHO DESDE A CAPTAÇÃO ATÉ OLHO D'ÁGUA DAS FLORES
ABERTAS**

RULE 00
IF SYSTEM CLOCKTIME > 6 PM
AND SYSTEM CLOCKTIME <= 11:59 PM
THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
PRIORITY 1

RULE 01
IF SYSTEM CLOCKTIME > 12 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 8 AM
THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
PRIORITY 1

RULE 02
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
AND TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0
THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
PRIORITY 1

RULE 04
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
AND TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
PRIORITY 1

RULE 06
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 1,0
AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20

THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
PRIORITY 1

RULE 08
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
AND SYSTEM CLOCKTIME <= 9 PM
THEN PUMP B2 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B10 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B12 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B17 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
AND PUMP B19 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B25 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED
PRIORITY 1

RULE 15 "CAPTACAO PARA EE1"
IF TANK RNV:EE1 LEVEL >= 4,6
THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED
AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 20
IF TANK RNV:EE1 LEVEL <= 1,0

THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 25 "DE EE1 PARA EE2"
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS CLOSED

RULE 30
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS OPEN

RULE 35 "ALIMENTAÇÃO DE PÃO DE AÇÚCAR"
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D97 STATUS IS CLOSED

RULE 40
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D97 STATUS IS OPEN

RULE 45 "ALIMENTAÇÃO DE PALESTINA"
 IF TANK RNV:PALESTINA LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D7 STATUS IS CLOSED

RULE 48
 IF TANK RNV:PALESTINA LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D7 STATUS IS OPEN

RULE 50 "EE2 PARA OLHO D'ÁGUA"
 IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS CLOSED

RULE 70

IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS OPEN

RULE 80 "ALIMENTAÇÃO DE OLIVENÇA"
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL >= 4,10
 THEN LINK D45 STATUS IS CLOSED

RULE 90
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL <= 0,50
 THEN LINK D45 STATUS IS OPEN

RULE 100
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL >= 6,2
 THEN LINK D83 STATUS IS CLOSED

RULE 110
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL <= 4,0
 THEN LINK D83 STATUS IS OPEN

RULE 120
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_N0V0 LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D85 STATUS IS CLOSED

RULE 130
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_N0V0 LEVEL <= 2,5
 THEN LINK D85 STATUS IS OPEN

RULE 140
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D47A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 141
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL <= 2,0
 THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
 AND LINK D42 STATUS IS OPEN

RULE 150
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 3,1
 THEN PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED

RULE 160
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B10 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B11 STATUS IS OPEN

RULE 170 "ALIMENTAÇÃO DE MARAVILHA E OURO BRANCO"
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL >= 3,0
 AND TANK RNV:MARAVILHA LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 01

RULE 180
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED

RULE 185
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 190
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,20
 OR TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,20
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 200 "ALIMENTAÇÃO DO RNV:AREIA_BRANCA"
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL >= 2,80
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED

RULE 220
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL <= 0,50
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS OPEN

RULE 240
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL >= 6
 THEN LINK D51 STATUS IS CLOSED

RULE 250
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL <= 3
 THEN LINK D51 STATUS IS OPEN

RULE 260
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D53A STATUS IS CLOSED

RULE 270
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL <= 2,15
 THEN LINK D53A STATUS IS OPEN

RULE 300 "ALIMENTAÇÃO DE BELO MONTE"
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL >= 1,0
 THEN LINK D139 STATUS IS CLOSED

RULE 310
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D139 STATUS IS OPEN

RULE 320
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D55 STATUS IS CLOSED

RULE 330
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D55 STATUS IS OPEN

RULE 332
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL >= 15,8
 THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D27A STATUS IS CLOSED

RULE 334

REGRAS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 06
CONDIÇÕES: COM BASE NO CENÁRIO 05 ABRIR TODAS AS DEMAIS VÁLVULAS FCV'S, COLOCANDO-AS NA CONDIÇÃO DE "OPEN"

FULE 00
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 11:59 PM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 01
 IF SYSTEM CLOCKTIME > 12 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME < 8 AM
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 02
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL <= 2,0
 THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 04
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 06
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 6 PM
 AND TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20

THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
 PRIORITY 1

RULE 08
 IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
 AND SYSTEM CLOCKTIME <= 9 PM
 THEN PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B18A STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B19 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B20 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B23 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B24 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B25 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B26 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 1

RULE 15 "CAPTACAO PARA EE1"
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B1 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B2 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 20
 IF TANK RNV:EE1 LEVEL <= 3,5

THEN PUMP B1 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B2 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B3 STATUS IS CLOSED

RULE 25 "DE EE1 PARA EE2"
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B4 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B5 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS CLOSED

RULE 30
 IF TANK RNV:EE2 LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:EE1 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B4 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B5 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B6 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D122 STATUS IS OPEN

RULE 35 "ALIMENTAÇÃO DE PÃO DE AÇÚCAR"
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D97 STATUS IS CLOSED

RULE 40
 IF TANK RNV:PAO_AÇUCAR LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D97 STATUS IS OPEN

RULE 45 "ALIMENTAÇÃO DE PALESTINA"
 IF TANK RNV:PALESTINA LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D7 STATUS IS CLOSED

RULE 48
 IF TANK RNV:PALESTINA LEVEL <= 0,2
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,2
 THEN LINK D7 STATUS IS OPEN

RULE 50 "EE2 PARA OLHO D'ÁGUA"
 IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL >= 4,6
 THEN PUMP B7 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B8 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS CLOSED

RULE 70

IF TANK RNV:O_DAGUA_FLORES LEVEL <= 2,0
 AND TANK RNV:EE2 LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B7 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B8 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B9 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D117 STATUS IS OPEN

RULE 80 "ALIMENTAÇÃO DE OLIVENÇA"
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL >= 4,10
 THEN LINK D45 STATUS IS CLOSED

RULE 90
 IF TANK RNV:OLIVENÇA LEVEL <= 0,50
 THEN LINK D45 STATUS IS OPEN

RULE 100
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL >= 6,2
 THEN LINK D83 STATUS IS CLOSED

RULE 110
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_VELHO LEVEL <= 4,0
 THEN LINK D83 STATUS IS OPEN

RULE 120
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL >= 3,3
 THEN LINK D85 STATUS IS CLOSED

RULE 130
 IF TANK RNV:S_J_TAPERA_NOV0 LEVEL <= 2,5
 THEN LINK D85 STATUS IS OPEN

RULE 140
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 3,1
 THEN LINK D47A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D42 STATUS IS CLOSED

RULE 141
 IF TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL <= 2,0
 THEN LINK D47A STATUS IS OPEN
 AND LINK D42 STATUS IS OPEN

RULE 150
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 3,1
 THEN PUMP B10 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B11 STATUS IS CLOSED

RULE 160
 IF TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL <= 1,0
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B10 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B11 STATUS IS OPEN

RULE 170 "ALIMENTAÇÃO DE MARAVILHA E OURO
 BRANCO"
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL >= 3,0
 AND TANK RNV:MARAVILHA LEVEL >= 3,0
 THEN PUMP B12 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED
 PRIORITY 01

RULE 180
 IF TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS CLOSED

RULE 185
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,5
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D2 STATUS IS CLOSED
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 190
 IF TANK RNV:MARAVILHA LEVEL <= 0,20
 OR TANK RNV:O_BRANCO LEVEL <= 0,20
 AND TANK RNV:P_TRINCHEIRAS LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B12 STATUS IS OPEN
 AND PUMP B13 STATUS IS OPEN
 AND LINK D2 STATUS IS OPEN
 AND LINK D23 STATUS IS OPEN

RULE 200 "ALIMENTAÇÃO DO RNV:AREIA_BRANCA"
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL >= 2,80
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS CLOSED

RULE 220
 IF TANK RNV:AREIA_BRANCA LEVEL <= 0,50
 AND TANK RNV:SANT_DO_IPANEMA LEVEL >= 0,20
 THEN PUMP B14_15 STATUS IS OPEN

RULE 240
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL >= 6
 THEN LINK D51 STATUS IS CLOSED

RULE 250
 IF TANK RNV:MONTEIROPOLIS LEVEL <= 3
 THEN LINK D51 STATUS IS OPEN

RULE 260
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D53A STATUS IS CLOSED

RULE 270
 IF TANK RNV:JACA_HOMENS LEVEL <= 2,15
 THEN LINK D53A STATUS IS OPEN

RULE 300 "ALIMENTAÇÃO DE BELO MONTE"
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL >= 1,0
 THEN LINK D139 STATUS IS CLOSED

RULE 310
 IF TANK RNV:BELO_MONTE LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D139 STATUS IS OPEN

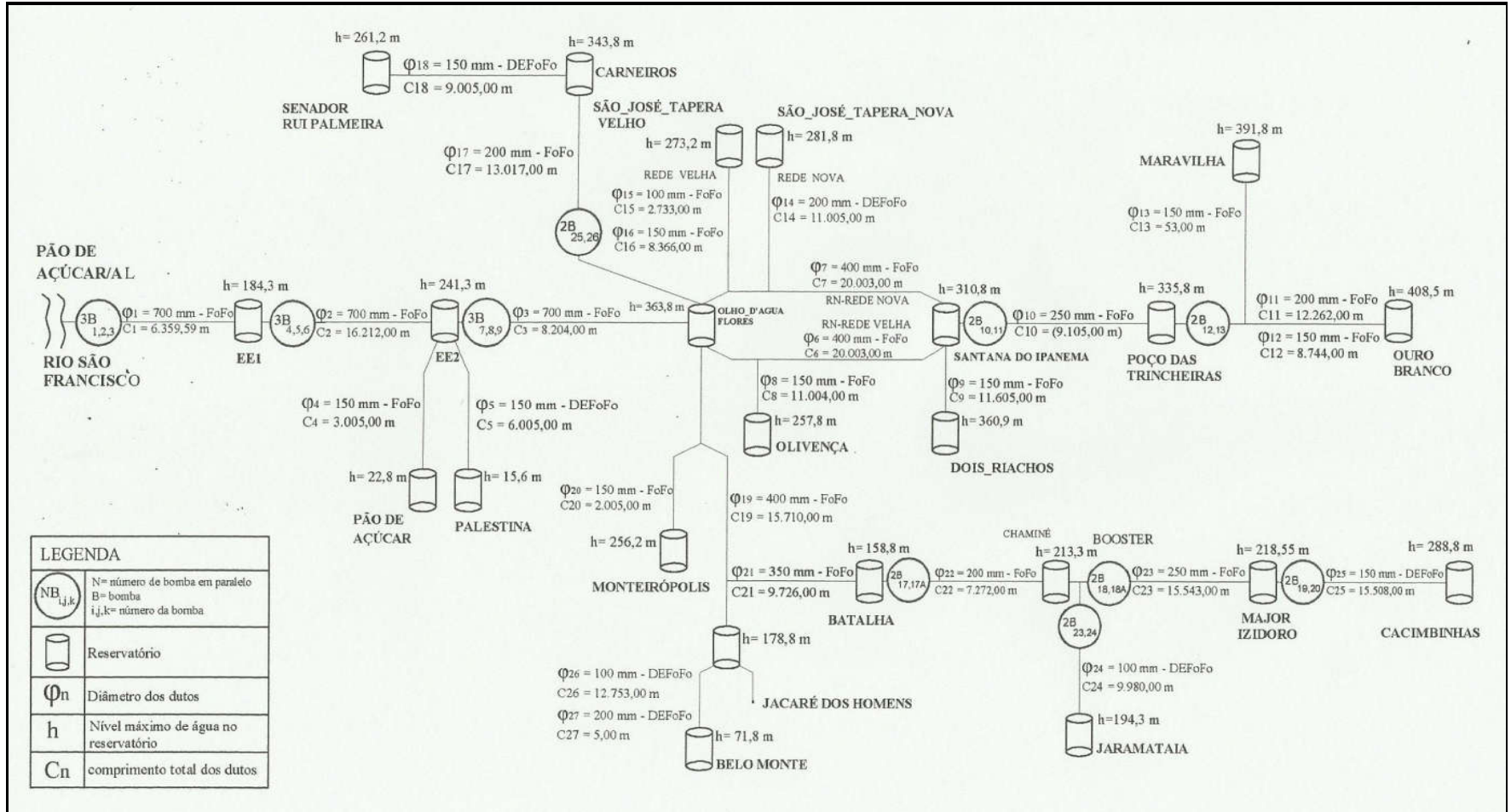
RULE 320
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL >= 4,1
 THEN LINK D55 STATUS IS CLOSED

RULE 330
 IF TANK RNV:BATALHA LEVEL <= 0,5
 THEN LINK D55 STATUS IS OPEN

RULE 332
 IF TANK RNV:CHAMINE LEVEL >= 15,8
 THEN PUMP B17 STATUS IS CLOSED
 AND PUMP B17A STATUS IS CLOSED
 AND LINK D27A STATUS IS CLOSED

RULE 334

APÊNDICE E – DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA ADUTOR PRINCIPAL



Fonte: Autor

APÊNDICE F – UM OLHAR SOBRE O VIÉS SOCIAL DA REDE

Após toda a discussão anterior sobre o comportamento operacional do sistema adutor principal da Bacia Leiteira, buscando contribuir, através da simulação de cenários, com informações que pudessem ajudar na tomada de decisões por parte dos gestores da CASAL para a otimização energética do referido sistema e considerando ainda:

- a) ser esse um sistema de grande magnitude técnica e extremamente importante para a promoção da saúde e do bem estar das comunidades por ele abastecidas;
- b) que a sociedade organizada bem como os governos estaduais e municipais, nas últimas décadas, têm envidado esforços, buscando melhorar o desempenho do sistema, seja através da gestão, seja através de intervenções físicas de reformas e ampliações;
- c) que todos os questionamentos levantados pelas comunidades dos municípios atendidos por essa adutora, assim como, estudos feitos pela comunidade científica e pela própria CASAL, a respeito de como solucionar os principais problemas apresentados pelo sistema, têm levado os municípios a buscarem junto ao governo estadual, o cumprimento das promessas de melhorias, tanto de ordem técnica como e, principalmente, de ordem político-administrativa;
- d) que, lamentavelmente, é senso comum que, historicamente, têm sido ínfimos os investimentos em obras públicas de saneamento;

Cabe à Academia o relevante papel social de contribuir na formulação de políticas públicas e na produção de conhecimentos científicos que possam melhorar a qualidade de vida do ser humano e, em particular, do povo brasileiro. Assim, se esse trabalho, conseguir por si só, chamar a atenção dos gestores públicos do setor de saneamento para os reais benefícios econômicos e sociais que a modelagem e simulação computacionais de redes de abastecimento de água podem possibilitar, já terá cumprido seu papel.