



DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

AUGUSTO DA GAMA REGO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira

Belém
Fevereiro/2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Rego, Augusto da Gama, 1984 -

Desenvolvimento e aplicação de metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de sistemas de abastecimento de água / Augusto da Gama Rego. - 2016.

Orientador: José Almir Rodrigues Pereira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2016.

1. Abastecimento de água. 2. Desempenho. 3. Energia elétrica-Consumo. 4. Hidráulica. I. Título.

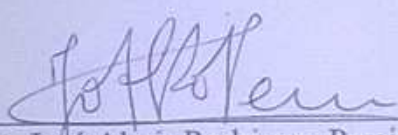
CDD 22. ed. 628.1

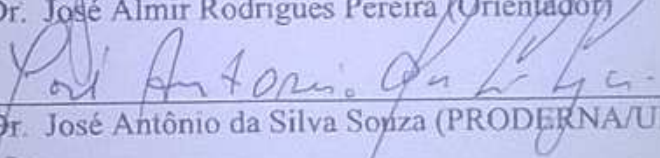
AUGUSTO DA GAMA REGO

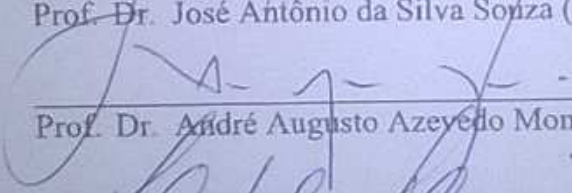
**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

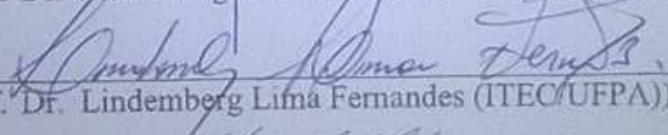
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

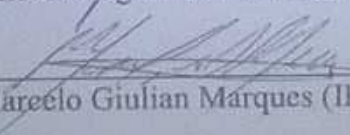
Aprovada por:


Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira (Orientador)


Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza (PRODERNA/UFPA)


Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte (ITEC/UFPA)


Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes (ITEC/UFPA)


Prof. Dr. Marcelo Giulian Marques (IPH/UFRGS)

Julgado em: 19/02/2016
Conceito: APROVADO

Belém
Fevereiro/2016

Dedico todo esforço derramado nessas páginas à minha família, por todo apoio e confiança, em todos os momentos dessa trajetória.

Dedico especialmente aos meus avós paternos Maria Rego (in memorian) e Antônio Rego (in memorian) e aos meus avós maternos Gregoria Gama e Antônio Gama (in memorian). Meu Avô Gama desde que eu era criança me chamara de professor, como uma profecia.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus e minha Nossa Senhora de Nazaré. Para Deus todas as glórias sempre, por todas as preces ouvidas e atendidas ao longo de toda essa caminhada. Obrigado meu Deus!

Aos meus pais Jorge Rego e Célia da Gama. Obrigado pela melhor educação possível, por todo afeto e amor, por todos os ensinamentos e por todo o apoio ao longo da caminhada rumo a esse momento. Sempre serão meus maiores professores.

À minha família, em especial à minha irmã Adriane Rego, aos meus irmãos Fabiano Gama e Muller Veras, ao meu presente enviado por Deus Tainá Façanha, ao meu companheiro de patas Stanley. Obrigado por me fazerem acreditar na realização desse sonho, pela paciência em todos os momentos de stress e depressão, por entender minha ausência ao longo de todos esses anos.

À Universidade Federal do Pará. Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Obrigado pela oportunidade de participar de um programa que vem ganhando cada vez mais importância pela sua formação de Doutores em Engenharia em uma região tão carente como é a Amazônia. Ao Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, em especial, aos amigos do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS/UFPA) pela estrutura, ensinamentos e oportunidades.

Ao professor e orientador José Almir Rodrigues Pereira. Obrigado pela oportunidade de caminhar rumo do Doutorado, sem as portas abertas não teria conseguido. Obrigado pela total confiança no meu potencial, pelas oportunidades de coordenar operacionalmente o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS/UFPA), de conhecer e de trabalhar com professores como Marcelo Marques (LENHS/UFRGS), Peter Cheung (LENHS/UFMT), Heber Pimentel (LENHS/UFPB), Augusto Viana (LENHS/UNIFEI).

Aos professores José Antônio da Silva Souza (PRODERNA/UFPA), Lindemberg Lima Fernandes (FAESA/UFPA), Maria de Lourdes Souza Santos (PPG-AqRAT/UFPA), Marcelo Giulian Marques (IPH/UFRGS), André Luis Amarantes de Mesquita (PRODERNA/UFPA) e André Augusto Azevedo Montenegro Duarte (FEC/UFPA). Obrigado pelas valiosas contribuições nas bancas de qualificação e de defesa da Tese de Doutorado.

Aos colaboradores e amigos Ananda Fróes (a melhor profissional com quem já tive oportunidade de trabalhar), Fábio Paiva, Fernando Hungria, Laís Rodrigues, Julie Souza, João Sá, Rodrigo Sá, Raynner Lopes, Luciano Louzada, Jason Brochado, Davi Sales e Aline Almeida. Aos amigos Roberto e Jorginho da ETA UFPA, que sempre apoiaram nossas atividades de pesquisa. Aos professores que tive ao longo da minha formação acadêmica Valdívia Norat, Paulo Norat, Luiza Girard, Alberto Lima, Samira Leão, Ana Rosa Barp, Claudio Blanco e, principalmente, ao grande amigo Lindemberg Fernandes, obrigado pelos ensinamentos.

Por fim, à Companhia de Saneamento do Estado do Para. Obrigado por colocar a nossa disposição o setor Guanabara e a equipe de pitometria, em especial, ao compenheiro Marcio Jansen por todo apoio e ensinamento. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Obrigado pela Bolsa de Doutorado, muito útil para a permanência na pesquisa. À todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento desse trabalho.

*“Ando devagar porque já tive pressa
E levo esse sorriso porque já chorei demais
Cada um de nós compõe a sua história,
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz
de ser feliz”
(Almir Sater e Renato Teixeira)*

*“A sorrir eu pretendo levar a vida”
(Cartola)*

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (D. Eng.)

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Augusto da Gama Rego
Fevereiro/2016

Orientador: José Amir Rodrigues Pereira

Área de Concentração: Uso de Recursos Naturais

A Tese de Doutorado teve por objetivo o desenvolvimento de metodologia e sua implementação em *software* para avaliação de desempenho hidroenergético de sistemas de abastecimento de água (SAA), bem como aplicação em sistema de escala real. A pesquisa foi executada em duas etapas: 1) foi modelado todo o processo de avaliação de desempenho hidroenergético, foram estabelecidas formulações para cálculo de perdas hidroenergéticas e implementada metodologia em *software*; 2) foi realizada a aplicação da metodologia em SAA de escala real, que necessitou de monitoramento de grandezas hidroenergéticas e de simulação computacional do mesmo SAA no *Epanet 2.0*. Os resultados da primeira etapa consistiram na definição de perdas hidroenergéticas, na conceituação de desempenho hidroenergético, na metodologia proposta (sequenciamento de ações e inerentes formulações matemáticas) para o cálculo de perdas hidroenergéticas e para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, na implementação da metodologia em *software* (batizado de **SADHE2A**) e no teste da metodologia com sucesso em SAA com dados sintéticos. Os resultados da segunda etapa foram consequência da aplicação da metodologia, com uso do **SADHE2A – versão Beta**, no SAA Guanabara (localizado na cidade de Ananindeua, Pará, Brasil), na qual foram verificadas perdas globais de água de 55,42%/m e perdas globais de energia elétrica consumida de 58,31% (ambos os desempenhos classificados como “ruim”) que ocasionaram impacto financeiro de -17.981,77 R\$/mês (57,61% de toda a despesa com consumo de energia elétrica no SAA, desde a captação de água bruta até a entrega de água tratada ao consumidor). Por fim, a metodologia desenvolvida atendeu as expectativas da pesquisa para calcular as perdas de água e de energia elétrica consumida e avaliar o desempenho hidroenergético de SAA, com elevada potencialidade de uso no Brasil e no exterior.

Palavras-chave: Abastecimento de Água. 2. Desempenho. 3. Energia elétrica-Consumo. 4. Hidráulica.

Abstract of Thesis presented to PRODERNA/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resources Engineering (D.Eng.)

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND IMPLEMENTING FOR ASSESSING
HYDRO-ENERGETIC PERFORMANCE IN WATER SUPPLY SYSTEMS

Augusto da Gama Rego
February/2016

Advisor: José Almir Rodrigues Pereira

Research Area: Use of Natural Resources

This doctoral thesis aims developing a methodology and implementing it on software in order to evaluate a water supply system (WSS) hydro-energetic performance, as well as applying it on a real scale WSS. This paper was carried out in two stages: 1) modeling the hydro-energetic performance evaluation process, establishing of formulations to calculate hydro-energetic losses and implementing methodology on software; 2) applying the methodology at a real scale WSS, which required monitoring of hydraulic and electrical quantities and simulating this WSS at *Epanet* 2.0. The first stage results consisted at defined hydro-energetic losses and conceptualize hydro-energetic performance on the proposed methodology, which consists sequences of actions and mathematical formulation to calculate hydro-energetic losses at the WSS, as well as to evaluate WSS hydro-energetic performance and, finally, at methodology implementation in a software using *Visual Basic for Applications* (named as **SADHE2A**) and successfully tested at the WSS with synthetic data. The second stage results are related to methodology application at WSS of Guanabara (located at Ananindeua city, Pará, Brazil), using **SADHE2A – versão Beta**, in which were identified water global losses of 55.42% and electrical energy global losses of 58.31% (both classified as “bad” by the methodology), resulting in an economical deficit of 17,981.77 R\$/month. This value is equivalent to 57.61% of electrical energy costs, since raw water pumping to the final water customer. Finally, the methodology developed has met the research expectations to calculate the water losses and electricity consumed losses and to evaluate the hydro-energetic performance of the WSS in Brazil and world.

Key words: Water supply. Performance. Electrical Energy-Consumer. Hydraulic.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAB	Adutora de água bruta
AAT	Adutora de água tratada
CLP	Controlador lógico-programável
CMB	Conjunto motor e bomba
COSANPA	Companhia de saneamento do estado do Pará
EEAB	Estação elevatória de água bruta
EEAT	Estação elevatória de água tratada
EPA	<i>Environmental protection agency</i>
ETA	Estação de tratamento de água
FCV	Válvula reguladora de vazão
GMF	Grupo de mecânica de fluídos (Universidade Politécnica de Valência – Espanha)
GPV	Válvula genérica
ICE	Indicador de consumo específico
IDCE	Indicador de deficiência no consumo de energia
IMTA	Instituto mexicano de tecnologia da água
IWA	<i>International water association</i>
IWSA	<i>International water service association</i>
NPSH	<i>Net positive suction head requerido</i>
PBV	Válvula de perda de carga fixa
PRV	Válvula redutora de pressão
PSV	Válvula sustentadora de pressão
RAP	Reservatório apoiado
RDA	Rede de distribuição de água
REL	Reservatório superior

RMB	Região metropolitana de Belém
RNF	Reservatório de nível fixo
RNV	Reservatório de nível variável
SAA	Sistema de abastecimento de água
SCADA	<i>Supervisory control and data acquisition</i>
SNIS	Sistema nacional de informações sobre saneamento
TCV	Válvula de controle de perda de carga ou válvula borboleta
TGS	Teoria geral de sistemas
UC	Unidade consumidora
UN-BR	Unidade de negócios BR 316

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	sistemas de abastecimento de água convencional.	42
Figura 2:	Exemplos de arranjos de unidades de SAA.	42
Figura 3:	vetoriais de potência elétrica	49
Figura 4	estação elevatória de água.	53
Figura 5:	sobreposição entre curva do sistema e curva característica de CMB.....	54
Figura 6:	motor elétrico assíncrono (ou de indução) trifásico.	55
Figura 7:	deslocamento da curva do CMB por desgaste dos seus componentes. ...	56
Figura 8:	rotor cavitado de uma bomba hidráulica.	57
Figura 9:	deslocamento da curva do sistema por envelhecimento das instalações hidráulicas.....	59
Figura 10:	influência da qualidade da água tratada no consumo de energia elétrica em SAA.....	61
Figura 11:	a) estações pitométrica, b) medidor eletromagnético e c) medidor ultrassônico.....	66
Figura 12:	a) manômetro em coluna, b) manômetro mecânico e c) transdutor de pressão.....	68
Figura 13:	analisador de Qualidade de Energia	69
Figura 14:	matriz de balanço hídrico.	72
Figura 15:	perdas reais de água em SAA.....	74
Figura 16:	bases do planejamento hidroenergético de SAA.....	75
Figura 17:	fatores para classificação de indicadores hidroenergéticos de SAA.	81
Figura 18:	etapas da pesquisa.	85
Figura 19:	exemplo de fluxo de água e energia em SAA.	86
Figura 20:	etapas para avaliação do desempenho hidroenergético.....	91
Figura 21:	cadastro dos sistemas e respectivas unidades.....	91

Figura 22:	exemplos de linhas hidroenergéticas de SAA.	92
Figura 23:	etapa 1 do metodologia proposta concluída.	93
Figura 24:	etapa 2, determinação do consumo efetivo da população.	93
Figura 25:	etapa 2, monitoramento hidroenergético.	94
Figura 26:	etapa 2, volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA integrado.....	94
Figura 27:	etapa 2, volumes de água do SAA.....	95
Figura 28:	etapa 2, determinação do <i>coeficiente de proporcionalidade</i>	95
Figura 29:	etapa 2, consumo de energia elétrica do SAA.....	96
Figura 30:	etapas 1 e 2 finalizadas.....	96
Figura 31:	etapa 3, simulação do SAA referência.	97
Figura 32:	etapa 3, volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA integrado.....	97
Figura 33:	etapa 3, volumes de água do SAA referência.....	98
Figura 34:	etapa 3, determinação do <i>coeficiente de proporcionalidade simulado</i> ...98	
Figura 35:	etapa 3, consumo de energia elétrica do SAA referência.....	99
Figura 36:	etapas 1, 2 e 3 finalizadas.....	99
Figura 37:	etapa 4, cálculo das perdas de água para o SAA. 100	
Figura 38:	etapa 4, classes de desempenho para perdas de água no SAA.....	101
Figura 39:	avaliação das perdas de água.....	101
Figura 40:	etapa 4, cálculo das perdas de energia elétrica pelas perdas de água no SAA.....	102
Figura 41:	etapa 4, determinação do consumo de energia elétrica para cada unidade de volume de água do SAA diagnosticado.....	102
Figura 42:	etapa 4, determinação do consumo de energia elétrica para cada unidade de volume de água do SAA referência.....	103
Figura 43:	etapa 4, cálculo do consumo perdido de energia elétrica para cada unidade de volume de não água não perdida no SAA.....	103

Figura 44: etapa 4, calculo das perdas de elétrica por excesso no consumo no SAA.....	104
Figura 45: etapa 4, cálculo da perda total de energia elétrica consumida no SAA.....	104
Figura 46: etapa 4, classes de desempenho para perda de energia elétrica no SAA.....	105
Figura 47: etapa 4, avaliação das perdas de energia elétrica no SAA.....	105
Figura 48: etapas 1, 2, 3 e 4 finalizadas.....	106
Figura 49: etapa 5, tarifas de energia elétrica.....	106
Figura 50: etapa 5, cálculo da despesa com energia elétrica no SAA integrado.....	107
Figura 51: etapa 5, cálculo das despesas com energia elétrica no SAA.....	107
Figura 52: etapa 5, impacto financeiro causadas por perdas de água no SAA.....	108
Figura 53: etapa 5, impacto financeiro causadas por consumo excessivo no SAA.....	108
Figura 54: etapa 5, impacto financeiro das perdas hidroenergéticas.....	109
Figura 55: metodologia para avaliação de perdas hidroenergéticas em SAA.....	110
Figura 56: evolução dos volumes de água no SAA.....	114
Figura 57: consumo acumulativo de energia elétrica no SAA.....	115
Figura 58: vista da entrada do setor Guanabara.....	117
Figura 59: localização do setor Guanabara no município de Ananindeua.....	118
Figura 60: localização do 37º setor na UN-BR.....	118
Figura 61: adutoras do Sistema Bolonha/ZE.....	119
Figura 62: distribuição da água captada no Rio Guamá.	119
Figura 63: unidades consumidoras de energia elétrica, até o setor Guanabara.....	120
Figura 64: etapas do monitoramento hidroenergético.....	121
Figura 65: carta de controle para verificação de instabilidades.....	121
Figura 66: atividades para simulação do SAA no Epanet 2.0.....	122
Figura 67: exemplo de área de influência de um nó em uma RDA.....	124

Figura 68:	exportação de dados da simulação para arquivos de texto.....	125
Figura 69:	subdivisão das perdas hidroenergéticas em SAA em perdas de água e perdas de energia elétrica..	127
Figura 70:	SAA integrado e dados sintéticos.	153
Figura 71:	SAA e dados sintéticos.	153
Figura 72:	comparação entre volumes base total de água do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência.	156
Figura 73:	comparação entre consumos de energia elétrica do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência.	157
Figura 74:	composição do consumo base de energia elétrica do SAA diagnosticado acumulado.....	163
Figura 75:	distanciamento entre os consumos de energia elétrica acumulados no SAA diagnosticado e no SAA referência.	164
Figura 76:	diagrama de casos de uso para SADHE2A v. Beta e fluxo de dados....	173
Figura 77:	a) tela de boas vindas do SADHE2A v. Beta; b) criação de arquivos; c) diretório de arquivos; d) mensagem de confirmação de arquivos criados.....	174
Figura 78:	SADHE2A – sistematiza – interface e botões para controles de acesso.....	175
Figura 79:	SADHE2A – sistematiza – visão geral.....	175
Figura 80:	SADHE2A – avalia – Interface da tela de boas vindas.....	176
Figura 81:	SADHE2A – avalia – Tela de cadastro do usuário.....	176
Figura 82:	SADHE2A – avalia – <i>Dashboard</i> com avaliação do desempenho hidroenergético para volumes de água para o SAA-1.....	177
Figura 83:	SADHE2A – avalia – Configuração de gráficos.....	178
Figura 84:	distribuição da água captada no Rio Guamá.....	179
Figura 85:	esquema ilustrativo do setor Guanabara.....	180
Figura 86:	esquema do Reservatório Apoiado.....	182
Figura 87:	curva das bombas.....	183
Figura 88:	diagrama Unifilar do CCM.	185

Figura 89: esquema do reservatório elevado do Setor Guanabara.....	187
Figura 90: área de abastecimento alterada para o limite de Municípios Belém e Ananindeua.....	188
Figura 91: área de abastecimento atual do Setor Guanabara.....	189
Figura 92: localização dos pontos de monitoramento grandezas hidráulicas e elétricas.....	190
Figura 93: pontos de monitoramento de vazão.....	191
Figura 94: pontos de monitoramento de nível na EAT Guanabara I.....	193
Figura 95: pontos de medição de pressão.....	194
Figura 96: localização dos pontos de monitoramento de parâmetros elétricos.....	197
Figura 97: localização do ponto de monitoramento de pressão na RDA.....	215
Figura 98: pontos de interesse para levantamento de curvas de bombas.....	221
Figura 101: área de atendimento do setor Guanabara.....	225
Figura 102: desenho da RDA do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0.....	225
Figura 103: cotas dos nós do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0.....	226
Figura 104: diâmetros dos trechos do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0.....	226
Figura 105: comprimentos dos trechos do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0.....	227
Figura 106: rugosidades dos trechos da RDA do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0....	228
Figura 107: rugosidades dos trechos da EAT do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0....	228
Figura 108: alteração das áreas de atendimento do setor Guanabara.....	229
Figura 109: áreas de influência dos nós na RDA do setor Guanabara no <i>AutoCad</i> ..	230
Figura 110: consumos-base de cada nó da RDA do setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0.....	230
Figura 111: hidrograma de distribuição a ser simulado no <i>Epanet</i> 2.0.....	232
Figura 112: fatores multiplicativos (coeficientes horários de vazão) para a variação da demanda no setor Guanabara no <i>Epanet</i> 2.0. a) da hora 1 até a hora 8; b) da hora 9 até a hora 16 e c) da hora 17 até a hora 24.....	233
Figura 113: curva da bomba cadastrado no <i>Epanet</i> 2.0.....	234

Figura 114: curva de rendimento da cadastrada no <i>Epanet</i> 2.0.....	234
Figura 115: controles programados aplicados para determinação da rotina operacional do SAA referência do setor Guanabara.....	235
Figura 116: tarifação horo-sazonal.....	236
Figura 117: linha hidroenergética do SAA Guamá/Bolonha/Zona de expansão/Guanabara.....	248
Figura 118: cadastro das unidades e etapas do SAA Guanabara.....	249
Figura 119: cadastro dos dados para cálculo do consumo de água no SAA.....	249
Figura 120: dados de entrada volumes de água diagnosticados para as unidades e <i>volume diagnosticado base total de água</i> no SAA Guanabara.....	250
Figura 121: dados de consumo de energia elétrica diagnosticado para as unidades e <i>energia elétrica diagnosticada base consumida</i> no SAA Guanabara.....	252
Figura 122: dados de entrada volumes de água simulados para as unidades e <i>volumes simulados bases totais de água</i> no SAA Guanabara.....	253
Figura 123: dados de consumo de energia elétrica simulado para as unidades e <i>energia elétrica simulada base total consumida</i> no SAA Guanabara.....	253
Figura 124: faixas de desempenho referentes às perdas de água nas unidades, nas etapas e nos sistemas.....	254
Figura 125: <i>dashboard</i> de desempenho de perdas de água do SAA Guanabara.....	254
Figura 126: faixas de desempenho referentes às perdas de energia elétrica consumida.....	255
Figura 127: <i>dashboard</i> de desempenho da energia elétrica consumida e perdida no SAA Guanabara.....	255
Figura 128: valores estimados cadastrados para tarifa de energia elétrica ao longo da linha hidroenergética do SAA Guanabara.....	257
Figura 129: despesas de energia elétrica ao longo da linha hidroenergética do SAA Guanabara.....	257
Figura 130: impacto financeiro das perdas hidroenergéticas no SAA Guanabara.....	258

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: perdas de água na distribuição – cidades com até 100 mil habitantes (2010-2013).....	145
Gráfico 2: perdas de água na distribuição – cidades com 100 mil a 250 mil habitantes (2010-2013).....	145
Gráfico 3: perdas de água na distribuição – cidades com 250 mil a 500 mil habitantes (2010-2013).....	145
Gráfico 4: perdas de água na distribuição – cidades com 500 mil a 1 milhão de habitantes (2010-2013).....	146
Gráfico 5: perdas de água na distribuição – cidades com mais de 1 milhão de habitantes (2010-2013).....	146
Gráfico 6: vazão monitorada de água na subadutora do setor Guanabara.....	201
Gráfico 7: carta de controle de média móvel para volumes diários de água na subadutora do setor Guanabara e limites superior (LSC), médio (LMC) e inferior (LIC).....	202
Gráfico 8: carta de controle de amplitude móvel para volumes de água na subadutora.....	203
Gráfico 9: vazão monitorada de água bombeada no setor Guanabara.....	203
Gráfico 10: carta de controle de média móvel para volumes na subadutora.....	204
Gráfico 11: carta de controle de amplitude móvel para volumes na subadutora.....	204
Gráfico 12: vazão monitorada de água demandada no setor Guanabara.....	205
Gráfico 13: carta de controle de média móvel para volumes distribuídos.	206
Gráfico 14: carta de controle de amplitude móvel para volumes na subadutora.....	206
Gráfico 15: potência ativa total demandada no setor Guanabara (CMB1+CMB3). ..	207
Gráfico 16: carta de controle de média móvel para consumos diários de energia elétrica na EAT Gunabara.	208
Gráfico 17: carta de controle de amplitude móvel para consumos diários de energia elétrica na EAT Guanabara.....	208
Gráfico 18: potência ativa demandada monitorada no CMB1 do setor Guanabara. ..	209
Gráfico 19: potência ativa demandada monitorada no CMB3 do setor Guanabara. ..	209

Gráfico 20: nível monitorado de água no reservatório apoiado do setor Guanabara.	210
Gráfico 21: nível monitorado de água no reservatório elevado do setor Guanabara.	210
Gráfico 22: pressão de sucção monitorada do CMB1 do setor Guanabara.	211
Gráfico 23: pressão de recalque do CMB1 do setor Guanabara.....	212
Gráfico 24: comportamento das pressões do CMB1.	212
Gráfico 25: pressão de sucção do CMB3 do setor Guanabara.	213
Gráfico 26: pressão de recalque do CMB3 do setor Guanabara.....	213
Gráfico 27: comportamento das pressões do CMB3.	214
Gráfico 28: pressão monitorada após o barrilete da EAT setor Guanabara.	214
Gráfico 29: pressão dinâmica após o registro da tubulação de descida do REL.	215
Gráfico 30: vazão de água x potência ativa demandada no dia 17/12/2014.....	217
Gráfico 31: vazão de água bombeada × potência ativa demandada pelos CMB (18/12/2014 a 22/12/2014).	218
Gráfico 32: indicadores de consumo específico para os modos operacionais do EAT do setor Guanabara.	219
Gráfico 33: curvas das instalações hidráulicas e curvas de bombas no setor Guanabara.....	221
Gráfico 34: vazão simulada na subadutora do SAA referência do setor Guanabara..	237
Gráfico 35: vazão simulada bombeada do SAA referência do setor Guanabara.....	237
Gráfico 36: vazão simulada de distribuição do SAA referência do setor Guanabara.....	238
Gráfico 37: curva de “ $H \times Q$ ” e linha de tendência.	239
Gráfico 38: curva “ $\eta \times Q$ ” e linha de tendência.	239
Gráfico 39: potência ativa na EAT do SAA referência do setor Guanabara.	241
Gráfico 40: potência ativa demandada pelo CMB2 em um dia de operação.	242
Gráfico 41: potência ativa demandada pelo CMB3 em um dia de operação.	242
Gráfico 42: nível do RAP do SAA referência do setor Guanabara.	243

Gráfico 43: nível do REL do SAA referência do setor Guanabara.	243
Gráfico 44: pressão no ponto mais desfavorável da RDA do SAA referência.....	244
Gráfico 45: inter-relação entre subadutora, RAP e EAT Guanabara.....	245
Gráfico 46: inter-relação entre RAP, EAT e REL do setor Guanabara.....	245
Gráfico 47: inter-relação entre vazão bombeada, REL e RDA do setor Guanabara. .	246
Gráfico 48: potência ativa demanda em função dos níveis de água do RAP.	246
Gráfico 49: pressão dinâmica na RDA do SAA referência.....	247
Gráfico 50: <i>volume diagnosticado base total e volume simulado base total no SAA</i>	258
Gráfico 51: <i>volume diagnosticado base total de água e volume diagnosticado base perdido de água no SAA</i>	259
Gráfico 52: <i>energia elétrica diagnosticada base total consumida e acumulada e a energia elétrica simulada base total consumida e acumulada no SAA Guanabara</i>	260
Gráfico 53: <i>indicador de consumo específico do diagnóstico e indicador de consumo /específico da simulação no SAA Guanabara</i>	260
Gráfico 54: <i>energia elétrica diagnosticada base total ($EbT_{d,i}$) e acumulada e energia elétrica diagnosticada base perdida ($Ebp_{d,i}$) no SAA Guanabara. b) energia elétrica diagnosticada base perdida ($Ebp_{d,i}$) e o impacto financeiro acumulado ($IFbT_i$) no SAA Guanabara</i>	261

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: perdas hidroenergéticas no SAA.	89
Quadro 2: unidades que compõe as linhas hidroenergéticas dos sistemas 1 a 5.	92
Quadro 3: legenda dos pontos de monitoramento de vazão.	191
Quadro 4: legenda dos pontos de monitoramento de nível.....	193
Quadro 5: legenda dos pontos de monitoramento de pressão.....	195
Quadro 6: pontos de monitoramento de parâmetros elétricos.	197

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: exemplos de coeficientes C , sugeridos para Hazen-Williams.....	58
Tabela 2: exemplos de coeficientes e , sugeridos para Fórmula de Darcy-Weisbach.....	58
Tabela 3: indicadores hidroenergéticos.	77
Tabela 4: atualização com os indicadores do SNIS de 2001.....	79
Tabela 5: atualização com os indicadores do SNIS de 2009.....	79
Tabela 6: indicadores estratégicos para planejamento e gestão hidroenergética de SAA.....	81
Tabela 7: indicadores táticos para planejamento e gestão hidroenergética em SAA.....	82
Tabela 8: indicadores operacionais para planejamento e gestão hidroenergética.	83
Tabela 9: quantidade de indicadores hidroenergéticos por nível organizacional.	83
Tabela 10: etapa 4 – classes de desempenho para perdas de água no SAA-1.....	147
Tabela 11: classes de desempenho para perdas de energia elétrica para o SAA-1.....	149
Tabela 12: etapa 1 da metodologia – resultados para o SAA-1.....	154
Tabela 13: etapa 2 – volumes de água no SAA-1 diagnosticado.	154
Tabela 14: etapa 2 – consumo de energia elétrica no SAA-1 diagnosticado.....	155
Tabela 15: etapa 3 – volumes base de água no SAA-1 referência.	155
Tabela 16: etapa 3 – consumos base de energia elétrica no SAA-1 referência.....	156
Tabela 17: etapa 4 – comparação quantitativa entre volumes de água no SAA-1.	158
Tabela 18: etapa 4 – comparação qualitativa entre volumes de água no SAA-1.	158
Tabela 19: etapa 4 – perdas de água ($m^3/mês$) no SAA-1.....	159
Tabela 20: etapa 4 – classes de desempenho para perdas de água no SAA-1.....	160
Tabela 21: etapa 4 – desempenho hidroenergético do SAA-1 (volumes de água).....	160
Tabela 22: etapa 4 – quantidades de energia elétrica consumida por volumes de água perdidos no SAA-1.	161

Tabela 23: etapa 4 – indicadores de consumo específico de energia elétrica nas unidades no SAA-1.....	161
Tabela 24: etapa 4 – quantidade de energia elétrica consumida em excesso no SAA-1.....	162
Tabela 25: etapa 4 – perdas de energia elétrica no SAA-1.....	162
Tabela 26: etapa 4 – comparação quantitativa entre consumos de energia elétrica no SAA-1.....	163
Tabela 27: etapa 4 – perdas de energia elétrica no SAA-1.....	165
Tabela 28: classes de desempenho para perdas de energia elétrica para o SAA-1.....	165
Tabela 29: desempenho hidroenergético do SAA-1 (consumo de energia elétrica). ..	166
Tabela 30: etapa 5 – despesas com consumo de energia elétrica nas unidades do SAA-1 integrado.....	166
Tabela 31: etapa 5 – despesas para consumo base de energia elétrica nas unidades do SAA-1.....	167
Tabela 32: etapa 5 – impactos financeiros pelas quantidades de energia elétrica consumida por volumes de água perdidos no SAA-1.....	167
Tabela 33: etapa 5 – impactos financeiros pelas quantidades consumidas de energia elétrica em excesso por volumes de água não perdidos no SAA-1.....	168
Tabela 34: impacto financeiro das perdas hidroenergéticas no SAA- 1.....	168
Tabela 35: cotas do Reservatório Apoiado.....	182
Tabela 36: dados das placas de identificação dos motores elétricos.	183
Tabela 37: cotas do Reservatório Elevado.....	188
Tabela 38: ligações e economias de água por categoria no setor Guanabara.....	189
Tabela 39: volumes diários de água na subadutora, médias móveis e amplitude móvel.....	202
Tabela 40: volumes diários bombeados de água, médias móveis e amplitude móvel.....	204
Tabela 41: volumes diários distribuídos de água, médias móveis e amplitude móvel.....	205
Tabela 42: consumo de energia elétrica EAT, médias móveis e amplitude móvel.....	208
Tabela 43: dados para curvas de bombas e da instalação hidráulica.....	220

Tabela 44: resumo dos resultados do diagnóstico da EAT Guanabara.	221
Tabela 45: dados para o calculo da demanda de água.	230
Tabela 46: coeficientes horários de demanda de água e vazões horárias de água distribuídas no setor Guanabara.	231
Tabela 47: dados da curva “ $H \times Q$ ” da bomba IMBIL - 125-330 (1750 RPM).	234
Tabela 48: dados da curva “ $\eta \times Q$ ” da bomba IMBIL - 125-330 (1750 RPM).	234
Tabela 49: propriedades cadastradas para o RAP e REL do setor Guanabara.	235
Tabela 50: curva de “ $H \times Q$ ”	239
Tabela 51: curva “ $\eta \times Q$ ”.	239
Tabela 52: altura manométrica calculada com a equação obtida e valores de erro.	240
Tabela 53: rendimento calculado com a equação obtida e valores de erro.	240
Tabela 54: rateio dos valores de consumo e despesas com energia elétrica nas unidades de montante do setor Guanabara.	251
Tabela 55: cálculo da despesa com consumo de energia elétrica para o SAA Guanabara.	256

LISTA DE SIMBOLOS

Vb_e :	Volume efetivo consumido de água ($m^3/mês$)
V_{Td} :	Volume diagnosticado de água ($m^3/mês$)
Vb_{Td} :	Volume base total diagnosticado de água ($m^3/mês$)
α_d :	Coeficiente proporcionalidade do diagnostico (%)
E_{Td} :	Consumo total diagnosticado de energia elétrica ($kWh/mês$)
Eb_{Td} :	Consumo base total diagnosticado de energia elétrica ($kWh/mês$)
V_{Ts} :	Volume total simulado de água ($m^3/mês$)
Vb_{Ts} :	Volume base total simulado de água ($m^3/mês$)
α_s :	Coeficiente de proporcionalidade da simulação (%)
E_{Ts} :	Consumo total simulado de energia elétrica ($kWh/mês$)
Eb_{Ts} :	Consumo base total simulado de energia elétrica ($kWh/mês$)
Vb_p :	Volume base perdido de água ($m^3/mês$)
Eb_{pv} :	Energia elétrica base perdida por volumes ($kWh/mês$)
ICE_d :	Indicador de consumo específico do diagnostico (kWh/m^3)
ICE_s :	Indicador de consumo específico da simulação (kWh/m^3)
$IDCE$:	Indicador de deficiência no consumo específico (kWh/m^3)
Eb_{pc} :	Energia elétrica perdida por consumo excessivo ($kWh/mês$)
Eb_p :	Energia elétrica perdida ($kWh/mês$)
Trf :	Tarifa de energia elétrica ($$/kWh$)
D_T :	Despesa de energia elétrica no SAA integrado ($$/mês$);
Db_T :	Despesa base de energia elétrica ($$/mês$)
IFb_{pv} :	Impacto financeiro por perdas de volumes ($$/mês$)
IFb_{pc} :	Impacto financeiro por consumo excessivo ($$/mês$);
IFb_T :	Impacto financeiro total ($$/mês$)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	28
1.1	OBJETIVOS.....	33
1.1.1	Objetivo geral.....	33
1.1.2	Objetivos específicos	33
1.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
1.3	ESTRUTURA DA TESE DE DOUTORADO	35
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	36
2.1	MODELAGEM DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	36
2.1.1	Arcabouço Teórico: Teoria Geral de Sistemas	36
2.1.2	Abastecimento de água sob a ótica da Teoria Geral de Sistemas.....	40
2.2	PROBLEMAS HIDROENERGÉTICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	44
2.2.1	Captação de água	51
2.2.2	Estações Elevatórias de Água	52
2.2.3	Adutoras.....	58
2.2.4	Estações de Tratamento de Água	60
2.2.5	Sistemas de reservação	60
2.2.6	Redes de distribuição.....	62
2.3	MONITORAMENTO HIDROENERGÉTICO E FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA SAA	65
2.3.1	Monitoramento de vazão e pressão de água em SAA.....	65
2.3.2	Monitoramento de consumo de energia elétrica em SAA	69
2.3.3	Ferramentas computacionais para SAA: <i>Epanet 2.0</i>.....	70
2.4	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SAA.....	71
2.4.1	Balanco Hídrico da IWA e suas limitações	72
2.4.2	Indicadores de desempenho e suas limitações.....	75

3	MATERIAIS E MÉTODOS	85
3.1	ETAPA 1: DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA E SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO HIDROENERGÉTICA DE SAA.....	86
3.1.1	Fase 1.1: Modelagem do processo de cálculo das perdas hidroenergéticas em SAA	86
3.1.2	Fase 1.2: Estabelecimento de formulações para cálculo das perdas hidroenergéticas no SAA	113
3.1.3	Fase 1.3: Desenvolvimento da metodologia em Ambiente Computacional.....	116
3.2	ETAPA 2: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTO POR MEIO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDA EM SAA DE ESCALA REAL.....	117
3.2.1	Área de estudo: SAA Guanabara	117
3.2.2	Fase 2.1: Monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas do SAA real.....	120
3.2.3	Fase 2.2: Simulação da operação do SAA referência no Epanet 2.0.....	122
3.2.4	Fase 2.3: Avaliação do desempenho hidroenergético do SAA.....	126
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	127
4.1	DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA E DE ENERGIA ELÉTRICA EM SAA.....	127
4.1.1	Estabelecimento de formulações para cálculo das perdas hidroenergéticas no SAA	127
4.1.2	Aplicação da metodologia desenvolvida em SAA com dados sintéticos.....	153
4.1.3	Implementação da metodologia de avaliação de desempenho hidroenergético em software	169
4.1.3.1.	Módulo de Arquivos do SADHE2A.....	174
4.1.3.2.	Módulo de sistematização do SADHE2A	175
4.1.3.3.	Módulo de sistematização do SADHE2A	176

4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA GUANABARA.....	179
4.2.1	Diagnóstico hidroenergético do SAA Guanabara.....	190
4.2.1.1.	Instalação e programação de equipamentos de monitoramento ..	190
4.2.1.2.	Comportamento das grandezas hidráulicas e elétricas	201
4.2.1.3.	Análise da operação do setor Guanabara.....	216
4.2.2	Simulação hidroenergética da operação do SAA referência.....	224
4.2.2.4.	Simulação das melhorias operacionais do Setor Guanabara no <i>Epanet 2.0</i>	224
4.2.2.5.	Comportamento das grandezas hidráulicas e elétricas no SAA referência	237
4.2.2.6.	Análise da rotina operacional no SAA referência	244
4.2.3	Avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Guanabara....	248
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	263
5.3	SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DO SADHE2A – VERSÃO BETA	263
5.4	SOBRE A APLICAÇÃO DO SADHE2A – VERSÃO BETA NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA GUANABARA	264
5.5	PERSPECTIVAS PARA A METODOLOGIA DESENVOLVIDA E PARA O SADHE2A – VERSÃO BETA NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA	268
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	270
	ANEXO A – INTRODUÇÃO AO EPANET	282
	ANEXO B – MÓDULO DE SISTEMATIZAÇÃO.....	287
	ANEXO C – MÓDULO DE AVALIAÇÃO.....	290
	ANEXO D – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS MEDIDORES DE VAZÃO E DOS ANALISADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	320

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, não há como dissociar os problemas hídricos dos energéticos, pois é concomitante a necessidade de ambos, uma vez que os diversos ramos da sociedade, como, por exemplo, o industrial e o comercial, precisam desses recursos na cadeia produtiva, na prestação de serviços etc. Nesse sentido, essas demandas refletem a condição de que a água e a energia devem estar disponíveis para garantia da qualidade de vida, para as gerações atuais e futuras (PIMENTEL e PIMENTEL, 2006).

A água é recurso essencial à vida e é cada vez maior a sua importância socioeconômica, política e cultural, especialmente pela sua distribuição geográfica irregular no planeta (SHIKLOMANOV, 1998; BACCI e PATACA, 2008; REGO et al, 2008; CARVALHEIRO, 2015). No entanto, o crescimento¹ da população humana, seu estilo de vida e seu consumismo aumentam demanda por recursos hídricos, trazendo consigo questões importantes, como a retirada de grandes volumes de água de seus cursos naturais, a poluição dos corpos d'água, a poluição do ar, o aquecimento global etc. (LIU et al, 2013; SPERLING, 2013; REGO et al., 2013).

A água não pode ser substituída por qualquer outra substância disponível no planeta, fato que leva a crer que o uso racional da mesma é o grande desafio da humanidade, para os dias atuais e futuros. Dessa forma, é importante ressaltar o seguinte questionamento: como garantir a oferta de água, num contexto de crescimento cada vez maior da demanda e, principalmente, numa limitada disponibilidade geográfica e qualitativa dos recursos hídricos?

Paralelamente, a crescente demanda por recursos energéticos no planeta também tem causado impactos negativos no planeta, como a poluição e contaminação de corpos de água, do solo e do ar, bem como provável relação com o aquecimento global (QUEIROZ e VEIGA, 2012; THEODOSIOU; KORONEOS; STYLOS et al., 2014; ATILGAN e AZAPAGIC, 2015). Além disso, a escalada do consumo repercute no custo da energia, impactando de maneira generalizada no preço de diversos produtos essenciais para a vida moderna (GONÇALVES, 2009).

¹ As projeções mostram que a população humana pode atingir 11,2 bilhões de indivíduos no ano de 2100 (UNITED NATIONS, 2015).

Nesse contexto mencionado, de aumento de demanda e diminuição de oferta de recursos hídricos e energéticos, estão os sistemas de abastecimento de água (SAA), essa problemática influencia diretamente no objetivo de produção e distribuição de água para as populações. O setor pode ser considerado ramo industrial, uma vez que a água bruta encontrada na natureza é captada e processada para a obtenção de água potável como produto final e até a distribuição aos consumidores, consideráveis quantidades de água são utilizadas e de energia elétrica são consumidas.

Sobre SAA, parcela significativa dos recursos hídricos é retirada do meio ambiente e não chega aos consumidores finais, consequência da má gestão desses serviços, o que representa o caminho inverso à sustentabilidade, pelos problemas de cunho econômico, social e ambiental causados. Esses valores são considerados como perdas de água e no Brasil no ano de 2013 chegaram a 37% somente para a etapa de distribuição (5,97 bilhões de m³/ano), no caso, foram produzidos 16,11 bilhões de m³/ano e consumidos apenas 10,14 bilhões de m³/ano (BRASIL, 2015). Como as estimativas não levam em consideração as etapas de obtenção e processamento de água bruta no cálculo, conseqüentemente, ainda, são desconhecidos os reais volumes perdidos de água nos SAAs brasileiros.

Em se tratando de consumo de energia elétrica, os serviços de abastecimento de água foram responsáveis por demandar 11,07 TWh/ano em 2013 (BRASIL, 2015), valor que representou 2,38% dos 463,33 TWh/ano de energia elétrica demandada no mesmo período (BRASIL, 2014b). Nesse sentido, considerando que parte dos volumes de água de SAA que são perdidos antes de chegar ao consumidor também demandaram consumos de energia elétrica, observa-se quantidade considerável de energia elétrica que é consumida e, no entanto, desperdiçada.

Isso significa que além dos impactos já citados sobre a utilização dos recursos hídricos e recursos energéticos, a relação direta entre perdas de água e consumo de energia elétrica no Brasil referentes a esses volumes perdidos indicou o desperdício de 4,09 TWh/ano de energia elétrica consumida que, no caso, repercutiu em prejuízo de 1,13 bilhão de R\$/ano² em 2013.

² A despesa com consumo de energia elétrica no ano de 2013 foi de 3,07 bilhões de reais (BRASIL, 2015).

Vale comentar, ainda, que considerando o consumo *per capita* de energia elétrica no Brasil de 2.295 kWh/hab.ano em 2013 (BRASIL, 2014b), estima-se que somente com a energia elétrica consumida e perdida nos serviços de abastecimento de água seria possível atender uma população de 1.782.135 habitantes no mesmo período. No caso, seria possível atender por um ano inteiro qualquer capital estadual no País, exceto Manaus-AM, Fortaleza-CE, Salvador-BA, Belo Horizonte-MG, Rio de Janeiro-RJ, São Paulo-SP, Curitiba-PR e Brasília-DF³.

Considerando, ainda, o consumo *per capita* de água de 166,13 l/hab.dia estima-se que seria possível abastecer com os 10,14 bilhões de m³/ano perdidos em 2013 (BRASIL, 2015) uma população de 98,46 milhões de pessoas ao longo do ano, ou seja, beneficiar com sobras toda a população da região sudeste brasileira, que no referido período possuía 84,46 milhões habitantes.

Nesse contexto de perdas de águas e de desperdício de energia elétrica capazes de atender regiões inteiras do Brasil, vale observar a Lei Federal N°. 11.445/2007⁴ que prevê a ampliação progressiva dos serviços de água no País. Com a universalização do atendimento de água, haverá uma demanda maior ainda por água e energia elétrica no País.

Assim sendo, considerando o fraco desempenho brasileiro quanto ao uso racional de água e energia elétrica em SAA, surge reflexão sobre os impactos ambientais já mencionados sobre demanda de água e energia que, teoricamente, crescerão à medida que forem implantados novos SAA ou ampliados os já existentes. Logo, a problemática das perdas de água e de energia elétrica consumida em SAA se tornou entrave fundamental para o alcance dos objetivos do milênio para sustentabilidade econômica, social e ambiental.

³ Cálculo considerando a estimativa populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2013.

⁴ Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

A necessidade de recursos hídricos e consumo de energia elétrica para suprir a demanda da expansão dos serviços de água requer preparo para esse novo desafio que é o de equilíbrio num cenário de uso insustentável de recursos hídricos e de crise energética (GALVÃO e BERMANN 2015; REGO et al. 2013; TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Apesar do inegável prejuízo com as perdas hidroenergéticas em SAA (perdas de água e perdas de energia elétrica consumida) apresentados até então, os métodos difundidos e consolidados de avaliação de desempenho não atendem aos interesses energéticos, ou seja, são incompletos. Por exemplo, o Balanço Hídrico⁵, apesar de ser o método mais utilizado para avaliação de perdas de água, não quantifica as parcelas energéticas consumidas pelos volumes de água contabilizados no sistema.

Relacionando as perdas reais de água, determinadas na aplicação do Balanço Hídrico, com o consumo de energia elétrica (como foi feito nesse capítulo para exprimir a energia elétrica consumida e perdida no Brasil), os resultados ainda são subestimados. Pois na aplicação do balanço hídrico se quantifica apenas os volumes de água potável produzido, deixando de lado grandes quantidades de energia elétrica consumidas pelos volumes de água perdidos nas etapas de captação e tratamento de água bruta.

Visando suprimir a deficiência na avaliação hidroenergética de SAA são utilizados alguns indicadores que relacionam consumo de energia elétrica, volumes bombeados e despesas de bombeamento, como, por exemplo, o indicador de consumo específico que é o relacionamento entre o consumo de energia elétrica e o volume produzido – kWh/m³ – (BRASIL, 2010). Contudo, os atuais indicadores não apresentam a visão geral do sistema e não quantificam os volumes de água e energia de forma correta, pois desconsideram que o mesmo volume de água passa por diferentes unidades e equipamentos, incorporado quantidades de energia elétrica em distintas fases da obtenção, tratamento e distribuição (PEREIRA e CONDURÚ, 2014).

⁵ O Balanço Hídrico é baseado na análise do maior número possível de pontos existentes de medição de volumes no SAA, para posterior subtração do volume total de entrada pelo medido na saída do mesmo e foi desenvolvido pela International Water Association.

Além disso, existem métodos que se baseiam, inclusive, na energia dissipada em tubulações para identificar as perdas de energia incorporada aos volumes de água e perdas de energia por atrito ao longo das tubulações, resultando em quantidade de energia entregue ao consumidor (CABRERA et al. 2010). Porém, a aplicabilidade do método de auditoria requer nível de conhecimento das redes de distribuição que os países em desenvolvimento ainda estão distantes de conseguir. O método também não considera a análise agregada de consumo de energia elétrica pelo mesmo volume de água, bem como a existência de importações e exportações, portanto, é incompleto e não atende a realidade atual das perdas hidroenergéticas.

Soma-se a esses fatores a falta de consenso em determinar o padrão de desempenho para SAA, pois é pequeno o sincronismo entre a concepção, o projeto e a execução das obras, o que resulta em diferentes rotinas operacionais para fornecimento de água potável. Fato que dificulta a realização de avaliações de SAA e, nesse sentido, as perdas de água e de energia elétrica consumida, ou seja, as perdas hidroenergéticas passaram a ser o problema da refente pesquisa.

Considerando todo o exposto, a Tese de Doutorado refere-se ao imprescindível desenvolvimento de metodologia para avaliação de desempenho de SAA baseado nas avaliações das perdas de água e dos consumos perdidos de energia elétrica, desde a retirada do recurso hídrico do manancial e até a entrega de água potável ao consumidor final.

A metodologia foi concebida e desenvolvida para ser compatível com as ferramentas computacionais de simulação e com os procedimentos práticos de monitoramento e controle de grandezas hidroenergéticas em SAA. Dessa forma, o mesmo pode possibilitar a visualização do distanciamento entre as condições reais e as condições da operação de referência simuladas computacionalmente do SAA, alinhando a teoria à prática de engenharia na prestação do serviço, visando melhorias nos sistemas e, sobretudo, sustentabilidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver, implementar em *software* e aplicar metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de diferentes arranjos de sistemas de abastecimento de água, visando sustentabilidade hidroenergética para o alcance de metas de uso racional de água e de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético em sistemas de abastecimento de água, baseada na quantificação de volumes de água e de consumos de energia elétrica, por meio de procedimentos de monitoramento hidroenergético e de simulação computacional da operação das unidades, etapas e sistemas;

- Desenvolver *software* incorporando a metodologia criada, com capacidade para sistematizar séries de dados de grandezas hidráulicas e elétricas, bem como calcular as perdas de água e a energia elétrica consumida e perdida, além de classificar o desempenho das unidades, das etapas e do sistema como um todo e que possua funcionalidades de gerar relatórios hidroenergéticos;

- Realizar monitoramento hidroenergético de sistema de abastecimento de água em escala real e sistematizar dados de grandezas hidráulicas e elétricas para quantificar volumes de água e consumos de energia elétrica, bem como identificar e analisar problemas nas rotinas operacionais das unidades e propor medidas para melhoria de desempenho hidroenergético;

- Realizar simulação computacional das medidas para melhorias de desempenho hidroenergético de sistema de abastecimento monitorado e sistematizar dados de grandezas hidráulicas e elétricas para quantificar volumes de água e consumos de energia elétrica, bem como definir a operação referência para o referido sistema;

- Aplicar metodologia desenvolvida, para quantificação de volumes de água e consumos de energia elétrica, referentes ao monitoramento hidroenergético e à simulação da operação referência, para avaliação do desempenho hidroenergético do referido sistema de abastecimento de água.

- Identificar o impacto financeiro das perdas de água e de energia elétrica consumida, identificando as parcelas relacionadas somente às perdas de água e somente às perdas de energia elétrica consumida, em cada unidade, em cada etapa e no SAA Guanabara.

1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho de tese foi realizado em duas etapas, para o desenvolvimento da metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, mostradas a seguir:

Etapa 1: desenvolvimento da metodologia e do software para avaliação hidroenergética de SAA

- Atividade 1.1: Definição do processo de cálculo das perdas hidroenergéticas de SAA;
- Atividade 1.2: Estabelecimento de formulações para cálculo das perdas hidroenergéticas de SAA;
- Atividade 1.3: Implementação da metodologia de avaliação hidroenergética em software.

Etapa 2: aplicação da metodologia utilizando o software desenvolvido em SAA em escala real

- Atividade 2.1: Monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas para determinação de volumes de água e consumos de energia elétrica;
- Atividade 2.2: Simulação da operação referência do SAA no Epanet 2.0 para determinação de volumes de água e consumos de energia elétrica;
- Atividade 1.1: Avaliação hidroenergética do SAA com o software desenvolvido.

1.3 ESTRUTURA DA TESE DE DOUTORADO

A Tese de Doutorado está estruturada em cinco Capítulos e, ainda, as Referências Bibliográficas, bem como Anexos.

No Capítulo 1, é apresentada a Introdução à Tese, onde é abordado o cenário atual das perdas de água e dos consumos perdidos de energia elétrica em SAA, bem como apresentados dados quantitativos sobre o tema e sobre a importância da pesquisa para a melhora do cenário investigado. Além disso, é apresentada, ainda, breve explanação sobre os aspectos metodológicos, assim como sobre a estrutura da Tese de Doutorado.

No Capítulo 2 são abordados os temas de relevância para o desenvolvimento e aplicação da metodologia proposta: conhecimento do SAA de acordo com a Teoria Geral de Sistemas (a qual alijerça a concepção de desempenho hidroenergético utilizada na pesquisa), problemas hidroenergéticos na operação de SAA, monitoramento e ferramentas computacionais para SAA (com foco nas medições de vazão e pressão, além de medições de consumo de energia elétrica) e avaliação de desempenho de SAA.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e os métodos utilizados na pesquisa para o desenvolvimento da metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de sistemas em abastecimento de água. É mostrado, ainda, que a pesquisa foi desenvolvida em duas etapas distintas: a primeira referente ao desenvolvimento da metodologia proposta e sua implementação em software e a segunda referente à aplicação da metodologia por meio de ferramenta computacional desenvolvida visando a avaliação do desempenho hidroenergética de SAA de escala real.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados da Tese de Doutorado, desde o desenvolvimento da metodologia proposta e suas formulações matemáticas para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, bem como implementação da metodologia em software e aplicação da mesma em SAA de escala real, a partir de dados de monitoramento hidroenergético e de simulação computacional da operação do SAA. No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e recomendações da pesquisa e, na sequência, são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo são apresentadas informações de relevância histórica, técnica, econômica e ambiental que justificam a abordagem do problema de pesquisa na Tese de Doutorado, com: a) Teoria Geral de Sistemas e Modelagem de Sistemas com enfoque na caracterização da infraestrutura de abastecimento de água como sistema de fato; b) No desafio do uso adequado da água e energia; c) Nas falhas dos modelos existentes para avaliação do desempenho dos SAA.

2.1 MODELAGEM DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1.1 Arcabouço Teórico: Teoria Geral de Sistemas

O período medieval (século V ao XV) é conhecido como “Idade das trevas”, pois nele houve pouco desenvolvimento da ciência e da tecnologia, sendo que os fenômenos sem explicação vinham acompanhados de respostas baseadas na linha escolástica. Porém, no início do século XVI, com o Renascimento, a ciência ganhou o reconhecimento como fonte de desenvolvimento científico e tecnológico. Nesse período, com a observação dos corpos celestes, a astronomia, com uma filosofia de mecanismos, acabou se tornando principal área do conhecimento a refutar as premissas da igreja, sendo que esse pensamento deu origem ao Mecanicismo (AZAMBUJA, 2004):

“Para entender o todo é necessário reduzi-lo a uma fração menor e compreender suas partes”.

Em meados do século XIX, foi defendida a idéia de que as propriedades de moléculas não poderiam ser derivadas, a partir das propriedades dos elementos constituintes, como por exemplo, a água que não teria as mesmas características das moléculas de hidrogênio e oxigênio, nem isoladas e nem somadas, ou seja, que o todo é mais do que apenas a soma das partes. Nesse caso, o filósofo expressa que a forma com que essas duas moléculas se relacionam entre si, deve ser considerada. Desde 1940, essa linha de pensamento têm avançado dentro da biologia, sociologia e várias outras ciências, sob a forma de teorias de sistemas, que se baseiam na ideia de que as relações

decorrentes em fases complicadas de integração podem produzir novas características, imprevisíveis para o sistema (HANNE, 2011).

O todo passou a ser chamado, então, de sistema, passando a ter elementos com inter-relações entre si e, portanto, entendido como além da soma de suas partes. Desde a década de 1970, a partir do conceito de sistemas, os níveis de organização (social, psicológico e biológico) começaram a ser entendidos de outra forma: todos ligados uns aos outros e uns sendo afetados pelas mudanças dos outros. Segundo a abordagem sistêmica:

“O todo é mais do que a soma das partes, para entendê-lo é necessário entender inter-relações entre essas partes”.

Nesse contexto, surgiu a Teoria Geral de Sistemas (TGS), que tem como metas formular teorias que tem de sistemas generalizados, isto é, a formulação de princípios que são válidas para “sistemas” em geral, independentemente da natureza de seus elementos componentes e as relações ou "forças" entre eles (BERTALANFFY, 2008). Foi concebida como uma ciência do todo, para superar ou complementar as abordagens mecanicista/reducionistas (DRACK e SWHARZ, 2010; MELE, PELS, POLESE, 2010). É, portanto, perspectiva teórica que analisa fenômenos vistos como todo com foco nas suas interações, a fim de compreender a organização, o funcionamento e os resultados de uma entidade e não como soma de partes elementares (MELE; PELS; POLESE, 2010). Por fim, é aplicável a várias ciências empíricas e a diversos campos científicos, tais como a termodinâmica, a experimentação biológica e médica, a genética etc. (BERTALANFFY, 2008).

Sistemas são conjuntos de elementos interativos e relacionados cada um ao seu ambiente de modo a formar um todo (SILVA, 2001), com atributos e funções próprias, conectados em uma estrutura e interagindo entre si e o meio externo de forma organizada (RIBEIRO, 2002). Podem ser conceituados também como qualquer entidade, conceitual ou física, composta de partes inter-relacionadas, interatuantes ou interdependentes, dotada de um objetivo (CARAVANTES et al., 2005), ou que desenvolvem funções ou atividades de forma dinâmica para atingir um ou mais objetivos e propósitos (CHIAVENATO, 2007). São encontrados na natureza, na ciência, na sociedade, em contexto econômico e dentro de sistemas de informação e, a partir de uma perspectiva sistêmica, todos os sistemas, em certo nível, estão relacionados à supra sistemas e subsistemas (MELE; PELS; POLESE, 2010).

Em resumo sistemas são, então, conjuntos de elementos que interagem dentro de ambientes trocando matéria, energia ou informação visando objetivo comum, devendo possuir (BERTALANFFY, 2008): a) *elementos*, que são unidades que compõem os sistemas, onde é importante ressaltar que os elementos podem ser subsistemas de um todo maior; b) *relações entre elementos*, que pode ocorrer através de troca de informação, matéria etc.; c) *objetivo comum*, que é o objetivo através das interações dos seus elementos; d) *meio externo*, que é a parte externa ao sistema e que não está submetida ao seu controle, podendo haver trocas entre os sistemas e o meio – energia, informação e etc. – podendo um influenciar o outro.

Para compreensão dos sistemas, os mesmos podem ser representados e compreendidos por meio da sua modelagem, ou seja, sua representação por meio de equações matemáticas, modelos cognitivos etc. A modelagem pode ser compreendida como sendo uma representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que surja como interesse de pesquisa (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos configuram-se como representações abstratas ou não, com o objetivo de contribuir com o estudo do comportamento do objeto/entidade modelado, por meio de analogia entre aquilo que se sabe e aquilo que se quer entender/conhecer/simular/prever, apresentando uma conexão entre a teoria e os dados (BATISTA, SALVI e LUCAS, 2011). São, ainda, réplicas, isto é, idealizações que replicam ou copiam a realidade, cujas propriedades podem ser reais, mas que eventualmente são conveniências, pois ajudam a dar consistência ao modelo e a aplicar a teoria, mas não são necessariamente propriedades a serem encontradas em situações reais, podendo ser classificados em (DUTRA, 2005):

a) Modelos icônicos: representações físicas que guardam semelhanças estruturais visando comparação entre as características físicas de dois sistemas, bem como admitir representações linguísticas que não são icônicas, mas simbólicas. São exemplos de modelos icônicos, as plantas de engenharia, fotografias e/ou desenhos esquemáticos etc.;

b) Modelos matemáticos: representações verbais que descrevem extensionalmente as propriedades fundamentais de outras estruturas ou sistemas. São exemplos de modelos matemáticos, as formulações de cálculo de vazão, perda de carga em tubulações etc.;

c) Modelos nômicos: representações escritas que descrevem, estruturalmente ou em detalhe, o comportamento de outras estruturas ou sistemas, visando comparação ou não. Tem-se como exemplos de modelos nômicos os detalhamentos operacionais de SAA.

Existem três categorias de modelos do âmbito do conhecimento e detalhamento interno dos sistemas, no caso os modelos caixa branca, os caixa preta e os caixa cinza (KHAN, 2012). Nos modelos caixa branca, ocorre investigação detalhada da lógica interna e da estrutura do sistema, onde é dado ao investigador o pleno conhecimento do sistema. Nos modelos caixa preta, ocorre modelagem sem ter qualquer conhecimento interno do sistema, ele apenas examina os dados de entrada e saída, sendo. No intervalo, estão os modelos caixa cinza, onde é dado ao analista o conhecimento limitado do sistema.

Nesse sentido, a modelagem é importante técnica para o conhecimento de sistemas e seus comportamentos, bem como de seus elementos e inter-relações entre os mesmos. Logo, a modelagem de sistemas reais pode proporcionar importantes indicativos de como o mesmo pode operar em condições de excelência ou em condições de deficitárias, desde que a mesma apresente informações suficientes para compreendê-los e nesse sentido, a simulação é ferramenta importante para avaliar o desempenho.

Atualmente, as ferramentas computacionais são essenciais para a ciência e existem diversos softwares, gratuitos ou pagos, disponíveis no mercado que possibilitam por meio da abordagem teórica apresentada o entendimento de sistemas. No caso de sistemas de abastecimento de água, são exemplos dessas ferramentas o *AutoCad* e o *ArcGis* para modelos icônicos e o *Crede*, o *MikeNet*, o *WaterCad* e o *Epanet* que são resultados, principalmente, de modelos matemáticos.

Outras ferramentas que podem ser importantes são as linguagens de programação, tais como *Fortran*, *Java*, *Visual Basic*, *MatLab*, *C++* etc. (podem ser utilizadas para modelos matemáticos ou icônicos). No entanto, antes de pensar em modelar sistemas de abastecimento de água, é importante entender como essas infraestruturas podem ser compreendidas sob a ótica da TGS.

2.1.2 Abastecimento de água sob a ótica da Teoria Geral de Sistemas

As antigas civilizações do Novo Mundo (*i.e.* Maias, Astecas e Incas) desenvolveram tecnologias sofisticadas para abastecimento de água (ANGELAKIS et al., 2012). Os romanos, por exemplo, desenvolveram sistemas centralizados de aquedutos e de coleta de água que utilizavam vários tipos de sistemas de pequeno porte para succionar água de poços e fontes (JUUTI, KATKO, VUORINEN, 2007).

As partes componentes que efetuam funções específicas no abastecimento de água, desde a retirada de água do manancial até o encaminhamento de água potável ao consumidor final são: captação de água, estação elevatória de água bruta, adutoras, estação de tratamento de água, estação elevatória de água tratada, reservatórios e rede de distribuição:

a) Captações de água bruta: são conjuntos de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial⁶, para retirada de água para o abastecimento. Devem ser projetadas e construídas para funcionamento ininterrupto ao longo do ano, com fácil acesso para sua operação e manutenção e permitindo retiradas em quantidade suficiente de água com a melhor qualidade possível (GOMES, 2009). As fontes para captação de água visando abastecimento público podem ser encontradas em águas superficiais (doces ou salobras) ou subterrâneas (lençóis freáticos ou artesianos).

b) Estações elevatórias de água (bruta ou tratada): são componentes essenciais dos SAA e possuem, basicamente, poço de sucção e casa de máquinas (HELLER e PÁDUA, 2010, p. 511). São utilizadas da captação de água à distribuição, sendo compostas por equipamentos eletromecânicos (bomba e motor), tubulações (sucção, barrilete e recalque), instalações elétricas e construção civil (poço de sucção e casa de máquinas) (TSUTIYA, 2005, p.226).

⁶ Manancial é o corpo hídrico de onde se retira água para abastecer a população (TSUTIYA, 2005), podendo ser de águas superficiais (rios, lagos), subterrâneas (encosta, fundo de vale, poços) ou pluviais (GARCEZ, 1976).

c) Adutoras: são condutos, tubulações ou canais, encarregados do transporte de água entre unidades do SAA que precedem a rede de distribuição de água e são projetadas de acordo com a norma NBR 12.215 de 1991 “Projeto de adutora de água para abastecimento público”. No caso de existirem derivações de uma adutora destinadas a conduzir água até outros pontos do sistema, constituindo canalizações secundárias, as mesmas receberão denominação de subadução e podem ser de água bruta ou água tratada (AZEVEDO NETTO et al., 2002; HELLER e PÁDUA, 2010):

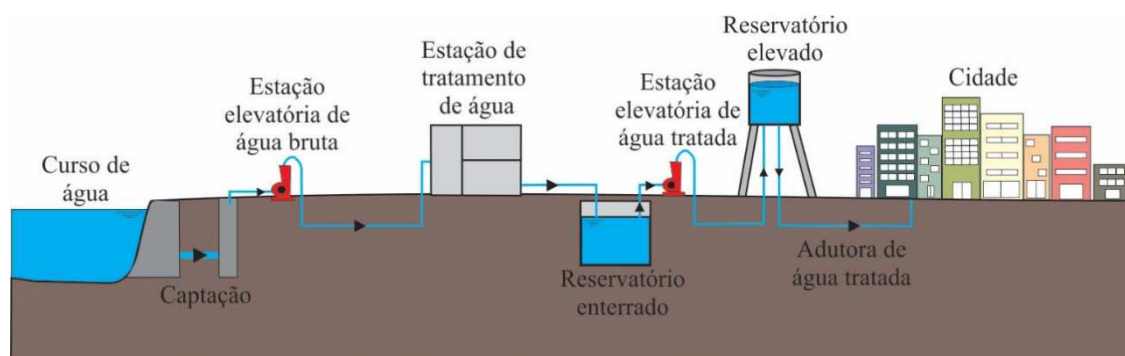
d) Estações de Tratamento de Água (ETA): são destinadas a realizar o processamento da água bruta, cuja qualidade varia em função da natureza do solo de onde são originárias, das condições climáticas e do grau de poluição que lhes é conferido, especialmente, por despejos municipais e industriais. Por isso, são empregados, então, diferentes operações e processos unitários, como, por exemplo, micro peneiramento, aeração, coagulação, floculação, flotação etc. a fim de que se torne a água adequada ao consumo humano. (SANTOS FILHO, 1985, p.5; CEBALLOS, DANIEL e BASTOS, 2004, p.25; BRASIL, 2004).

e) Reservatórios: são unidades de SAA destinadas a regularizar as variações horárias entre as vazões de adução e de distribuição. Devem estar localizados, de maneira que, propiciem pressão estática máxima sob condição de consumo nulo de 500 kPa (50 mca) e pressão dinâmica mínima sob condição de consumo não nulo de 100 kPa (10 mca) (AZEVEDO NETTO et al, 2002; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994g).

f) Rede de distribuição: é composta por tubulações e órgãos acessórios; responsável por conduzir, de maneira ininterrupta, água potável, em quantidade e pressões recomendadas, aos consumidores de determinada cidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1994h; AZEVEDO NETTO et al, 2002). São formadas, basicamente, por canalizações dos tipos principal e secundária: a rede principal (conduto tronco ou canalização mestra) consiste em tubulações, de grandes diâmetros, que abastecem as tubulações de menor porte (canalizações secundárias) e os condutos secundários têm menor diâmetro, tendo o papel de conduzir a água aos pontos de consumo do SAA (HELLER e PÁDUA, 2010).

Considerando a necessidade local, o SAA pode apresentar distintos arranjos dessas partes componentes, possuindo todas (SAA convencional) ou não (SAA simplificado) e, nesse sentido, na Figura 1 é apresentada concepção constituída por todas essas componentes, ou seja, SAA convencional.

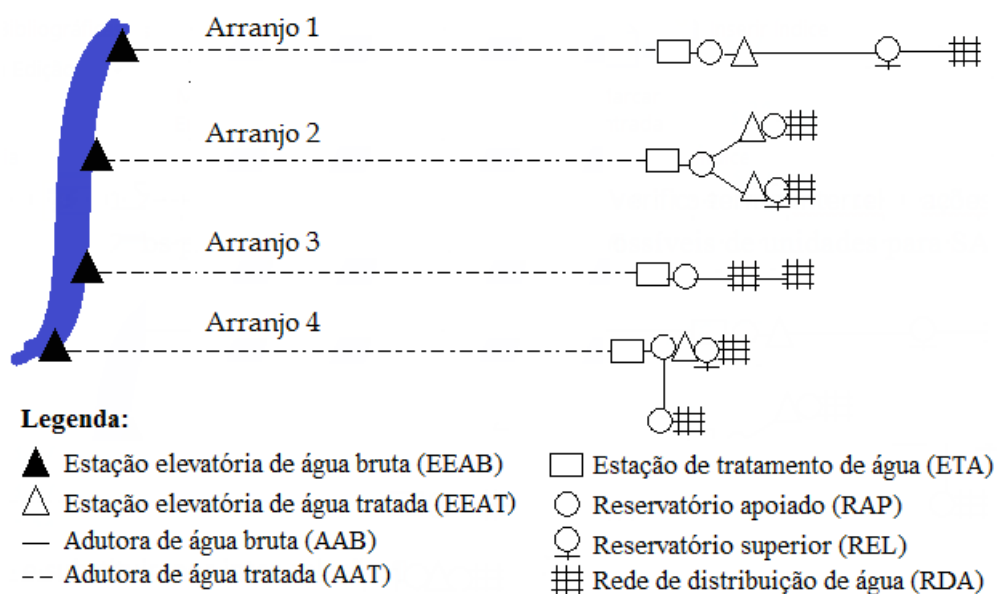
Figura 1: sistemas de abastecimento de água convencional.



Fonte: Tsutiya (2005).

No entanto, o SAA pode ter diversos arranjos de unidades para realizar captação, tratamento e distribuição de água, seja ela superficial ou subterrânea e na Figura 2 é possível observar alguns exemplos criados para representação desses arranjos.

Figura 2: Exemplos de arranjos de unidades de SAA.



Fonte: autor.

Tendo conhecimento básico do que é SAA, a partir da ótica da TGS sobre o mesmo, surge possibilidade de nova abordagem para avaliá-lo, no caso, a abordagem sistêmica. Logo, para o entendimento do SAA é necessário ter conhecimento das suas partes e inter-relações entre as mesmas e, portanto, que são preponderantes para o seu desempenho. Nesse sentido, é importante identificar elementos, inter-relações entre elementos, objetivo comum e meio externo para SAA.

É possível considerar como elementos de SAA as suas partes que o compõe, no caso captação, adução, estações elevatórias, estações de tratamento, reservação e redes de distribuição. Esses elementos possuem inter-relacionamento, onde ocorre troca ou fluxo de massa e energia, respectivamente, de água e de energia hidráulica. Para exemplificar, existe fluxo de água entre a captação de água bruta e sua estação elevatória, entre a estação elevatória e a adução e assim sucessivamente e, além disso, existe transferência de energia entre o reservatório elevado e a rede de distribuição etc.

O objetivo comum dos elementos de SAA é captar água no meio ambiente e distribuí-la em quantidade suficiente e na forma potável para os consumidores. Quanto ao meio externo ao SAA, pode ser considerada a infraestrutura urbana que não seja o SAA, como habitação, esgotamento sanitário e o próprio meio ambiente como um todo.

Pelo exposto, com o objetivo de desenvolver metodologia para avaliação do desempenho hidroenergético de SAA, é necessário, então, verificar quais as principais problemáticas que podem ocorrer na operação dos elementos e que forcem o regulamento do sistema para a piora do desempenho. O conhecimento desses problemas visa identificação de ações corretivas, ou seja, ações para melhorias na inter-relação entre os elementos de SAA (que a partir desse momento serão tratadas como unidades, por conveniência conceitual já consolidada na literatura).

2.2 PROBLEMAS HIDROENERGÉTICOS NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O objetivo sistêmico do SAA é a obtenção de água da natureza, processamento da água para adequação de sua qualidade à legislação de potabilidade⁷, transporte e distribuição aos pontos de consumo, com qualidade confiável e quantidade compatível com as necessidades da população, durante 24 horas por dia e 365 dias por ano (BRASIL, 2006; HICKEY, 2008).

Em se tratando de quantidade de água potável, cada região tem suas especificidades que definem o consumo de água potável na mesma, tais como clima, padrão de vida, hábitos da população, perdas no sistema etc. (GOMES, 2009). Na Angola, por exemplo, o consumo per capita é de 15l /hab.dia, valor muito inferior aos 575 l/hab.dia nos Estados Unidos, no Brasil também são verificadas discrepâncias consideráveis como, por exemplo, entre as cidades de Recife e Porto Alegre, respectivamente, 112,3 l/hab.dia e 194 l/hab.dia (REBOUÇAS, 2006). Esses volumes consumidos fazem parte de uma quantidade maior retirada dos mananciais que representam, no caso, a demanda de água. A outra parte da demanda é considerada como perdida e ocorre por deficiência nas inter-relações entre os elementos do sistema, ou seja, pela operação inadequada ao longo das unidades do SAA.

O volume de água perdido é, portanto, o resultado que se tem ao subtrair o volume consumido efetivo do volume total retirado do manancial (demanda total de água), e é verificado desde a captação até a distribuição (quando a água tratada finalmente chega ao seu destino, no caso, ao consumidor). As perdas podem ser classificadas em reais e aparentes, onde (TSUTIYA, 2005):

i) Perdas reais: volume de água que foi produzido, mas não foi recebido pelo consumidor final, está relacionada a vazamentos nas adutoras, nos reservatórios (setoriais ou não) e rede de distribuição.

ii) Perdas aparentes: volume de água perdido devido a fatores como erros de medição (nos hidrômetros ou em outros tipos de medidores), fraudes, ligações não autorizadas e falhas no cadastro comercial. Esse tipo de perda é diretamente associado às perdas de faturamento, já que a água foi consumida, porém não foi faturada.

⁷ Portaria do Ministério da Saúde Nº. 2.914 de 12 de Dezembro de 2011, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011).

As perdas reais de água podem ser avaliadas pela diferença entre volume de entrada e o de saída em um subsistema do SAA no período considerado, de acordo com a Equação (1):

$$Perdas = V_{entra} - (V_{saída} + u) \quad (1)$$

Onde:

V_{entra} : volume de água que entra no SAA ou na sua unidade do SAA;

$V_{saída}$: volume medido na saída do SAA ou da unidade do SAA;

u : usos operacionais, emergenciais e sociais.

De acordo com relatório ano base de 2013 do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), as perdas de água variam no Brasil de 33,6% na região centro-oeste para 51,4% na região norte somente nas redes de distribuição, ambas com a energia de alto valor agregado (BEZERRA e CHEUNG, 2013; VILANOVA e BALESTIERI, 2014).

Vale observar que juntamente com a quantidade de volume de água perdida, existem componentes essenciais para obtenção, produção e distribuição de água, no caso, energia elétrica, produto químico, mão de obra, entre outros. Dos citados, a demanda por eletricidade deve ser observada e analisada com muita atenção, tendo em vista a importância, principalmente, porque o saneamento é um dos maiores consumidores. Estimativas apontam que o setor é responsável por cerca de 7% do consumo total da energia no planeta, sendo 3% usado no bombeamento e tratamento de água para consumo doméstico e industrial (RECESA, 2008).

Nos Estados Unidos, estima-se que o bombeamento de água representou cerca de 90% do consumo total de energia elétrica, que por sua vez, foi cerca de 7% do total consumido no país (ORMSBEE e WALKI, 1989; REHEIS e GRIFFIN, 1984; LITTLE, 1976). No Brasil, avalia-se que o consumo de energia elétrica pelo setor de saneamento está entre 2 a 3% do consumo total, o equivalente a cerca de 10 bilhões de kWh/ano (GOMES, 2010). Esse valor poderia ser consideravelmente inferior, tendo em vista a já mencionada ineficiência brasileira do âmbito das perdas de água e desperdício de energia elétrica, no caso, no Capítulo 1.

Nesse contexto, o consumo de energia elétrica no SAA é observado com preocupação, uma vez que atualmente já ocupa a segunda posição na pauta de custos operacionais da maioria dos prestadores de serviços de saneamento, chegando a ser primeira em alguns casos (ELETROBRÁS, 2011).

Analizando sob a ótica da TGS, além do uso racional da água, é importante abordar o consumo de energia elétrica ao longo das inter-relações entre todas as unidades de SAA, pois, quantidades consideráveis de energia elétrica consumida são desperdiçadas junto às perdas reais de água e também nas quantidades excessivas de água utilizada para fins operacionais, sobretudo, em consequência de rotinas operacionais inadequadas.

É importante observar, ainda, que os volumes de água que não foram perdidos e que demandam energia elétrica também podem possuir consumo de energia elétrica além do necessário, ou seja, excessivo, consequência novamente da operação inadequada. Portanto, é imperioso entender como funcionam os sistemas de bombeamento, ou seja, como ocorre a maior demanda por energia elétrica no SAA.

A energia referente à potência requerida do sistema elétrico passa por algumas transformações desde a retirada da rede elétrica até a propulsão dada ao fluido, sendo que basicamente ocorre da seguinte forma: a energia elétrica é retirada da rede de distribuição, passa pelo motor elétrico, é convertida em energia mecânica no eixo do motor e por fim em energia hidráulica nas bombas (GOMES, 2009).

Considerando a Potência hidráulica, convenientemente chamada de potência útil, compreende a potência efetivamente utilizada pelo fluido para seu escoamento, de acordo com a Equação (2) (GOMES, 2009):

$$P_{hid} = \gamma \times Q \times H_{man} \quad (2)$$

Onde:

P_{hid} P_{hid} : potência útil (Watt);

γ : peso específico do líquido (N/m^3);

Q : vazão (m^3/s);

H_{man} : altura manométrica (m).

Para que a bomba forneça potência, ela recebe do motor, por meio de seu eixo, a potência motriz que evidentemente deve ser maior do que a potência hidráulica, logo a potência mecânica é dada pela Equação (3) (GOMES, 2009):

$$P_m = \frac{P_{hid}}{\eta_b} \quad (3)$$

Onde:

P_m : Potência motriz (*Watt*);

P_{hid} P_{hid} : potência útil (*Watt*);

η_b η_b : rendimento da bomba;

Tem-se também que a potência requerida do sistema elétrico é dada pela Equação (4) (GOMES, 2009):

$$P = \frac{P_m}{\eta_{me}} \quad (4)$$

Onde:

P : Potência elétrica (*Watt*);

P_m : Potência motriz (*Watt*);

η_{me} η_{me} : rendimento do motor elétrico;

Igualando a Equação (3) a (4) e rearranjando, tem-se a Equação (5):

$$P = \frac{P_{hid}}{\eta_b \times \eta_{me}} \quad (5)$$

Onde:

P : Potência elétrica (*Watt*);

P_{hid} P_{hid} : potência útil (*Watt*);

η_b η_b : rendimento da bomba;

Substituindo a Equação (2) na Equação (5), tem-se a Equação (6):

$$P = \frac{P_{hid}}{\eta_b \times \eta_{me}} \quad (6)$$

Onde:

P : Potência elétrica (*Watt*);

P_{hid} P_{hid} : potência útil (*Watt*);

η_b η_b : rendimento da bomba;

η_{me} η_{me} : rendimento do motor elétrico;

Substituindo Equação (2) na Equação (6), tem-se a Equação (7).

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{\eta_b \times \eta_{me}} \quad (7)$$

Onde:

P : Potência elétrica (*Watt*);

P_{hid} P_{hid} : potência útil (*Watt*);

γ : peso específico do líquido (*N/m³*);

Q : vazão (*m³/s*);

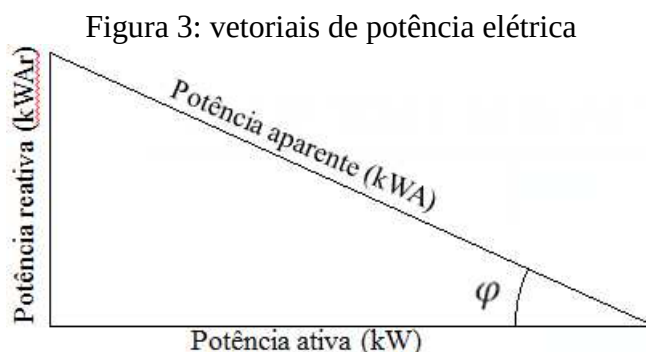
H_{man} : altura manométrica (*m*).

η_b η_b : rendimento da bomba;

η_{me} η_{me} : rendimento do motor elétrico;

Vale ressaltar que a potência elétrica apresentada não é a potência total demandada da rede elétrica, mas apenas uma parcela, denominada potência ativa. (responsável pela realização de trabalho), a outra parcela é a potência reativa (vinculada ao surgimento e manutenção de campos magnéticos no motor elétrico).

A potência ativa (kW) e a potência reativa (kW Ar), uma vez que a última é a soma vetorial das duas primeiras (SILVA, 2007), como observado na Figura 3.



Fonte: Silva (2007).

Dessa forma, é possível calcular a potência aparente (kW A), que é a potência total demandada da rede elétrica (SILVA, 2007), conforme Equação (8):

$$FP = \cos \varphi = \frac{P_{ativa}}{P_{aparente}} \quad (8)$$

Onde:

$\cos \varphi$: fator de potência;

P_{ativa} : potência ativa (kW);

$P_{aparente}$: potência aparente (kVA).

Rearranjando a Equação (8) e substituindo na Equação (7), tem-se a Equação (9) que apresenta a relação entre a potência demanda da rede de distribuição elétrica e as grandezas hidráulicas, bem como os rendimentos da bomba e do motor elétrico:

$$P_{aparente} \times \cos \varphi = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{\eta_b \times \eta_{me}} \quad (9)$$

Onde:

$P_{aparente}$: potência aparente (*kVA*).

H_{man} : altura manométrica (*m*).

$\cos \varphi$: fator de potência⁸;

η_b : rendimento da bomba;

P_{hid} : potência útil (*Watt*);

η_{me} : rendimento do motor elétrico;

γ : peso específico do líquido (*N/m³*);

Q : vazão (*m³/s*);

Portanto, considerando que o consumo de energia elétrica é igual ao produto entre a potência elétrica demandada e o tempo de duração da demanda tem-se a Equação (10).

$$E = \left[\left(\frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{\eta_b \times \eta_{me}} \right) \times \frac{1}{\cos \varphi} \right] \times t \quad (10)$$

Onde:

E : energia elétrica consumida (*Joule*)

$\cos \varphi$: fator de potência;

γ : peso específico do líquido (*N/m³*);

t : tempo de bombeamento (*s*).

Q : vazão (*m³/s*);

H_{man} : altura manométrica (*m*);

η_b : rendimento da bomba;

η_{me} : rendimento do motor elétrico;

⁸ O fator de potência é considerado adequado pela legislação que trata da tarifação de energia elétrica quando é superior ao valor de 0,92. Caso o valor identificado seja inferior, é aplicada multa ao consumidor, no caso, a concessionária de saneamento responsável pelo SAA.

Nela observa-se que o consumo de energia elétrica é dependente, principalmente, da vazão bombeada, da altura manométrica e do rendimento do conjunto motor e bomba (CMB), pois se pode considerar o peso específico da água como constante para as condições de bombeamento.

Além disso, é facilmente perceptível a importância do fator de potência nos sistemas de bombeamento, onde a diminuição do seu valor para nível abaixo do adequado faz com que ocorra demanda por maior potência aparente e, portanto maior consumo de energia elétrica.

Compreendendo, portanto, o que são as perdas de água e como ocorre o consumo de energia elétrica nos sistemas de bombeamento é possível, então, abordar os problemas hidroenergéticos nas unidades de SAA, observados e analisados sob a ótica sistêmica o inter-relacionamento entre as mesmas.

Dessa forma, serão apresentados na sequencia, para cada unidade, situações verificadas na prática e que poderão influenciar no aumento do consumo de energia elétrica, que é foco para o desenvolvimento da metodologia proposto.

2.2.1 Captação de água

Considerando que a captação de água pode ser superficial ou subterrânea (TSUTIYA, 2005), é importante verificar como a operação das mesmas pode ocorrer influenciar no consumo de energia elétrica.

Sendo assim, o primeiro ponto abordado é o da qualidade da água dos mananciais, onde é imprescindível citar os problemas de incrustações e corrosões ocorridos, por exemplo, pela pós-precipitação do Carbonato de Cálcio, do Ferro, Manganês, Alumínio, Chumbo, Zinco, etc. (WEIGERT E RATTMANN, 1997).

Nesses casos, a principal consequência é a mudança dos coeficientes de rugosidades nas unidades seguintes, até que provavelmente na ETA, o problema seja mitigado. Vale ressaltar que o aumento da rugosidade em tubulações e, também em casos extremos, a diminuição do diâmetro útil das mesmas, faz com que aumente a altura manométrica, em função do aumento da perda de carga.

Dessa forma, para bombear o mesmo volume de água é necessário utilização de maiores quantidades de energia elétrica, fazendo com que ocorra o excesso, que nesse caso, pode ser considerado como energia elétrica consumida perdida.

Em se tratando especialmente de captação de água superficial, a má operação de sistemas de segurança na tomada de água, como por exemplo, nas caixas de areia, ou nos gradeamentos, pode causar passagem de sólidos grosseiros e/ou de objetos estranhos nos sistemas de bombeamento de água podendo causar danos nos rotores e nas instalações hidráulicas.

Nesse contexto, os danos, principalmente, nas bombas podem diminuir o rendimento das mesmas e conseqüentemente sua capacidade de vazão. Logo, para que a mesma obtenha os mesmos volumes será necessário maior consumo de energia elétrica.

Outro ponto importante é o controle operacional dos níveis de água nas tomadas, pois a operação abaixo dos níveis apropriados pode fazer com que o CMB opere fora da faixa adequada de altura manométrica diminuindo a vazão e aumentando o tempo de funcionamento, tendo como consequência o aumento do consumo de energia elétrica nos sistemas de bombeamento.

2.2.2 Estações Elevatórias de Água

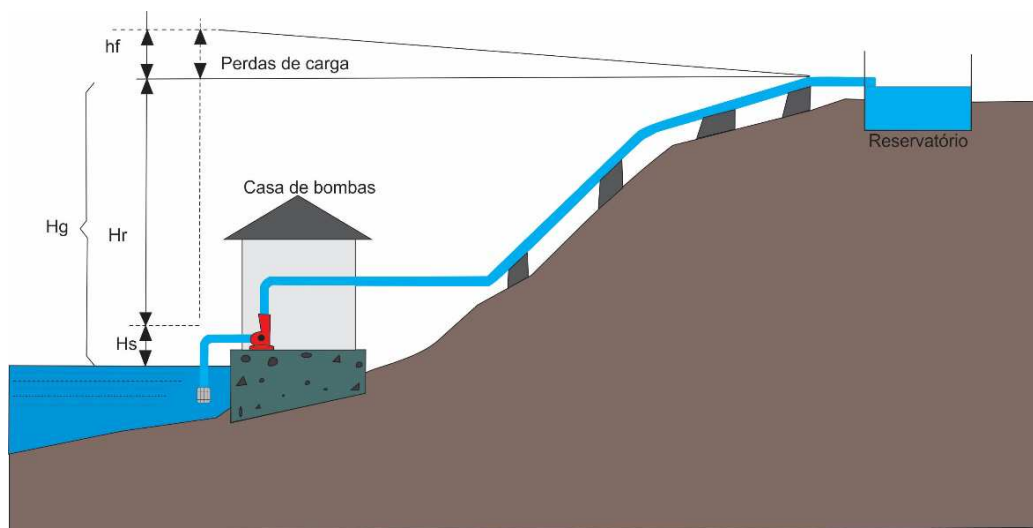
Nas EEA, os sistemas de bombeamento devem fornecer energia ao líquido em questão para que o trabalho relacionado ao seu peso no deslocamento seja vencido (MACINTYRE, 1997).

Em outras palavras, deve fazer determinado volume de água vencer a diferença de nível entre dois pontos, a qual é denominada altura geométrica total (H_g), cujo valor é igual à soma entre os valores da altura geométrica de sucção (H_s), da altura geométrica de recalque (H_r) e da perda de carga em todo percurso a ser realizado pela água (h_f).

A perda de carga por sua vez, é igual à soma entre os valores da perda de carga localizada (h_{fL}) e da perda de carga distribuída (h_{fD}).

Logo, a soma entre a altura geométrica total H_g e a perda de carga total (H_f) é igual à altura manométrica (H_{man}), conforme observado na Figura 4 (AZEVEDO NETTO et al, 2002).

Figura 4: estação elevatória de água.



Fonte: Tsutiya (2005).

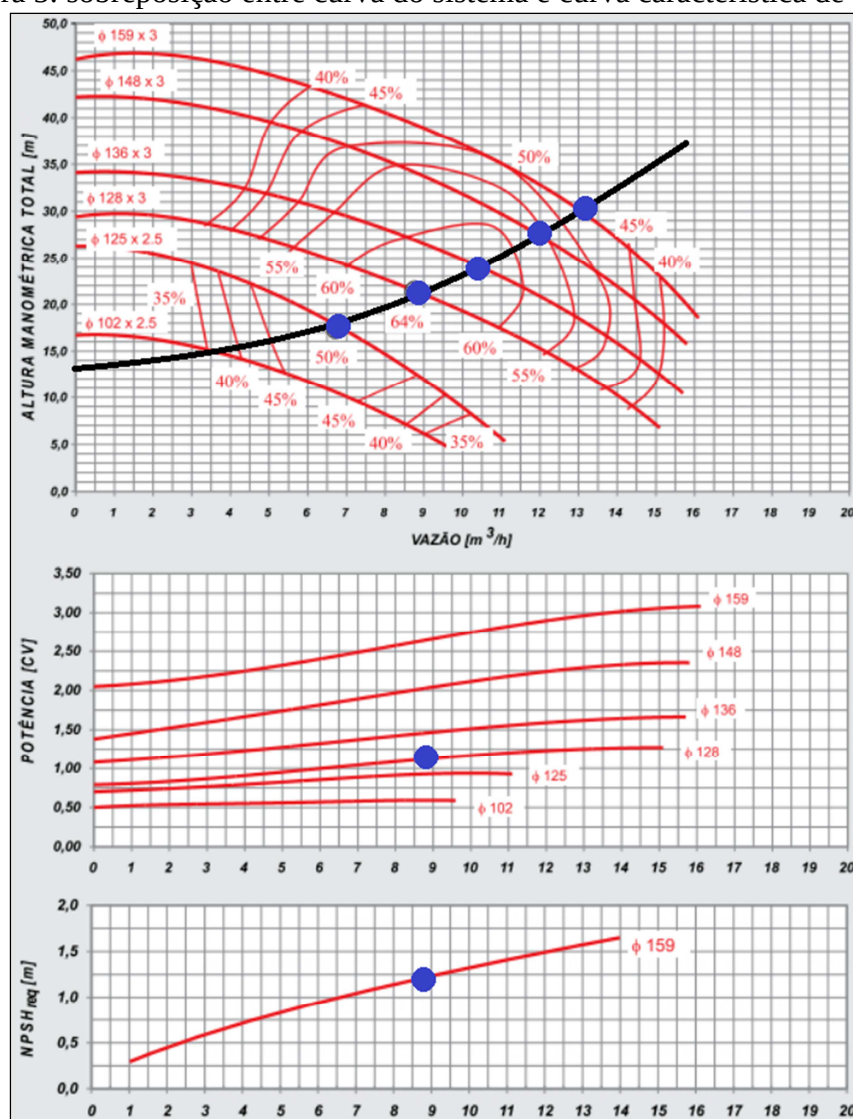
Nessas unidades, o CMB é o equipamento que mais demanda energia elétrica e é responsável por maior parte da sua despesa. Estima-se que durante sua vida útil, 3% do custo total com sistemas de bombeamento são para a sua aquisição e 74% são para o consumo de energia elétrica (BARRY, 2007).

Nesse caso, ressalta-se o valor elevado de consumo de energia elétrica perdido em sistemas de abastecimento de água mencionados no Capítulo 1, onde 4,09 TWh/ano de energia elétrica consumida são desperdiçadas causando prejuízo de 1,13 bilhão de R\$/ano⁹ em 2013.

⁹ A despesa com consumo de energia elétrica no ano de 2013 foi de 3,07 bilhões de reais (BRASIL, 2015).

Por meio de ensaios de laboratório, os fabricantes de bombas fornecem as curvas características das bombas: a curva de altura manométrica em relação à vazão – $H \times Q$ – (primeira na Figura 5) a curva de potência em relação à vazão – $P \times Q$ – (segunda na Figura 5), a curva que relaciona o *Net Positive Suction Head* requerido e a vazão de bombeamento – $NPSH_r \times Q$ – (terceira na Figura 5) (THEBE, 2005). A sobreposição da curva do sistema hidráulico¹⁰ sobre as curvas $H \times Q$ de uma família de bombas, resulta em vários pontos de operação da bomba, sendo que a curva mais indicada será aquela que apresentara o maior rendimento.

Figura 5: sobreposição entre curva do sistema e curva característica de CMB.



Fonte: Thebe¹¹ (2009).

¹⁰ É a curva desenvolvida com a variação de valores de vazão no cálculo de altura manométrica de determinada instalação hidráulica.

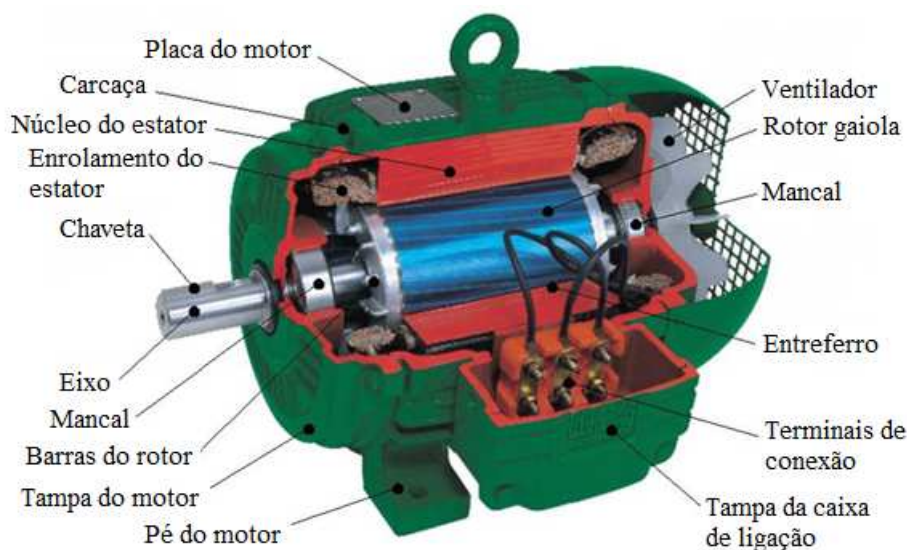
¹¹ THEBE. Catálogo geral de curvas. Disponível em: <<http://www.thebe.com.br/pdf/catalogo/TH-16%20-%20THA-16.pdf>> Acesso: 02 jan 2012.

Como as necessidades de vazão e altura manométrica dependem dos sistemas hidráulico e eletromecânico em questão, nem sempre uma única bomba é o suficiente para as EEA (MACINTYRE, 1997), nesses casos a associação de bombas em série ou em paralelo são alternativas interessantes para o alcance de pontos de operação.

A associação em paralelo resulta no aumento da vazão a ser bombeada na EEA (GOMES, 2009). A associação de bombas em série é utilizada quando o sistema necessita de uma altura manométrica muito elevada em relação à vazão de bombeamento (SANTOS, 2007; GOMES e CARVALHO, 2012) e cada bomba é responsável por uma parte da carga manométrica total da associação (TSUTIYA, 2005).

Sobre os motores elétricos que retiram energia elétrica da rede de distribuição, os assíncronos (ou de indução) trifásicos são largamente os mais utilizados em sistemas de bombeamento desde pequenas até as grandes potências. Compõe um motor de indução trifásico: a carcaça, o núcleo do estator o enrolamento do estator, a chaveta, o eixo, os mancais, as barras do rotor, a tampa do motor, entre outras observadas na Figura 6 (TSUTIYA, 2005, p. 234).

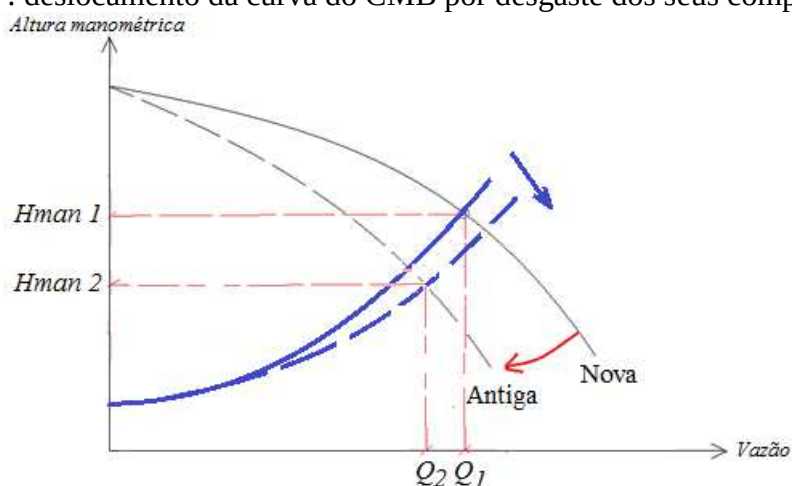
Figura 6: motor elétrico assíncrono (ou de indução) trifásico.



Fonte: Tsutiya (2005, editado).

Com o passar do tempo o equipamento eletromecânico do sistema de bombeamento vai perdendo as características iniciais, se tornando cada vez menos eficiente. Isso ocorre, principalmente, pelo desgaste das gaxetas, ajustes inadequados e pressões elevadas. Como consequência, tem-se o deslocamento das curvas “ $H \times Q$ ” da bomba e do sistema hidráulico para baixo e, dessa forma, o CMB fornecerá carga hidráulica menor com uma vazão bombeada também menor, conforme observado na Figura 7 (SANTOS, 2007).

Figura 7: deslocamento da curva do CMB por desgaste dos seus componentes.



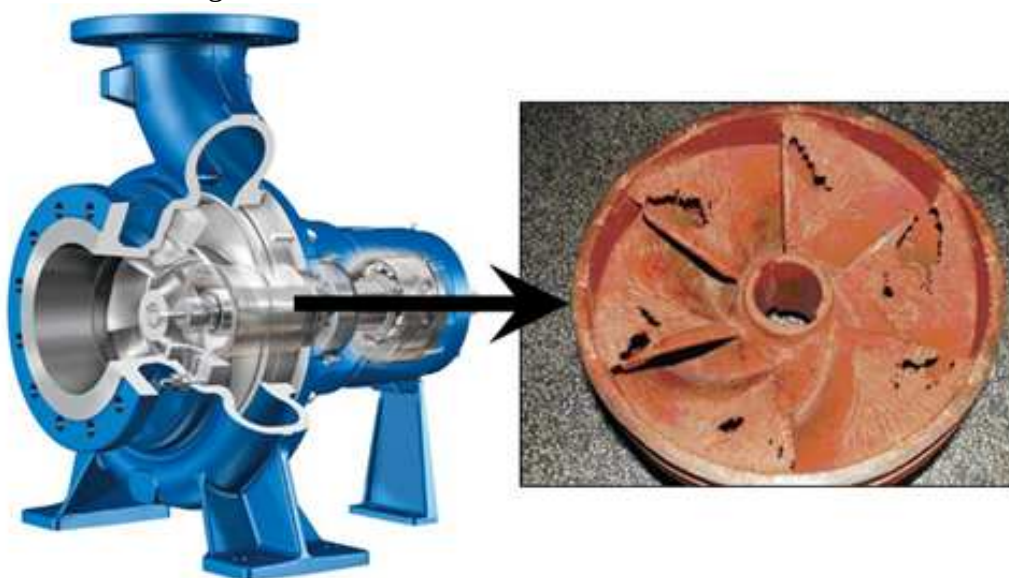
Fonte: Santos (2007, modificado).

Sob a ótica sistêmica, o deslocamento da curva de bomba é um importante inter-relacionamento entre unidades do SAA que ocasiona aumento do consumo de energia elétrica, pois para atingir a altura manométrica necessária para entregar o volume de água no destino requerido, o motor elétrico acaba demandando mais energia que o habitual e prolongando o tempo de funcionamento para chegar ao volume bombeado necessário. Esse excedente de energia elétrica consumida acaba sendo perdido quando o consumo real que foi elevado por ineficiência operacional é comparado a uma situação de referência, na qual o sistema opera corretamente.

Outro ponto a ser verificado está relacionado ao *NPSH* e, no caso, durante o funcionamento do sistema elevatório de água, mais especificamente na bomba, pode ocorrer diminuição de pressão no fluido ao ponto do líquido atingir seu ponto de tensão máxima de vapor (pressão de vaporização), resultando na formação de bolhas que implodem em regiões de pressões mais elevadas (COOPER, 1976).

Ao referido fenômeno é dado o nome de cavitação e dentre as consequências mais graves da mesma, está a erosão causada pela mencionada implosão das bolhas de vapor contra as pás do impulsor e carcaça, que resulta em ruídos, vibrações e danos (observados na Figura 8) e diminuição da eficiência da bomba (TSUTIYA, 2005).

Figura 8: rotor cavitado de uma bomba hidráulica.



Fonte: Notas de aula (Eletrobrás, 2014).

Para que uma bomba trabalhe sem cavitatar, torna-se necessário que a pressão absoluta do líquido na entrada da bomba, seja superior à pressão de vapor, à temperatura de escoamento do líquido e, nesse sentido, é utilizada a Equação (11) para dimensionamento de bombas de forma segura (AZEVEDO NETTO et al, 2002).

$$\frac{P_{atm}}{\gamma} - \left(\pm H_{s_{max}} + \frac{P_v}{\gamma} + h_s \right) \geq \Delta H^* + \frac{V_1^2}{2g} \quad (11)$$

Onde:

P_{atm} é a pressão atmosférica;

$H_{s_{max}}$ é a altura de sucção máxima;

P_v é a pressão de vapor;

γ é o peso específico da água;

ΔH é a diferença de cota entre as tomadas de pressão de sucção e de recalque;

O membro esquerdo da equação representa o NPSH disponível na instalação hidráulica e o membro direito representa o NPSH requerido pela bomba (informação do fabricante). É perceptível, então, que o único item que se tem domínio no dimensionamento da bomba para que a mesma não cavite é a altura de sucção e, portanto, deve se ter atenção especial nesse quesito ao projetar e operar sistemas de bombeamento para evitar problemas de cavitação e, conseqüentemente, aumento no consumo de energia elétrica.

Por fim, vale ressaltar as perdas reais de água nas EEA, que fazem com que todo o consumo de energia elétrica inerente a esses volumes também sejam perdidos no SAA, logo há a necessidade do bombeamento de quantidades cada vez maiores de recursos hídricos nas unidades à montante (quando existentes) por meio do aumento do tempo de funcionamento das EEA e, portanto, elevando o consumo de energia elétrica.

2.2.3 Adutoras

Com o envelhecimento da instalação hidráulica das adutoras de água bruta ou água tratada, os valores do coeficiente “C” de perda de carga de Hazen-Williams diminuem sensivelmente, como observado na Tabela 1, e no caso da rugosidade “e” para a formulação universal, os mesmos aumentam, conforme Tabela 2.

Tabela 1: exemplos de coeficientes C, sugeridos para Hazen-Williams.

Tubo	Novos	± 10 anos	± 20 anos
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
PVC	140	135	130

Fonte: Azevedo Netto et al. (2002).

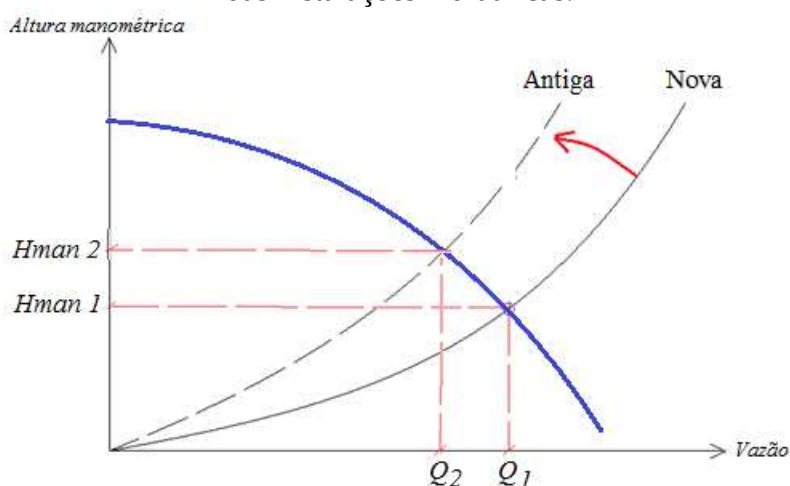
Tabela 2: exemplos de coeficientes e, sugeridos para Fórmula de Darcy-Weisbach.

Tubo	Novos	± 10 anos
Aço galvanizado	0,00015 m	0,0046 m
Ferro fundido	0,00025 m	0,0030 m
PVC	0,0001 m	—

Fonte: Azevedo Netto et al. (2002).

Com o aparecimento de aumento de rugosidade nas instalações hidráulicas ocorrerá o deslocamento da curva do sistema “ $H \times Q$ ” para cima (em função do aumento das perdas de carga), que resulta na diminuição da vazão bombeada, conforme observado na Figura 9 (SANTOS, 2007), e nesse sentido para recalcar o volume de água necessário ocorre o aumento do tempo de bombeamento e, portanto, aumento do consumo de energia elétrica.

Figura 9: deslocamento da curva do sistema por envelhecimento das instalações hidráulicas.



Fonte: Santos (2007, modificado).

Além disso, consumo de energia elétrica está relacionado aos volumes de água perdidos em vazamentos nas adutoras, onde as principais causas estão relacionadas aos materiais utilizados e ao envelhecimento dos mesmos, às obras mal executadas e à operação com pressões superiores aos limites da tubulação. Outras causas dos vazamentos são carga de tráfego, agressividade do solo (corrosão externa), movimentos de terra ocasionados por obras, deslizamentos etc. (TSUTIYA, 2005).

Nesse sentido, as perdas reais de água nas adutoras, que fazem com que todo o consumo de energia elétrica inerente a esses volumes também sejam perdidos no SAA, logo há a necessidade do bombeamento de quantidades cada vez maiores de recursos hídricos nas unidades à montante (quando existentes) por meio do aumento do tempo de funcionamento das EEA.

2.2.4 Estações de Tratamento de Água

A ocorrência de perdas de água em ETA pode variar entre 2 a 10% e está relacionada a vazamentos e extravasamento, bem como ao excesso de volume de água utilizado na lavagem dos filtros, nos floculadores, nos decantadores e nas descargas de lodo, ou seja, consequências de rotinas operacionais inadequadas, ou, ainda a impermeabilização e a estanqueidade insuficiente de comportas (WERDINE, 2002; BRASIL, 2004; ACHON, 2008). Nesses casos, ocorre maior demanda de água nas unidades à montante da ETA, fazendo com que as EEA efetuem bombeamento de água por ciclos cada vez mais prolongados, aumentando dessa forma o consumo de energia elétrica.

Vale ressaltar que, da mesma forma, que a qualidade da água bruta pode influenciar no consumo de energia elétrica em SAA, fato apresentado para as unidades de captação, a qualidade da água tratada também pode. As incrustações e corrosões causadas, principalmente, pela má operação nas ETAs podem influenciar negativamente nas unidades posteriores, por meio da diminuição de diâmetros úteis das tubulações e aumento da rugosidade das mesmas. Nesse sentido, ocorre a elevação dos valores de altura manométrica e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica nas unidades à jusante.

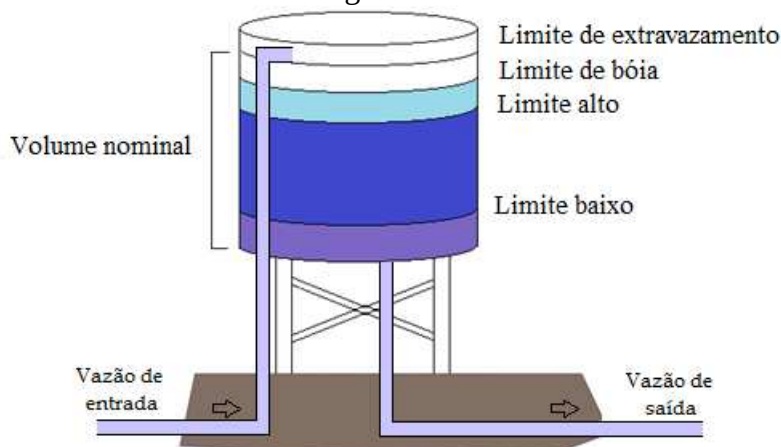
2.2.5 Sistemas de reservação

Visam segurança no abastecimento de água por determinado período em casos de interrupção no funcionamento do sistema, de falta de energia, de manutenção, etc.; sendo que em casos de incêndio, fornecem o volume de água necessário para seu combate.

Além disso, no caso de reservatórios de distribuição, os mesmos operam para compensar variações horárias da demanda de água da população atendida e para fornecer níveis para manutenção das pressões adequadas nas redes de distribuição (AZEVEDO NETTO, 2002).

Os reservatórios possuem parâmetros de controle operacional como nível da lâmina líquida e vazões de entrada e saída do reservatório, dentro outros (TSUTIYA, 2005), conforme Figura 10:

Figura 10: influência da qualidade da água tratada no consumo de energia elétrica em SAA.



Fonte: Tsutiya (2005).

- Limite baixo, que é o menor nível de água no reservatório para evitar formação de vórtice e entrada de ar na tubulação de saída;
- Limite alto, que é o nível máximo do reservatório, para evitar que a boia de segurança seja acionada ou o limite de extravasamento seja atingido;
- Limite da boia, que é o nível de acionamento do mecanismo da boia responsável pelo fechamento da válvula de controle, sem necessitar de operação;
- Volume nominal, que está compreendido entre o fundo do reservatório e o limite do extravasor;
- Limite de extravasamento, que é de onde começa a ocorrer perda de água;
- Limite de folga, que é a altura correspondente entre o limite da boia e o limite alto, corresponde ao acréscimo de volume entre a emissão do alarme do limite alto e o total fechamento da válvula de controle.

A operação dos níveis de reservatórios é importante para o uso racional de energia elétrica, pois quando a operação não obedece a critérios de níveis mínimos podem ocorrer problemas, como, por exemplo, entrada de ar nas tubulações de sucção. Esses fenômenos poderão ocasionar vibração, cavitação e diminuição da eficiência da bomba e, portanto, diminuição na capacidade de bombeamento (TSUTIYA, 2005).

Outro ponto importante é o volume de reservação, pois o crescimento das zonas consumidoras nem sempre está alicerçado em planos diretores de água, o que reflete em falta de planejamento dos SAA. Nesses casos o volume de reservação dimensionado para início de plano, normalmente não atende a realidade e com isso a função de regularização de vazões dos reservatórios passa a deixar de existir, fazendo com que o mesmo funcione como caixa de passagem. Dessa forma, o sistema de bombeamento à montante da unidade opera sem pausas, podendo acarretar em perda de rendimento dos motores elétricos e, além disso, podem ocorrer também o acionamento e desligamento excessivo de motores elétricos na EEA, fatores que provocam aumento no consumo de energia elétrica.

Por fim, nos reservatórios, os vazamentos são fonte de perdas de água e ocorrem, principalmente, por má execução do projeto ou por envelhecimento da infraestrutura e, além disso, os extravasamentos, causados pela falta de controle operacional, também são causas das perdas de água. Nesse sentido, as perdas reais de água nos reservatórios também são causas do aumento do consumo de energia elétrica no SAA

2.2.6 Redes de distribuição

As pressões a que está submetida uma rede de distribuição de água são um dos principais fatores que influenciam o número de vazamentos e, nesse sentido o gerenciamento de pressões, por meio de técnicas de setorização¹², é fundamental para redução de perdas reais de água (TSUTIYA, 2005).

Além disso, o aumento indiscriminado da extensão das redes de distribuição em SAA tem tornado, cada vez mais, complexo e empírico o controle operacional, prejudicando a identificação e caracterização dos pontos de fugas (BARRETO et al., 2006). Nesses casos, a operação é realizada por profissionais que usam a experiência como meio de avaliação no controle nos sistemas de bombeamento, onde as regras operacionais utilizadas visam somente garantia do abastecimento, deixando de lado a economia de energia elétrica (COSTA, CASTRO e RAMOS, 2010). Nesse contexto,

¹² Reabilitação é uma prática antiga, que vem sendo aplicada desde a implantação das primeiras redes de abastecimento urbana e consiste na substituição de ramais e trechos de rede de distribuição de água que apresentam deficiência funcional ou problemas na qualidade do material (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

essas ações empíricas quase sempre acabam prejudicando a busca pelo consumo racional de energia elétrica em SAA.

São nas redes de distribuição de água que as perdas reais ocorrem em maior quantidade no SAA (HUNAIDI et al., 2000) e quando as mesmas são alimentadas por meio de reservatórios, a influência no consumo de energia elétrica é relacionada ao aumento do tempo de bombeamento em todas às EEA à montante. É imperioso citar, ainda, que para as redes de distribuição de água pressurizadas diretamente por sistemas de bombeamento de água, as alternativas aplicáveis para eficiência energética são tecnologias dominadas e amplamente relatadas na literatura (VILANOVA e BALESTIERI, 2014).

A economia de energia elétrica pode variar, por exemplo, de 10% a 50% a partir de estratégias de controle e operação otimizada, baseadas em dados provenientes de sistemas *supervisory control and data acquisition* (SCADA), e chegar até a 70% com uso de inversores de frequência em vez de estrangulamentos de válvula (NEW YORK STATE, 2010; JAMIESON, SHAMIR, MARTINEZ e FRANCHINI, 2007; ZHANG, XIA e ZHANG, 2012). No entanto, nenhum dos autores relata se essa economia é proveniente somente de otimização da operação de CMBs ou se também tem relação com a diminuição das perdas reais de água em função do melhor controle de pressão nas redes de distribuição.

Nesse sentido, mesmo um pequeno aumento de eficiência causada pela otimização da operação de bombeamento pode resultar em economias significativas de energia elétrica e de suas despesas (GIUSTOLISI et al., 2012). Porém, há grande dificuldade na modelagem de problemas de otimização operacional de SAA, pois a mesma envolve variáveis discretas e contínuas, bem como a incorporação de redes de malha fechada e de acoplamentos temporais ao longo do horizonte de planejamento (BURGSCHWEIGER et al., 2009).

Além disso, a otimização muitas vezes é impraticável, devido à falta de dados e de condições para a sua implementação (RODRÍGUEZ, 2012), principalmente, pelo fato de que a maioria dos sistemas possui apenas medidas de pressão de saída da bomba e de corrente do motor, as quais não indicam o desempenho operacional da bomba (AHONEN et al., 2012).

Quando a otimização da operação não é suficiente para eficiência requerida, passa-se a optar por ações como manutenção ou substituição de bombas e de motores superdimensionados por equipamentos adequados, pelo uso de motores elétricos de alta eficiência e pela eliminação de problemas de cavitação, dessa forma a manutenção correta amplia em até 10 vezes a vida útil de bombas (KAYA et al., 2008; VALDÉS e ESTEVES, 2009).

Logo, os principais fatores que influenciam o consumo de energia nesses casos são o comportamento da vazão, o dimensionamento e desempenho das bombas e dos motores, as instalações hidráulicas e os pontos de operação (TRUJILLO, 2012) e, além disso, as condições de rugosidades e diâmetros das tubulações das redes de distribuição, bem como o controle de pressões nas zonas de abastecimento. Portanto, quando as redes de distribuição são alimentadas diretamente por sistemas de bombeamento, todo o conjunto altura manométrica e vazão serão os principais fatores no consumo de energia elétrica.

Finalizando a abordagem sobre as problemáticas hidroenergéticas em SAA, é possível ter bom conhecimento de como as condições de infraestrutura e de operação das diversas unidades de SAA podem influenciar na demanda de água e no consumo de energia elétrica.

Todavia, é necessário, ainda, ter o entendimento de como levantar os dados relacionados às grandezas hidráulicas e elétricas, que quando analisados indicam essas problemáticas hidroenergéticas e possibilitam também identificação de soluções para uso racional de água e energia elétrica. Além disso, testes com mudanças na infraestrutura do SAA e aplicação de diferentes formas de operação visando uso racional de água e de energia elétrica são normalmente impraticáveis no dia a dia dos serviços de água, nesse caso, os mesmos podem ser efetuados com uso de ferramentas computacionais. Portanto, esses aspectos de monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas, bem como ferramentas computacionais que podem auxiliar avaliações hidroenergéticas serão apresentados na sequência da Tese.

2.3 MONITORAMENTO HIDROENERGÉTICO E FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA SAA

2.3.1 Monitoramento de vazão e pressão de água em SAA

Os sistemas de medição de água são importante ferramenta para identificar, diagnosticar, avaliar e aprimorar a rotina operacional de SAA, colaborando decisivamente para definição de programas e ações de redução e controle de perdas, (TSUTIYA, 2005; IETSUGU, 2012). A confiabilidade da medição de todos os volumes de água pode e deve ser componente essencial para abastecimento de água, na gestão da demanda de água e na determinação de perdas de água (LAMBERT, 2003).

Os sistemas de medição em SAA englobam a macromedição e a micromedição, as quais utilizam instrumentos de variados portes e princípios de funcionamento e que permitem determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento, por unidade de tempo (NIELSEN et al, 2003).

Macromedição é todo processo inerente à medição e estimação dos parâmetros operacionais hidráulicos de SAA (FRANGIPANI, 2007), sendo realizada desde a captação até as extremidades da rede de distribuição por meio de pontos permanentes ou temporários, monitorados à distância ou localmente. A macromedição tem por objetivo o controle da operação do SAA, controle das perdas de água, subsídio à comercialização etc. (GOMES e BEZERRA, 2009; TSUTIYA, 2005). Citam-se aqui três tipos macro medidores largamente empregados em SAA (BEZERRA e CHEUNG, 2013; FRANGIPANI, 2007):

a) Deprimogêneo: o equipamento percebe a vazão em termos de diferencial de pressão que, por sua vez, é associado com a velocidade do fluido, segundo a equação de Bernoulli. Possuem baixo custo de instalação, mas há a necessidade de equipamentos para registros de dados, no caso, *data loggers*. No caso dos medidores deprimogêneos, é importante destacar o uso dos tubos *pitot* (Figura 11a), onde o tipo *cole* é o mais utilizado no Brasil, pois possuem baixo custo de instalação e são considerados muito confiáveis, com incerteza de $\pm 2\%$ a $\pm 5\%$.

b) Eletromagnéticos: a lei de indução eletromagnética de Faraday rege a obtenção da velocidade do fluxo. Quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à direção do fluxo, é gerada uma força eletromotriz proporcional à

velocidade média do fluxo (Figura 11b). Convertem o parâmetro velocidade em um sinal, normalmente, elétrico e, em geral, possuem uma ou várias saídas visando compatibilidade com outros equipamentos, como controladores lógico-programáveis (CLPs), *data loggers* etc. Possuem incertezas na medição que variam de $\pm 0,2\%$ a $\pm 1\%$ para modelos carretel e $\pm 2\%$ a $\pm 4\%$ para modelo de inserção.

c) Ultrassônicos: possuem sensores que emitem onda ultrassônica que se propaguem através do fluido, recebe-as depois de terem sofrido a influência do escoamento e usa o resultado desta influência para determinar a velocidade do escoamento (Figura 11c). Possuem erro máximo admissível de até 5% de fundo de escala¹³.

Figura 11: a) estações pitométrica, b) medidor eletromagnético e c) medidor ultrassônico.



Fonte: Conault¹⁴ (2015); Tratamento de água¹⁵ (2010); RedeLenhs¹⁶ (2013).

Os erros ocasionados pela imprecisão dos equipamentos acabam sendo agravados pela seleção ou instalação inadequada dos mesmos (quando não atendem às especificações do fabricante), pela descalibração, por problemas físicos na instalação, tais como incrustação, danos oriundos de cavitação, tomadas de pressão entupidas e problemas com a instrumentação secundária (TSUTIYA, 2005).

¹³ Expressa o percentual máximo admitido de erro relacionado ao fundo de escala, assim, por exemplo, um medidor de vazão com escala variando de 0 e 400 m³/h e EMA de mais ou menos 2 % do fundo de escala (2 % f.e.), admite um erro de mais ou menos 8 m³/h em qualquer ponto do intervalo de medição (8 m³/h = 2 % de 400 m³/h) (FRANGIPANI, 2007).

¹⁴ CONAULT. **Pitometria de campo**. Disponível em < <http://conaut.com.br/blog/pitometria-em-campo-3/>> Acesso em: 23 ago 2015

¹⁵ TRATAMENTO DE ÁGUA. **Perdas de água**. Disponível em: < <http://www.tratamentodeagua.com.br>> Acesso em: 23 ago 2015.

¹⁶ RDELENHS. **Aferição de macromedidores**. Disponível em: <<http://redelenhs.org>> Acesso em: 23 ago 2015.

No caso da micromedição, a mesma consiste na medição do consumo de água que é realizada no ponto de abastecimento de determinado usuário, independente de sua categoria ou faixa de consumo. A micromedição compreende a medição permanente do volume de água consumido e que é registrado periodicamente, por meio da indicação propiciada pelos micros medidores (ALVES et al, 2009).

Para a micromedição são utilizados, normalmente, hidrômetros, os quais são aparelhos destinados a medir o volume de água que o atravessa, indicando a quantidade de água fornecida pela rede de distribuição a uma instalação predial (MENDONÇA, 1975).

Ao instalar hidrômetros, são necessários alguns cuidados fundamentais, como observar a seta indicadora do sentido do fluxo, evitando a instalação do medidor na posição invertida; evitar a aplicação de ferramentas sobre a carcaça do medidor, principalmente sobre as roscas e também a verificação de seu posicionamento correto, evitando a submedição no sistema (RECH, 2007).

Os hidrômetros podem ser do tipo velocimétrico (monojato ou multijato), tipo volumétrico ou tipo *woltmann*. As perdas por imprecisão dos hidrômetros são componentes significativos das perdas de faturamento (o conceito de perdas de faturamento será abordado em momento mais oportuno), sendo muito importante, para a concessionária de água, quantificá-las e identificar suas causas (COELHO, 2009).

Ligações irregulares ou clandestinas, violações de lacre, hidrômetros temporariamente invertidos ou inclinados são alguns exemplos de causas de perdas de faturamento provocadas pelos próprios consumidores, com ou sem auxílio técnico.

Economias que utilizam hidrômetros avariados, com vida útil além da prevista, capacidade de medição inadequada, ou ainda a existência do conjunto reservatório torneira-boia de modo que proporcione pequenas vazões na fase final de enchimento e provoque submedição pelos aparelhos medidores, se caracterizam como exemplos de causa de perdas de faturamento (BORGES, 2007).

Para melhor entendimento do comportamento hidráulico em sistemas de abastecimento de água (SAA), além do conhecimento da vazão, se faz necessário também o conhecimento da pressão nas tubulações, sejam elas de adutoras, de sistemas de bombeamento ou da rede de distribuição. Os medidores mais utilizados no setor do saneamento são os manômetros de coluna líquida, metálicos (tipo *Bourdon*) e eletrônicos (transdutores de pressão), observados na Figura 12.

Figura 12: a) manômetro em coluna, b) manômetro mecânico e c) transdutor de pressão.



Fonte: Tectroll¹⁷ (2015); Petroisa¹⁸ (2015); Gerfran¹⁹ (2015).

a) manômetros de coluna líquida (Figura 12a): estão entrando em desuso no monitoramento em redes hidráulicas, devido aos riscos à saúde em função do uso de líquidos manométrico, geralmente o mercúrio metálico, além das limitações quanto às leituras remotas, como registradores eletrônicos (*data logger*).

b) manômetros mecânicos (Figura 12b): muito comuns em SAA devido seu baixo custo, os mesmos possuem faixa de precisão de até $\pm 2\%$ f.e tem aplicabilidade na faixa de -10 mca (vacuômetros) até dezenas de milhares de metros de coluna de água, necessitando de frequentes calibrações.

c) transdutores de pressão (Figura 12c): medidores de pressão eletrônicos, sendo classificados quanto ao tipo de sensor em: sensor piezoelétrico, sensor piezoresistivo e sensor capacitivo. Os dois primeiros são utilizados em adutoras e redes de distribuição de água, enquanto que o último é usado na medição de pressão diferencial em Venturis, Tubos de Pitot e outros equipamentos.

¹⁷ TECHTROLL. **Manômetro coluna U.** Disponível em: <http://tectrolbr.com.br/product.php?id_product=113> Acesso: 23 ago 2015.

¹⁸ PETROISA. **Manômetro com glicerina.** Disponível em: <<http://www.petroisa.com.br>> Acesso em: 23 ago 2015.

¹⁹ GEFTRAN. **Transdutor de pressão compacto.** Disponível em: <<http://gefran.com>> Acesso em: 23 ago 2015.

2.3.2 Monitoramento de consumo de energia elétrica em SAA

O conceito de qualidade da energia elétrica está relacionado ao conjunto de alterações que ocorrem no sistema elétrico e que podem ser representadas por qualquer problema de energia manifestado nos valores de tensão, corrente ou nas variações de frequência, que resulte em falha ou má operação de equipamentos (PINHEIRO, 2010).

Os analisadores de qualidade de energia são utilizados para o monitoramento de grandezas elétricas em SAA, ou seja, são essenciais para aplicação de monitoramento hidroenergético para reduzir custos de consumo e buscar soluções alternativas de energia (Figura 13).

Figura 13: analisador de Qualidade de Energia



Fonte: CETM²⁰ (2015).

Como seus dados são obtidos através de análises dos valores de tensão, corrente, potência ativa, potência reativa, potência aparente, harmônicos etc. são instalados nas fontes de tensão ou no próprio condutor que alimenta os equipamentos eletromecânicos. Por possuírem grande sensibilidade, geram dados mais precisos e que outros tipos de medidores, como o multímetro, por exemplo, não geram.

Quando os sistemas elétricos possuem tensões e correntes elevadas, pode ocorrer dos equipamentos de análise de qualidade de energia não possuírem especificação para esses valores. Quando isso ocorre, são utilizados os transformadores de potencial e corrente para que essas grandezas elétricas estejam em uma faixa segura para o equipamento.

²⁰ CETM. **Analizador de qualidade de energia**. Disponível em: <www.cetm.com.sg> Acesso em: 23 ago 2015.

2.3.3 Ferramentas computacionais para SAA: *Epanet 2.0*

Desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos da América, o *Epanet 2.0*²¹ permite a modelagem e a simulação temporal de cenários diferenciados de regulamentos de SAA.

O *Epanet* é um programa computacional para modelagem de sistemas de abastecimento de água que pode ser executado em plataforma Windows. Foi desenvolvido pela Divisão de Recursos Hídricos e Sistemas de Água da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency*) e tem a grande vantagem de ser um programa livre e de código aberto. Em termos de aplicação, o *Epanet* permite realizar simulações em período estendido com o objetivo de representar o comportamento hidráulico e da qualidade da água em sistemas pressurizados. (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

Dentre as ferramentas disponíveis para modelagem de SAA e simulação hidráulica, o *Epanet* considera-se a mais interessante do ponto de vista técnico para estudos operacionais, principalmente, pelas opções de programação de rotinas operacionais por meio de linhas de códigos.

Ou seja, a partir do *Epanet* é possível criar, a partir das condições verificadas por monitoramento hidroenergético, inúmeras condições de melhorias no inter-relacionamento entre as unidades de SAA, nas quais podem ser analisadas as grandezas hidráulicas, no caso vazões, pressões e níveis e verificar como elas influenciam no consumo de energia elétrica nas unidades e no SAA como um todo, fato muito importante quando se quer uma abordagem sistêmica.

É um dos programas mais utilizados para pesquisa em SAA, nas quais se abordam vários temas, tais como, avaliação de perdas físicas de água, como, por exemplo, os estudos de Soares et al. (2004), Gumier e Luvizotto Junior (2007), Dutra e Altafini (2014), a análise de otimização de projetos e operação, como, por exemplo, Villalba e Saldarriaga (2005), Costa, Castro e Ramos. (2010), Gerogescu et al. (2015), Abday Sayyeda, Gupta e Tanyimboh (2014), Sunela e Puust (2015), Bohórquez et al. (2015) etc.

²¹ No ANEXO A são apresentadas maiores informações sobre o *software*.

Finalizando a abordagem sobre o monitoramento hidroenergético e sobre ferramentas computacionais para SAA (com foco no *Epanet* 2.0), verifica-se que os valores referentes às grandezas hidráulicas e elétricas provenientes das ações de monitoramento hidroenergético e de simulação computacional são fundamentais para identificar o comportamento das inter-relações entre as unidades de SAA e, nesse sentido, caracterizam fonte de dados imprescindível para avaliação de desempenho dos referidos sistemas.

Assim sendo, a seguir serão apresentadas informações relevantes sobre como os dados hidroenergéticos podem ser sistematizados para melhor compreensão de SAA e verificar que os métodos atuais para avaliação de desempenho de SAA não vislumbram a abordagem sistêmica, na qual é possível visualizar desempenho das unidades, das etapas e de forma global.

2.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SAA

Como base na universalização dos serviços de saneamento, estabelecida na Lei Federal Nº. 11.445/2007 (BRASIL, 2007), o aumento da demanda por energia elétrica no setor do saneamento será inevitável e deverá receber cada vez mais atenção, principalmente em função do cenário atual de elevadas perdas de água já mencionado no Capítulo 1 e crescente preocupação com a sustentabilidade energética brasileira. Nesse sentido, a eficiência da operação dos sistemas urbanos de saneamento poderá ter papel de grande relevância para mitigação dos impactos da dinâmica urbana na demanda por recursos hídricos e por energia elétrica, visando desenvolvimento social, ambiental e econômico.

No entanto, as formas atuais de avaliar SAA, tais como o balanço hídrico e a abordagem dos indicadores de desempenho de SAA existentes, não fazem frente às necessidades hidroenergéticas, principalmente, porque desconhece o caráter sistêmico das inter-relações entre unidades de SAA e suas influências nos volumes de água e nos consumos de energia elétricas, fatos que serão comentados a seguir.

2.4.1 Balanço Hídrico da IWA e suas limitações

Devido à ampliação dos SAA e, consequentemente, aumento do volume de água perdido, os prestadores de serviço de abastecimento de água observaram a necessidade de investigar alternativas que visassem controlar e reduzir perdas. Com o intuito de padronizar o estudo das perdas, a *International Water Association (IWA)*²² propôs o Método do Balanço Hídrico (TSUTIYA, 2005), que é o principal modelo de gestão de perdas, verificando-as do ponto de vista financeiro, técnico e de recursos hídricos.

O Balanço Hídrico é baseado na análise do maior número possível de pontos existentes de medição de volumes no SAA, para posterior subtração do volume total de entrada pelo medido na saída do mesmo, conforme observado na Figura 14. Na sequência, é apresentada cada parcela que representa determinado volume de água, que pode ter sido medido, calculado ou estimado, sendo expressos, normalmente, em m^3/ano (HIRNER e LAMBERT, 2000):

Figura 14: matriz de balanço hídrico.

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo autorizado faturado medido	Águas faturadas
			Consumo autorizado faturado não medido	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo autorizado não faturado medido	Águas não faturadas
			Consumo autorizado não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado	
			Erros de medição (micromedição)	
		Perdas reais	Vazamentos nas adutoras de água bruta e nas estações de tratamento de água (se aplicável)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de distribuição	

Fonte: Hirner e Lambert, 2000.

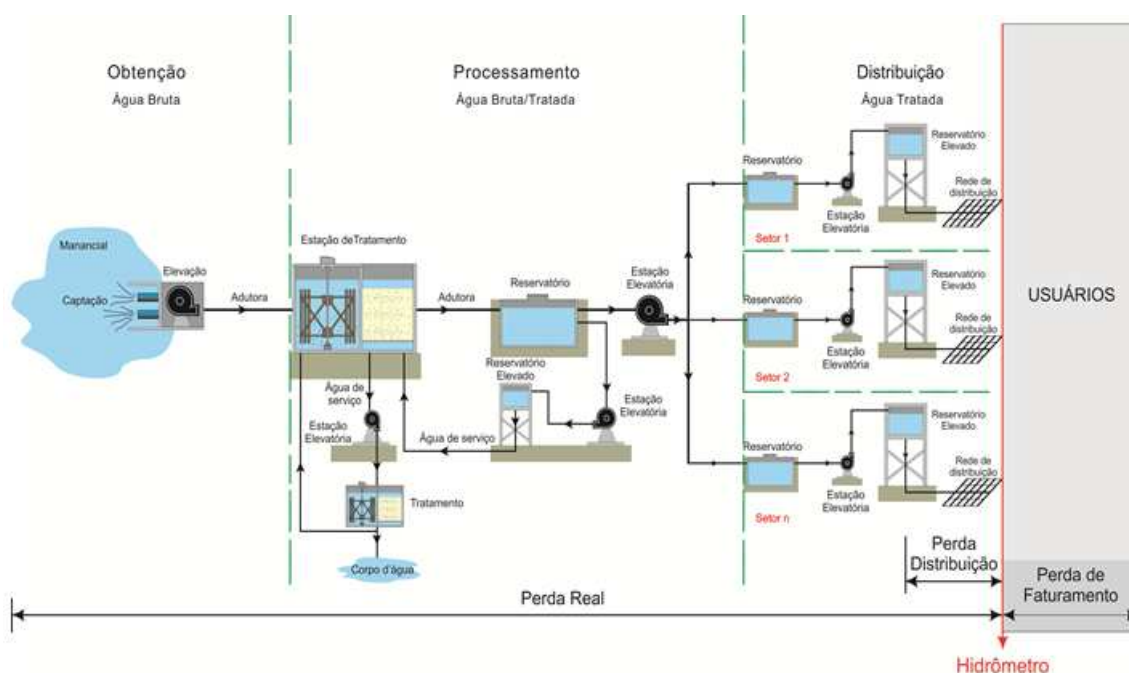
²² A *International Water Association (IWA)* é uma rede global que conta com mais de dez mil profissionais de SAA, visando contínua relação entre pesquisa e prática e que abrange todos os aspectos do ciclo da água.

- i) Água que entra no sistema: referente à quantidade total anual de água que entra no sistema avaliado. Pode ser considerado o volume retirado do manancial, ou o volume disponibilizado pelo SAA para consumo;
- ii) Consumo autorizado: correspondente ao volume de água (medido ou não medido) cujos destinos podem ser os consumidores, a própria companhia ou outros consumidores, que podem ter autorização explícita ou não. Esse valor inclui também o volume de água exportada e as perdas após o hidrômetro da residência do consumidor.
- iii) Perdas de água: volume dado pela diferença entre o volume que entra no sistema e o volume de consumo autorizado, sendo dividido em perdas aparentes e reais.
- iv) Consumo autorizado faturado: refere-se ao volume sobre o qual a empresa obteve faturamento. Esse volume se subdivide em medido (medição nos hidrômetros. Inclui água exportada) e não medido (estimado através de taxas, por exemplo).
- v) Consumo autorizado não faturado: consiste na diferença entre os volumes de consumo autorizado e consumo autorizado faturado. É dividido em não faturado medido, que pode ser interpretado como gastos de água da própria concessionária, e não medido (porém pode ser estimado).
- vi) Perdas aparentes: as perdas aparentes são divididas em consumo não autorizado, ou seja, fraudes, e erros na medição.
- vii) Perdas reais: divididas nas categorias de perdas na distribuição de água bruta e tratamento (relacionada a perdas durante a captação de água, transporte de água bruta e tratamento), vazamento na rede de distribuição e/ou adutoras (rupturas de adutoras e em outros componentes da rede de distribuição), vazamento em reservatórios (inclui extravasamentos dos reservatórios), e vazamento nos ramais (antes da medição de cada residência).

Atualmente, o Balanço Hídrico atende bem as necessidades de avaliação de perdas de água em SAA, no entanto, com a crescente preocupação com o consumo de energética elétrica, o mesmo não é satisfatório para avaliação de perdas hidroenergéticas. As componentes do Balanço Hídrico não contabilizam a quantidade de energia elétrica consumida e perdida ao longo do SAA. Além disso, ao efetuar o relacionamento direto do volume de água perdido com a quantidade de energia elétrica consumida na operação, não é possível identificar a quantidade de energia elétrica perdida no SAA, pois não se identificada a parcela de energia elétrica consumida em excesso.

Vale ressaltar, ainda, que a aplicação do Balanço Hídrico a partir do volume disponibilizado para a rede de distribuição reflete em estimativas subestimadas de perdas de água, principalmente, por não contabilizarem os processos de SAA, conforme observado na Figura 15.

Figura 15: perdas reais de água em SAA.



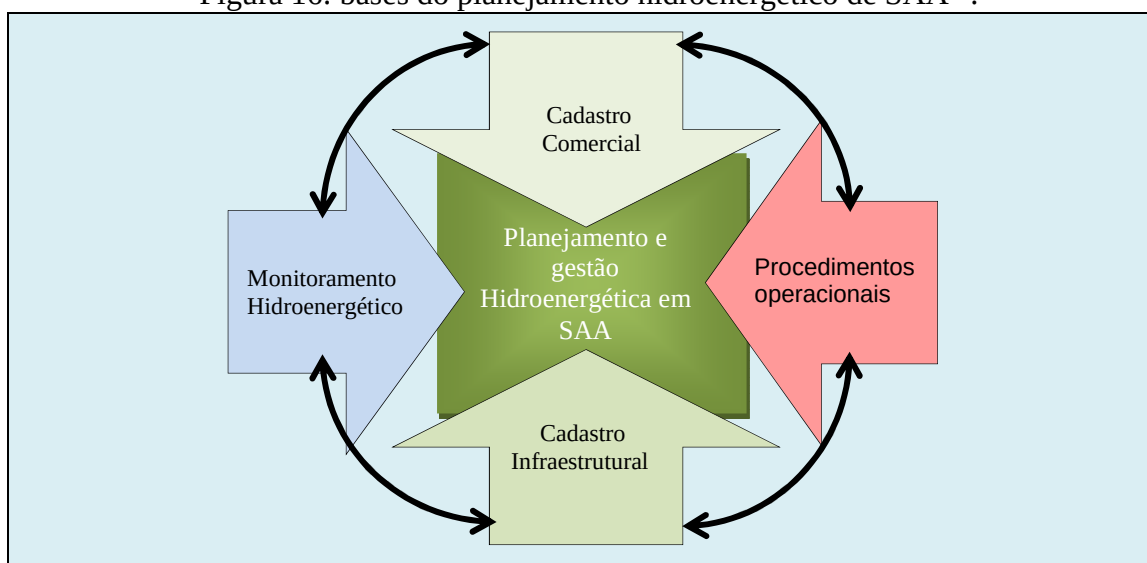
Fonte: Conduru e Pereira (2010, modificado).

É imperioso afirmar, ainda, que apesar das maiores perdas reais de água nas redes de distribuição, as instalações de bombeamento com maior potência, em geral, estão nas linhas de água bruta e, portanto, o consumo de energia elétrica excessivo na mesma também não seria contabilizado.

2.4.2 Indicadores de desempenho e suas limitações

Os SAAs carecem de iniciativas destinadas a medir e melhorar o desempenho, principalmente, no que diz respeito ao uso racional e conservação de água e de energia elétrica, que são fundamentais para a sustentabilidade (VILANOVA e BALESTIERI, 2014). Nesse sentido, para realizar bom planejamento e gestão, primeiramente, é importante conhecer o que se quer gerir ou planejar e em se tratando dos serviços de abastecimento de água, o planejamento e gestão hidroenergética ocorre em quatro linhas gerais, observadas na Figura 16:

Figura 16: bases do planejamento hidroenergético de SAA²³.



Fonte: autor.

O controle dos dados comerciais pode proporcionar o conhecimento das perdas por faturamento e arrecadação, além de facilitar o controle e gestão de consumidores de SAA, bem como cálculos de informações importantes, por exemplo, de atualização de consumo de *per capita* (SANTOS e PEREIRA, 2015). Sabe-se que o consumo *per capita* é imprescindível para a análise sistêmica, pois a partir dele é que se podem visualizar valores de volumes de água ao longo de todo o inter-relacionamento entre as unidades, ou seja, é o primeiro volume de água conhecido do SAA.

O conhecimento dos dados de infraestrutura é determinante para o bom planejamento e gestão hidroenergética em SAA, pois a inexistência ou defasagem de cadastro de tubulações (traçado, material, dimensões etc.) e equipamentos eletromecânicos (especificações de motores elétricos e bombas) impede a pesquisa de

²³ O autor da Tese de Doutorado pede para que todos se refiram futuramente a Figura 16 como “Cruz de Gama & Rego”.

rotinas operacionais mais adequadas. Essa falta de informação torna difícil a identificação de problemas hidroenergéticos mencionados no Capítulo 1, principalmente, por não proporcionar uma abordagem sistêmica a partir do entendimento do inter-relacionamento das unidades de SAA.

Além disso, é importante o monitoramento ininterrupto de grandezas hidráulicas e elétricas, como, por exemplo, respectivamente, vazão e potência ativa, pois o relacionamento entre o comportamento desses dados e o de outras variáveis de interesses (como níveis e pressões de água) é importante fonte de pesquisa de rotinas operacionais mais adequadas do ponto de vista hidroenergético. Os resultados podem ser mais interessantes, ainda, quando utilizadas simulações hidráulicas, uma vez que os testes de novas rotinas operacionais em escala real podem ser onerosos do ponto de vista financeiro e de tempo.

Por fim, observando, ainda, a dinâmica populacional, é pouco provável que os procedimentos previstos em uma rotina especificada por meio de monitoramento hidroenergético e simulação computacional não sofram modificações ao longo do tempo. Todo procedimento operacional precisa ser reavaliado, com vista a melhorias contínuas do SAA, buscando, principalmente, maior confiabilidade, redução de custos e, portanto, maior sustentabilidade.

Vale ressaltar, que essas melhorias só se consolidam por meio da interação em conjunto dos quatro pontos citados, no caso, do cadastro comercial, do cadastro de infraestrutura, do monitoramento hidroenergético e dos procedimentos operacionais, é possível gerar informações para o planejamento e gestão hidroenergética de SAA.

Os dados são qualquer elemento identificado em sua forma bruta que, por si só, não conduz a uma compreensão de determinado fato ou situação, já as informações são os próprios dados brutos trabalhados, permitindo, dessa forma, a tomada de decisão (OLIVEIRA, 2008, p22). As informações são traduzidas em indicadores de desempenho e constituem instrumento de uso comum na indústria em todo o mundo, sendo as suas potencialidades inquestionáveis na indústria da água (ALEGRE, 2006). São ferramentas de representação de sistemas complexos, que permitem a coleta de informações e sua análise, visando à análise da evolução do sistema (FRANCESCHINI et al., 2007).

Podem ser considerados dados básicos: os volumes de água, o consumo de energia elétrica, o comprimento de redes de distribuição, as perdas de carga etc. A

combinação desses dados brutos fornecem os indicadores de desempenho, que não devem ser analisados individualmente, pois têm pouco interesse prático e podem até conduzir a conclusões erradas.

Silva e Luvizotto Junior (2002) realizaram levantamento em trabalhos do SNIS, da *International Water Service Association* (IWSA), do Instituto Mexicano de Tecnologia da Água (IMTA) e do Grupo de Mecânica de Fluídos da Universidade Politécnica de Valência-Espanha (GMF), onde foi identificada uma série de indicadores para o planejamento e gestão de SAA.

Partindo desse levantamento, dentre a lista há um grupo de indicadores que pode auxiliar as tomadas de decisões em SAA para o planejamento e gestão hidroenergética, de forma direta ou indireta, ou seja, respectivamente, quando há o relacionamento direto de um dado com uma grandeza elétrica ou não. Nesse caso, o único item que foi identificado como direto foi o indicador “Padronização do consumo de energia”, o qual é destacado em negrito na Tabela 3.

Tabela 3: indicadores hidroenergéticos.

(Continua)

Indicadores hidroenergéticos para SAA	Unidade
Ausência por outras razões devidas a acidentes de trabalho ou doenças	<i>Dias/empregados/ano</i>
Capacidade de tratamento	<i>m³/per capita/dia</i>
Capacidade da adução e distribuição	<i>m³/dia</i>
Capacidade da obra de captação	<i>m³/per capita/dia</i>
Capacidade de armazenamento do reservatório	<i>Dias</i>
Capacidade de entrada da água	<i>m³/per capita/dia</i>
Capacidade dos reservatórios	<i>Dias</i>
Capacidade do reservatório de acumulação	<i>Dias</i>
Clientes com hidrômetros	<i>Nº/clientes</i>
Conduto principal reparado ou substituído	<i>Percentual/ano</i>
Consertos e controle de vazamentos ativos	<i>Percentual/ano</i>
Consumo de energia reativa	<i>Percentual</i>
Consumo micromedido por economia	<i>(m³/mês) /economia</i>
Consumo médio de água por economia	<i>(m³/mês) /economia</i>
Consumo médio per capta de água	<i>(l/hab) /dia</i>
Consumo Total Per Capita	<i>l/per capita/dia</i>
Continuidade no abastecimento	<i>Horas/dia</i>
Continuidade no abastecimento	<i>Percentual</i>
Controle de vazamentos	<i>Percentual/ano</i>

(Continuação)

Danos em tubulações	<i>Falhas/km</i>
Densidade de reservatórios domiciliários	<i>Percentual</i>
Disponibilidade de veículos	<i>Veículos/km</i>
Índice de Hidrometração	<i>Percentual</i>
Índice de Macromedicação	<i>Percentual</i>
Falhas na tubulação de serviço	<i>Falhas/tubo de serviço/ano</i>
Falta de energia	<i>Falhas/estação de bombeamento/ano</i>
Funcionários da manutenção e suporte de pessoal	<i>Nº/1000</i>
Funcionários de operação e manutenção	<i>Nº/1000</i>
Funcionários de manutenção de hidrômetros	<i>Nº/1000</i>
Funcionários do planejamento, construção, operação e manutenção	<i>Nº/10² km</i>
Inspeção de bombas	<i>Percentual/ano</i>
Inspeção de rede	<i>Percentual/ano</i>
Medição	<i>Nº/10²km</i>
Quantidade de água consumida	<i>l/pessoa/dia</i>
Quantidade de água fornecida para abastecimento	<i>Percentual</i>
Padronização do consumo de energia	<i>kWh/m³(100mca)</i>
Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração	<i>Percentual</i>
Perdas de água	<i>m³/conexões/ano</i>
Perdas reais	<i>l/conexão/dia com sistema pressurizado</i>
Perdas reais	<i>l/km/ano</i>
Perdas reais	<i>l/conexão/ano</i>
Pressão no abastecimento	<i>Percentual</i>
Reabilitação de tubos	<i>Percentual/ano</i>
Reaproveitamento de energia	<i>Percentual</i>
Reclamação de pressão	<i>Percentual</i>
Substituição de bombas	<i>Percentual/ano</i>
Substituição de hidrômetros	<i>Percentual/ano</i>
Treinamento externo	<i>Dias/empregado</i>
Treinamento externo	<i>Horas/empregados/ano</i>
Treinamento interno	<i>Horas/empregados/ano</i>

Fonte: Silva e Luvizotto Junior (2002).

Segundo Gomes (2009), quando o indicador de consumo específico de energia normalizado (denominado na pesquisa de Silva e Luvizotto Junior (2002) como padronização do consumo de energia, expresso em $\text{Wh/m}^3\text{100mca}$) é utilizado para apresentar desempenho de bombas com elevada variação de altura manométrica, o mesmo precisa ser ponderado no período em análise pelos volumes bombeados para cada valor da faixa de altura manométrica. Gomes (2009) apresenta, ainda, o “Consumo linear por km de adutora” cuja unidade é $\text{kWh/m}^3.\text{m}_{\text{adutora}}$, o qual também pode ser enquadrado como indicador hidroenergético direto.

Porém, ainda podem ser mencionados alguns outros indicadores, que não foram apresentados na pesquisa de Silva e Luvizotto Junior (2002). Para isso foram revisados os indicadores no Anexo A do diagnóstico de serviços de água e esgoto do ano de 2001 do SNIS, apresentados na Tabela 4 e, ainda, os indicadores apresentadas no glossário do pelo SNIS 2009, observados na Tabela 5. Nesses casos, foram verificados dois indicadores com relacionamento direto com consumo de energia elétrica, no caso, “Consumo total de energia elétrica em SAA” (kWh), “Índice de despesas por consumo de energia elétrica em SAA” ($\$/\text{kWh}$) e “Consumo de energia elétrica em SAA” (kWh/m^3), os quais se encontram destacados em negrito.

Tabela 4: atualização com os indicadores do SNIS de 2001.

Indicadores não mencionados	Unidade
Volume de água de serviço	<i>1.000m³/ano</i>
Quantidade de economias ativas	<i>Economias</i>
Volume de água recuperado	<i>Não mencionado</i>

Fonte: Brasil (2002).

Tabela 5: atualização com os indicadores do SNIS de 2009.

Indicadores mais recentes	Unidade
Consumo total de energia elétrica em SAA	<i>kWh</i>
Índice de despesas por consumo de energia elétrica em SAA	<i>\\$/kWh</i>
Volume de água disponibilizado por economia	<i>m³/mês/economia</i>
Consumo de energia elétrica em SAA	<i>kWh/m³</i>

Fonte: Brasil (2010a).

Ainda, sobre propostas de indicadores, Vilanova (2012) desenvolveu indicadores baseados na comparação percentual entre valores identificados como reais para o SAA e valores alvos, dos quais o “Indicador de operação otimizada de bombeamento” (quantifica a redução possível no consumo e demanda de energia elétrica por meio da operação otimizada de CMB, considerando variação da velocidade) é o que mais tem relação direta com o consumo de energia elétrica e SAA.

Levando em consideração os indicadores identificados, que de forma direta ou indireta, podem demonstrar alguma informação sobre o consumo de energia elétrica e também o fato de que o planejamento e a gestão hidroenergética, por serem contínuos, necessitam de abordagem temporal, os mesmos podem ser agrupados de acordo com os níveis organizacionais: estratégico, tático e operacional (CARAVANTES et al, 2005, p404; MOTTA e VASCONCELOS 2010, p9; (CHIAVENATO, 2007):

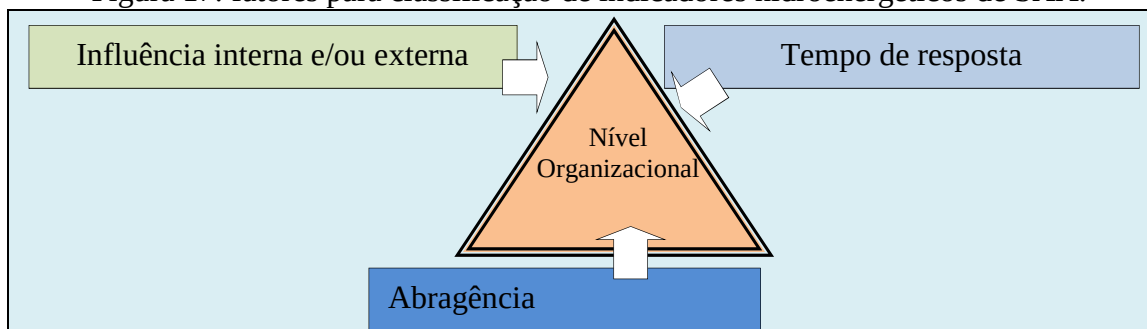
i) Planejamento Estratégico: é a mais elevada hierarquia na empresa e envolve pessoas e órgãos que definem os objetivos empresariais e também as estratégias globais necessárias para atingi-los adequadamente. É o nível que se defronta com o ambiente externo à organização, onde o tempo de resposta da tomada de decisão é o longo prazo.

ii) Planejamento Tático: intermedia o estratégico e o operacional, efetuando a adequação das decisões de nível institucional (estratégico) com as atividades realizadas a nível operacional, pela alocação de recursos ou por meio de planos de ação, com o tempo de resposta da tomada de decisão de médio ou curto prazo.

iii) Planejamento Operacional: é o patamar organizacional inferior e está relacionado com a execução cotidiana e eficiente das tarefas e operações da empresa, orientado pelas exigências impostas pelas mesmas, onde o tempo de resposta da tomada de decisão é de curto prazo.

Cada nível organizacional apresenta diferentes enfoques quanto aos objetivos, bem como tem sua própria racionalidade, ou seja, sua adequação dos meios utilizados para os fins que se deseja alcançar. Portanto, considerando a abrangência da informação, o tempo de retorno da tomada de decisão e potencial influencia interna e/ou externa (fatores observados na Figura 17), os indicadores foram agrupados de acordo com o nível organizacional para o planejamento e gestão hidroenergética de SAA.

Figura 17: fatores para classificação de indicadores hidroenergéticos de SAA.



Fonte: autor.

Os indicadores estratégicos para planejamento e gestão hidroenergética em SAA estão relacionados de forma direta ou indireta com o consumo de energia elétrica e abrangem todo o contexto da organização Tabela 6.

Tabela 6: indicadores estratégicos para planejamento e gestão hidroenergética de SAA.

Indicadores estratégicos	Unidade
Consumo total de energia elétrica	<i>kWh</i>
Índice de despesas por consumo de energia elétrica	<i>\$/kWh</i>
Padronização do consumo de energia	<i>kWh/m³(100mca)</i>
Consumo de energia elétrica em SAA	<i>kWh/m³</i>
Perdas de água	<i>m³/conexões/ano</i>
Perdas reais	<i>l/conexão/dia com sistema pressurizado</i>
	<i>l/km/ano</i>
	<i>l/conexão/ano</i>
Reaproveitamento de energia	<i>Percentual</i>

Fonte: autor.

Os indicadores táticos para planejamento e gestão hidroenergética em SAA Tabela 7 abrangem de forma setorializada organização, sofrem influência de fatores internos (os quais podem ser controlados pelo gestor), funcionando como elo entre o estratégico e operacional e todos apresentam informações indiretas relacionadas ao consumo de energia elétrica no SAA.

Tabela 7: indicadores táticos para planejamento e gestão hidroenergética em SAA.

Indicadores táticos	Unidade
Capacidade de tratamento	<i>m³/ per capita/dia</i>
Capacidade da adução e distribuição	<i>m³/dia</i>
Capacidade da obra de captação	<i>m³/per capita/dia</i>
Capacidade de armazenamento do reservatório	<i>Dias</i>
Capacidade de entrada da água	<i>m³/per capita/dia</i>
Capacidade de transporte das redes	<i>m³/km/ano</i>
Capacidade do abastecimento	<i>m³/dia</i>
Capacidade dos reservatórios	<i>Dias</i>
Consumo de energia reativa	<i>Percentual</i>
Consumo micromedido por economia	<i>(m³/mês) /economia</i>
Consumo médio de água por economia	<i>(m³/mês) /economia</i>
Consumo médio <i>per capita</i> de água ou Quantidade de água consumida	<i>(l/hab)/dia</i>
Consumo total <i>per capita</i>	<i>l/per capita/dia</i>
Controle de vazamentos	<i>Percentual/ano</i>
Continuidade no abastecimento	<i>Horas/dia ou Percentual</i>
Danos em tubulações	<i>Falhas/km</i>
Falhas na tubulação de serviço	<i>Falhas/tubo de serviço/ano</i>
Falta de energia	<i>Falhas/estação de bombeamento/ano</i>
Funcionários da manutenção e suporte de pessoal	<i>Nº/1000</i>
Funcionários de operação e manutenção	<i>Nº/1000</i>
Funcionários do planejamento, construção, operação e manutenção por área	<i>Nº/10²km</i>
Funcionários de manutenção de hidrômetros	<i>Nº/1000</i>
Substituição de bombas	<i>Percentual/ano</i>
Volume de água disponibilizado por economia	<i>m³/mês/economia</i>
Cientes com hidrômetros	<i>Nº/clientes</i>
Densidade de reservatórios domiciliares	<i>Percentual</i>
Disponibilidade de veículos	<i>Veículos/km</i>
Índice de Hidrometração	<i>Percentual</i>
Índice de Macromedicação	<i>Percentual</i>
Medição	<i>Nº/10²km</i>
Quantidade de economias ativas	<i>Economias</i>
Reclamação de pressão	<i>Percentual</i>
Substituição de hidrômetros	<i>Percentual/ano</i>
Treinamento externo	<i>Dias/empregado</i>
Treinamento externo	<i>Horas/empregados/ano</i>
Treinamento interno	<i>Horas/empregados/ano</i>
Volume de água recuperado	<i>Não mencionado</i>
Consumo linear por km de adutora	<i>kWh/m³.m_{adutora}</i>
Indicador de operação otimizada de bombeamento	<i>%</i>

Fonte: autor.

Os indicadores operacionais para planejamento e gestão hidroenergética em SAA abrangem a organização de forma localizada e possuem relação indireta com o consumo de energia elétrica, conforme Tabela 8.

Tabela 8: indicadores operacionais para planejamento e gestão hidroenergética.

Indicadores operacionais	Unidade
Conduto principal reparado ou substituído	<i>percentual/ano</i>
Consertos e controle de vazamentos ativos	<i>percentual/ano</i>
Inspeção de bombas	<i>percentual/ano</i>
Inspeção de rede	<i>percentual/ano</i>
Pressão no abastecimento	<i>Percentual</i>
Reabilitação de tubos	<i>percentual/ano</i>
Volume de água de serviço	<i>1.000m³/ano</i>

Fonte: autor.

Quando os indicadores são quantificados de acordo com os níveis organizacionais, é notória a necessidade de ampliação do quadro referente ao planejamento e gestão operacional, já que são identificados apenas oito, contra vinte um indicadores estratégico e vinte e oito indicadores táticos (Tabela 9).

Tabela 9: quantidade de indicadores hidroenergéticos por nível organizacional.

Nível organizacional	Quantidade
Indicadores Estratégicos	9
Indicadores Táticos	39
Indicadores Operacionais	7
Total	55

Fonte: autor.

Com base nos indicadores apresentados é visível a falta de ferramentas para avaliação do desempenho hidroenergético em SAA, principalmente, no que diz respeito à visão sistêmica do SAA. Os indicadores existentes não apresentam capacidade de expressar as perdas de energia elétrica consumida nas unidades de SAA, nas etapas de SAA e no SAA como um todo.

Além disso, de todos os indicadores apresentados, foram identificados apenas três que têm potencial para expressar o relacionamento do consumo de energia elétrica com volumes de água, no caso:

- “Consumo total de energia elétrica” (kWh);
- “Índice de despesas por consumo de energia elétrica” ($\$/kWh$);
- “Padronização do consumo de energia” ($kWh/(m^3 \times 100mca)$) – chamado também de indicador de consumo de energia padronizado ($ICEp$) ou consumo específico de energia padronizado ($CEIp$);
- “Consumo de energia elétrica em SAA” (kWh/m^3) – chamado também de “Indicador de consumo de energia” (ICE) ou “Consumo específico de energia” (CEI).

Deste modo, é imprescindível uma metodologia que possa agregar informações sobre perdas de água e sobre consumos de energia elétrica, ou seja, indicadores que atendam às necessidades hidroenergéticas e que possibilitem a visão geral para o tomador de decisões estratégicas no SAA.

Nesse caso, dentre os indicadores identificados, o mais utilizado é o “Indicador de consumo de energia” (kWh/m^3), valendo ressaltar que o mesmo não atende a necessidade de comparação entre distintos SAAs. No entanto, o “Indicador de consumo de energia padronizado” ($kWh/(m^3 \times 100mca)$) possui a limitação de ser utilizado somente nas unidades com sistemas elevatórios.

Por fim, entende-se que a necessidade de avaliação de SAA do sob a ótica hidroenergética tem reflexo direto na diminuição das despesas de SAA e, principalmente, diminuição nos custos ambientais dos mesmos, quando se trata do uso irracional de água e energia elétrica. Logo, existe a necessidade de adaptação ou de melhor abordagem desses quatro indicadores identificados para utilizá-los da melhor forma possível na metodologia proposta na pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos utilizados na pesquisa para o desenvolvimento de metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de sistemas em abastecimento de água. A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas distintas: a primeira referente ao desenvolvimento da metodologia proposta e sua implementação em software e a segunda referente à aplicação da ferramenta computacional desenvolvida para a avaliação do desempenho hidroenergética de SAA de escala real, conforme a Figura 18.

Figura 18: etapas da pesquisa.

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA E SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO HIDROENERGÉTICA EM SAA	
ETAPA 1	1.1 Modelagem do processo de cálculo das perdas hidroenergéticas em SAA
	1.2 Estabelecimento de formulações para cálculo das perdas hidroenergéticas no SAA
	1.3 Implementação da metodologia de avaliação hidroenergética em software
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZANDO O SOFTWARE DESENVOLVIDO EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE ESCALA REAL	
ETAPA 2	2.1 Monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas para determinação de volumes de água e consumos de energia
	2.2 Simulação da operação referência do SAA no <i>Epanet</i> 2.0 para determinação de volumes de água e consumos de energia
	2.3 Avaliação hidroenergética do SAA

Fonte: autor.

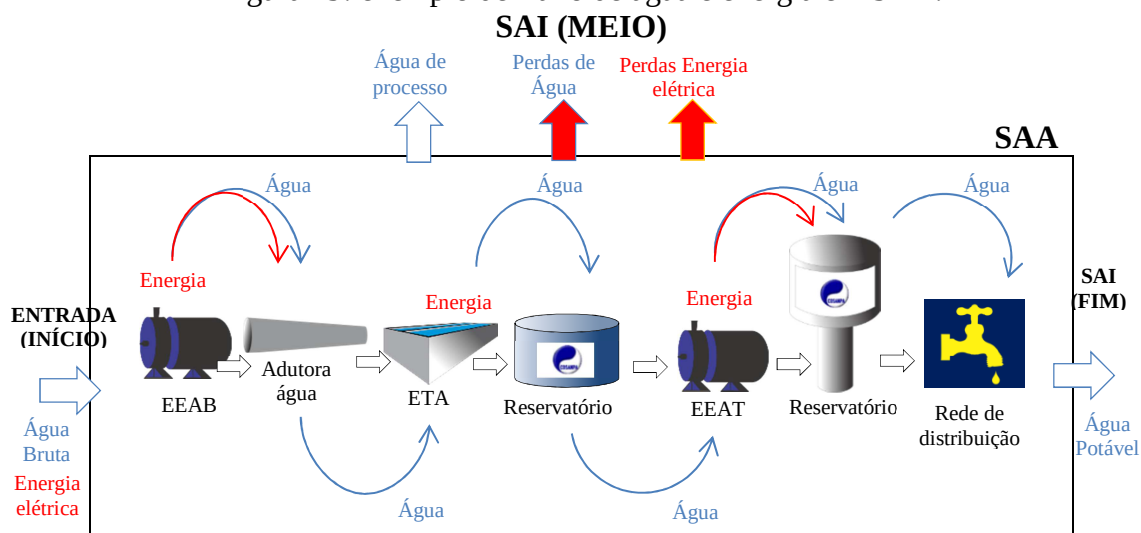
3.1 ETAPA 1: DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA E SOFTWARE PARA AVALIAÇÃO HIDROENERGÉTICA DE SAA

Na Etapa 1, foram efetivadas as primeiras atividades referentes à pesquisa, focando o desenvolvimento da metodologia proposta, o estabelecimento de formulações para perdas de água e de energia elétrica e a implementação do mesmo em software, conforme apresentado na sequência:

3.1.1 Fase 1.1: Modelagem do processo de cálculo das perdas hidroenergéticas em SAA

A visão sistêmica da operação das unidades de SAA foi importante para a concepção da metodologia proposta, onde foi verificado ser imprescindível para o funcionamento do sistema a entrada de volumes de água e o consumo de energia elétrica (como água bruta dos mananciais e energia elétrica para alimentação dos equipamentos eletromecânicos das EEA e das ETA), bem como o inter-relacionamento entre as unidades. Foi considerado ainda, que nos SAA também devem ocorrer saídas de volumes de água, no caso: as perdas físicas, os volumes utilizados no processo e os volumes de água para consumo. Na Figura 19, é exemplificado SAA com as entradas e as saídas de volumes de água, bem como com os consumos de energia elétrica.

Figura 19: exemplo de fluxo de água e energia em SAA.



Fonte: autor.

Na prática, parcela da água captada na etapa de produção é utilizada nos próprios processos de SAA e outra parcela é perdida, normalmente, além do previsto no planejamento operacional. No entanto, alçar uma condição em que a quantidade de água a ser retirada do manancial fosse igual à soma entre o volume efetivo de água (consumido pela população), o volume de água ótimo nos processos de SAA e determinado volume de água perdido dentro da previsão do planejamento operacional do SAA proporcionou a identificação de dois cenários distintos, cada qual com seus respectivos consumos de energia elétrica, no caso, os cenários foram:

- a) SAA funcionando nas suas condições reais;
- b) SAA funcionando nas condições de referência.

Nesse sentido, a concepção de desempenho hidroenergético que alicerçou a metodologia proposta foi orientada pelo distanciamento das condições de volumes de água e de consumo de energia elétrica do SAA real até condições de volumes de água e de consumo de energia elétrica do SAA referência.

Porém, considerando prática de funcionamento de SAA, há impedimentos financeiros para os testes de inúmeros possíveis arranjos para melhorias operacionais nas unidades de SAA real²⁴, o que torna inviável a avaliação em escala real para definição do sistema referência. Dessa forma, a prática experimental para definição do SAA referência (o qual apresenta uso das quantidades necessárias de água e do consumo necessário de energia elétrica) se torna na maioria das situações quase impraticável.

Logo, visando definição do sistema referência, o uso de ferramentas computacionais foi importante, pois, dessa forma, o SAA pôde ser simulado utilizando o software *Epanet 2.0*. Assim, por meio da modelagem e simulação hidráulica dos volumes de água do SAA referência foi possível definir os seus valores de consumo de energia elétrica.

²⁴ No caso, aplicação de distintas regras operacionais e substituições de equipamentos eletromecânicos e/ou infraestrutura hidráulica

A metodologia desenvolvida apresentou, então, todo o processo de cálculo para determinação do desempenho hidroenergético de SAA, em forma de diagrama de blocos, com base em:

- a) Diagnóstico do SAA de escala real por meio de monitoramento hidroenergético;
- b) Simulação computacional no software *Epanet* 2.0 da operação do SAA referência.

O primeiro ponto importante foi definir o que são perdas hidroenergéticas de SAA. Nesse sentido, na prática da operação de SAA, de toda água que é captada, determinada parcela é perdida em vazamentos e extravasamentos ao longo das unidades de SAA.

Sob a ótica sistêmica, outra parte é perdida quando ocorre o uso demasiado de volumes operacionais de água na inter-relação entre as unidades (na lavagem de filtros e leitos de contato em ETA, na limpeza de reservatórios, desobstrução de adutoras etc.). Assim, as perdas de água para a metodologia proposta foram definidas como:

“As perdas reais de água, bem como os volumes excessivos de água utilizados nas etapas de obtenção de água bruta, processamento e distribuição de água tratada ao longo do inter-relacionamento das unidades de SAA”

Em se tratando da determinação das perdas de energia elétrica, inicialmente, seria considerada apenas a parcela de energia elétrica consumida referente às perdas reais de água e também aos volumes excessivos de água utilizados nas etapas do SAA, ou seja, referentes às perdas hidroenergéticas de água.

Todavia, por meio da abordagem sistêmica, foi verificado para a proposição da metodologia que mesmo o consumo de energia elétrica referente aos volumes de água que não foram perdidos, esses também possuem valores excessivos de energia elétrica consumida. Dessa forma, as perdas de energia elétrica para a metodologia desenvolvida foram definidas como:

“Toda energia elétrica consumida pelos volumes perdidos de água, bem como o consumo em excesso de energia elétrica referente aos volumes não perdidos de água, nas etapas de obtenção de água bruta, processamento e distribuição de água tratada ao longo do inter-relacionamento das unidades de SAA”.

Uma vez definidas, as perdas hidroenergéticas em SAA foram classificadas em *perda de água* e *perda de energia elétrica*, sendo que a primeira classe é agrupada em perda por fuga, por extravasamento e por excesso no consumo de processo e a segunda classe é agrupada em perdas referentes às perdas físicas de água e perdas por consumo excessivo, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: perdas hidroenergéticas no SAA.

Perdas	Categoria	Causas
Água (m³)	<i>Perdas por fugas</i>	<i>Vazamentos visíveis e não visíveis</i>
	<i>Extravasamentos de água</i>	<i>Ineficiência operacional</i>
	<i>Excesso no consumo de água de processo</i>	
Energia elétrica (kWh)	<i>Referentes às perdas reais de água</i>	<i>Consumo de energia elétrica referente às perdas de água por fugas e extravasamento e referentes ao excesso de uso de água nos processos de SAA</i>
	<i>Consumo excessivo de energia elétrica</i>	<i>Regras operacionais inadequadas de níveis de reservação,</i>
		<i>Ponto de operação de sistemas de bombeamento inadequados (envelhecimento de equipamentos eletromecânicos e instalações hidráulicas)</i>

Fonte: autor.

Nesse sentido, aproveitando a experiência adquirida em atividades de monitoramento hidroenergético de SAA, de simulação operacional de SAA no *Epanet* 2.0, bem como o conhecimento adquirido no referencial teórico, foram levantadas uma série de ações consideradas necessárias para a avaliação do desempenho hidroenergético de SAA, que se caracterizaram como o ponto de partida para a metodologia desenvolvida:

i) Descrição do SAA: referente à identificação do sistema a ser avaliado e das unidades que o compõe, bem como levantamento dos cadastros elétricos, eletromecânicos, hidráulicos e das infraestruturas civis.

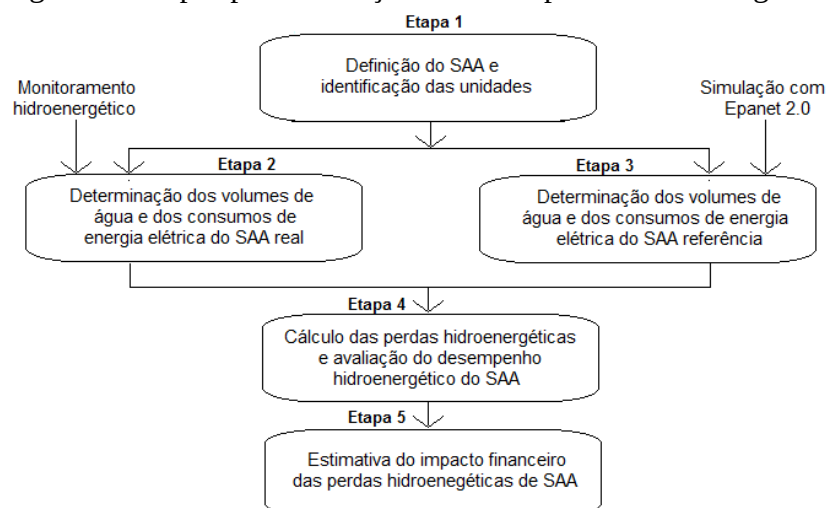
ii) Diagnóstico do SAA real: para, inicialmente, identificar qual a necessidade de água do sistema avaliado (valores de consumo efetivo para população e para processos), em seguida realizar monitoramento hidroenergético (observando os aspectos de instalação, aquisição, coleta e sistematização de dados de volumes de água e consumo de energia elétrica) e, por fim, apresentar propostas de ações para melhorias operacionais visando diminuição de volumes de água e de consumo de energia elétrica;

iii) Simulação do SAA referência: para, inicialmente, ser feita a modelagem do SAA no *Epanet* e em seguida a simulação das melhorias operacionais, onde os dados de volumes de água e de consumo de energia elétrica são coletados e sistematizados;

iv) Avaliação hidroenergética: para calcular perdas de água e de energia elétrica e avalia-las visando determinação desempenho hidroenergético, para no fim verificar quais os impactos financeiros das mesmas nos serviços de saneamento.

Considerando as atividades mencionadas, a metodologia desenvolvida se traduz na representação do sequenciamento das mesmas para realizar todo o processo de avaliação do desempenho hidroenergético de SAA. Todas as atividades foram agrupadas para representar a metodologia proposta, conforme a Figura 20.

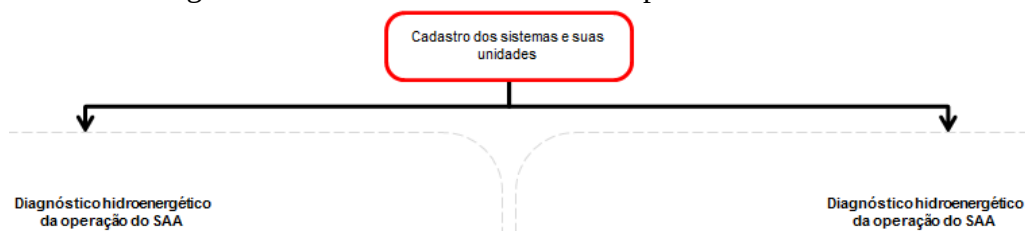
Figura 20: etapas para avaliação do desempenho hidroenergético.



Fonte: autor.

A primeira etapa da metodologia desenvolvida é a definição do SAA e de suas unidades que serão cadastradas para posterior avaliação, nesse caso, o primeiro passo é apresentado na Figura 21. O cadastramento dos SAA e de suas unidades é muito importante, pois é a representação de todo o sequenciamento de volumes de água e de consumo de energia elétrica que a metodologia desenvolvida processar para a realização dos cálculos necessários. A sequência de unidades deve ser como uma fila única até a unidade final (que é necessariamente o setor de distribuição), ou seja, o SAA não possuirá nenhum tipo de bifurcação, exceto aquelas identificadas como importação ou exportação. A essa linha deu-se o nome de *linha hidroenergética* de SAA.

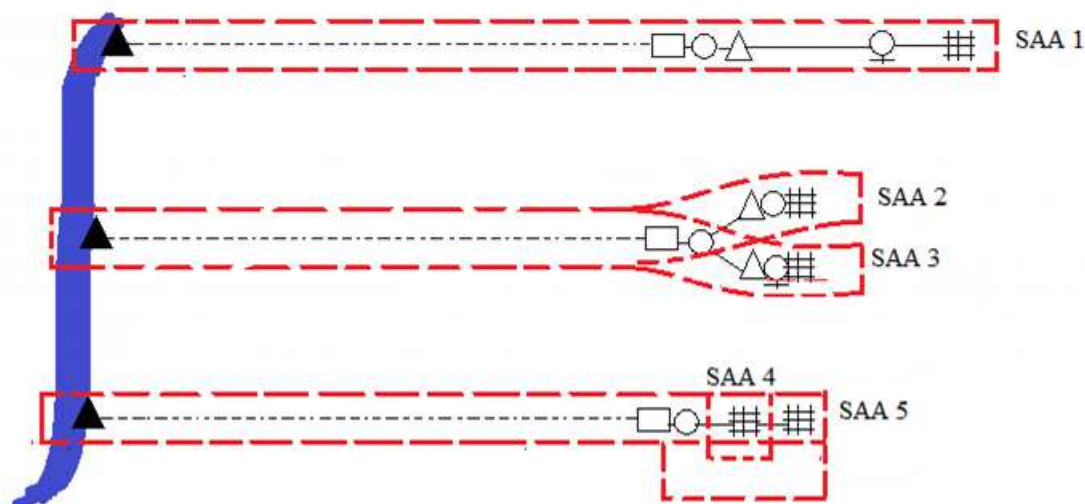
Figura 21: cadastro dos sistemas e respectivas unidades.



Fonte: autor.

Seguem alguns exemplos de como deve ser feito o sequenciamento de unidades de SAA, os quais são apresentados na Figura 22 e detalhados no Quadro 2:

Figura 22: exemplos de linhas hidroenergéticas de SAA.



Legenda:

- ▲ Estação elevatória de água bruta (EEAB)
- △ Estação elevatória de água tratada (EEAT)
- Adutora de água bruta (AAB)
- Adutora de água tratada (AAT)
- Estação de tratamento de água (ETA)
- Reservatório apoiado (RAP)
- ♀ Reservatório superior (REL)
- ## Rede de distribuição de água (RDA)

Fonte: autor.

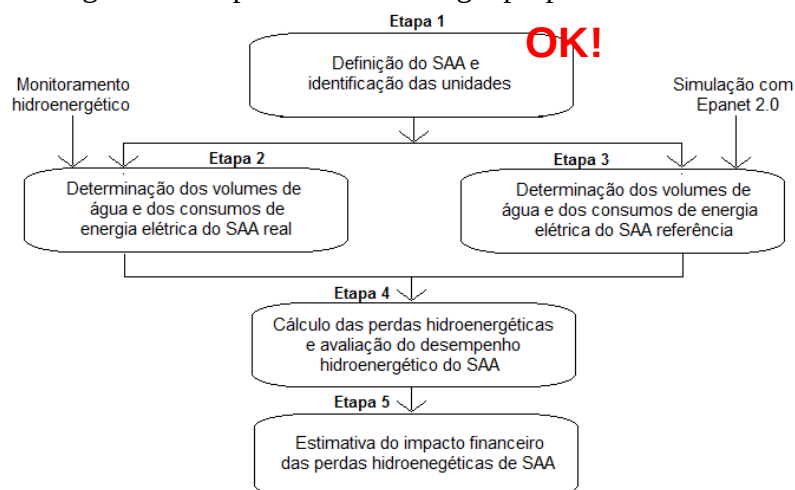
Quadro 2: unidades que compõe as linhas hidroenergéticas dos sistemas 1 a 5.

Sistemas	Sequenciamento das unidades
SAA 1	EAB → ETA → RAP → EAT → REL → RDA
SAA 2	EAB → ETA → RAP → EAT → REL → RDA
SAA 3	EAB → ETA → RAP → EAT → REL → RDA
SAA 4	EAB → ETA → RAP → RDA
SAA 5	EAB → ETA → RAP → RDA

Fonte: autor.

Para o melhor entendimento da metodologia desenvolvida, a mesma será apresentada na forma simplificada ao final de cada etapa para indicação do término da mesma como observado na Figura 23, que, no caso, é referente ao final da Etapa 1 da metodologia.

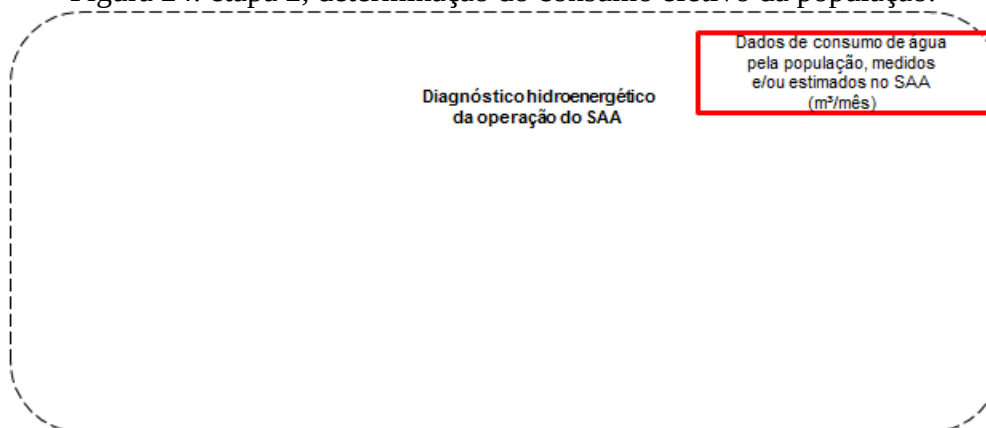
Figura 23: etapa 1 do metodologia proposta concluída.



Fonte: autor.

Definidos o SAA a ser avaliado e o sequenciamento das suas unidades, inicia-se a segunda etapa, que foi concentrada no diagnóstico do SAA. Na Etapa 2, será necessário, primeiramente, determinar o volume de água necessário para a demanda da população, ação destacada na Figura 24:

Figura 24: etapa 2, determinação do consumo efetivo da população.

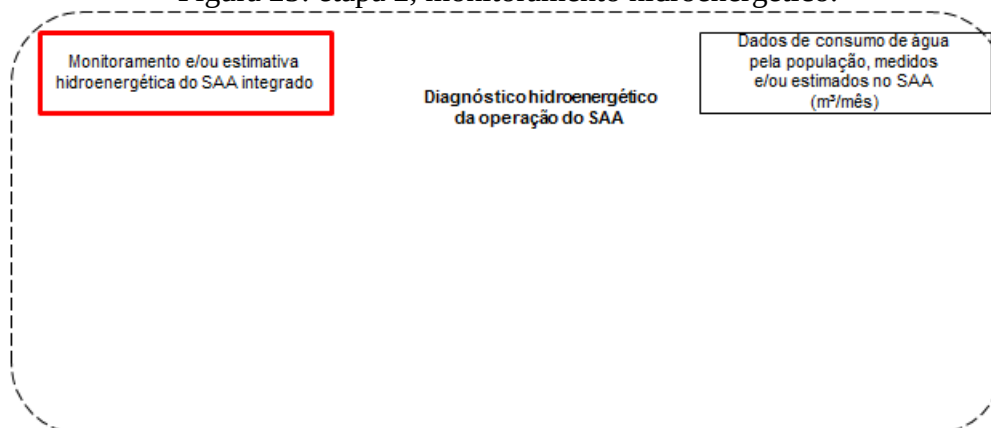


Fonte: autor.

Em seguida, será importante realizar o monitoramento hidroenergético das unidades do SAA (ação destacada na Figura 25), sempre tendo muita atenção a questões relacionadas à seleção dos pontos de monitoramento de volumes de água e de

monitoramento de consumo de energia elétrica, bem como à seleção dos equipamentos a serem utilizados.

Figura 25: etapa 2, monitoramento hidroenergético.

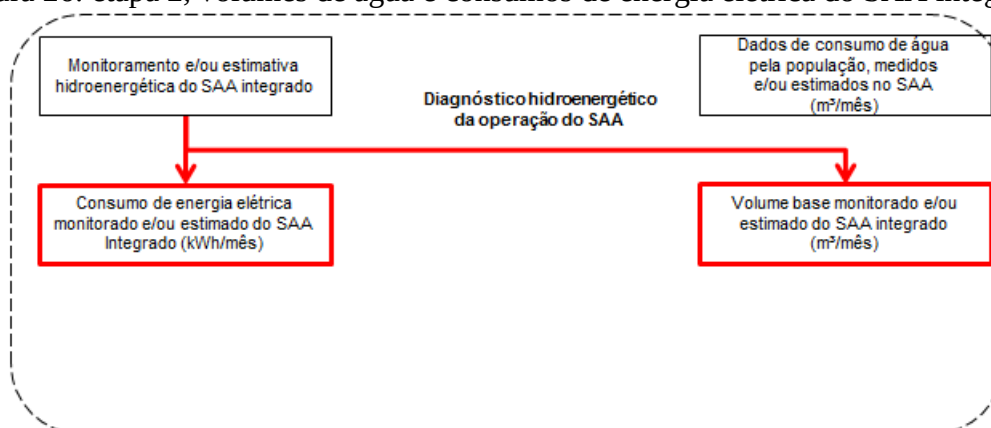


Fonte: autor.

É importante ressaltar que nesse momento, o SAA deve ser definido como “SAA integrado”, pois os valores obtidos de volumes de água e de consumos de energia elétrica são referentes ao SAA que contém todos os setores de distribuição e não somente o setor que será avaliado. Assim, o foco foi possibilitar relatórios de volumes de água que entraram em cada unidade e relatórios de consumo de energia elétrica referentes às unidades do SAA que consomem energia elétrica.

Depois do monitoramento, será necessária totalização dos dados de volumes de água na entrada de cada uma das unidades e dos dados de consumos de energia elétrica que existem consumo no SAA integrado, respectivamente, nas medidas “metros cúbicos de por mês” ($m^3/mês$) e “quilowatts hora por mês” ($kWh/mês$). Sequência de ações observada na Figura 26.

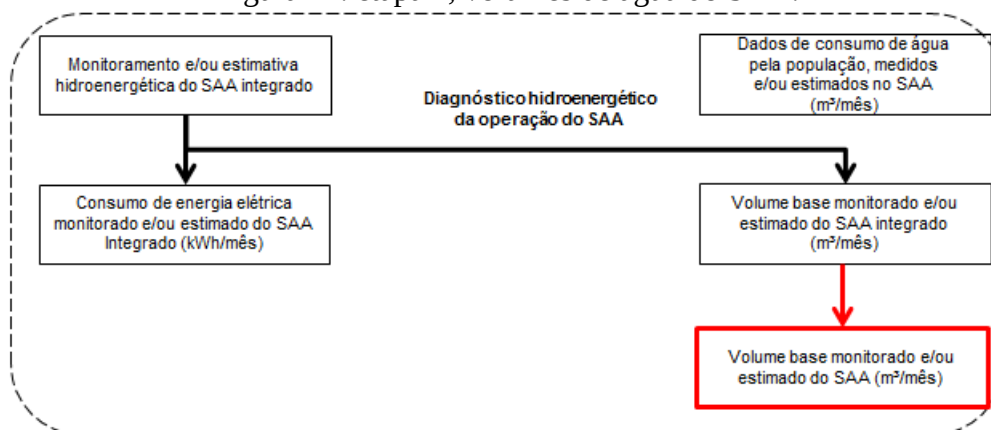
Figura 26: etapa 2, volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA integrado.



Fonte: autor.

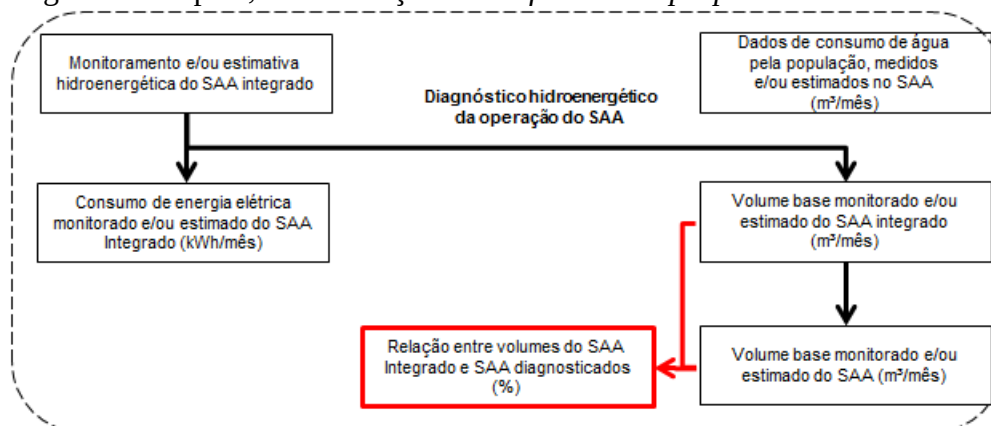
Também será importante identificar quais os reais volumes de água e de consumos de energia elétrica que representam a *linha hidroenergética*, pois, até então, os valores conhecidos são referentes ao SAA Integrado. Nesse sentido, caso ocorra importação de água, os valores serão sempre somados aos da unidade que recebe os volumes e caso ocorra exportação de água os valores serão sempre subtraídos nas unidades à jusante. Assim, têm-se os novos valores de volumes de água ($m^3/mês$), que serão característicos da *linha hidroenergética* do SAA, conforme apresentado na Figura 27. Após isso, determinam-se os valores, em percentual, da relação entre volumes do SAA e do SAA integrado, cuja sequência é observada na Figura 28:

Figura 27: etapa 2, volumes de água do SAA.



Fonte: autor

Figura 28: etapa 2, determinação do *coeficiente de proporcionalidade*.

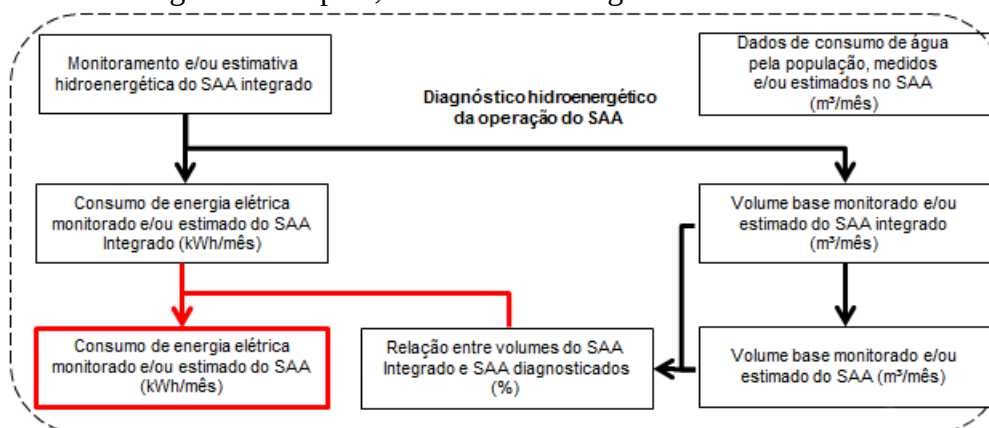


Fonte: autor.

Os *coeficientes de proporcionalidade* serão utilizados para determinar o consumo de energia elétrica do SAA em relação ao SAA Integrado na mesma proporção dos volumes de água, o qual representará o consumo de energia elétrica da *linha*

hidroenergética, ou seja, o consumo de energia elétrica diagnosticado do SAA (kWh/mês). Essa sequência pode ser observada na Figura 29.

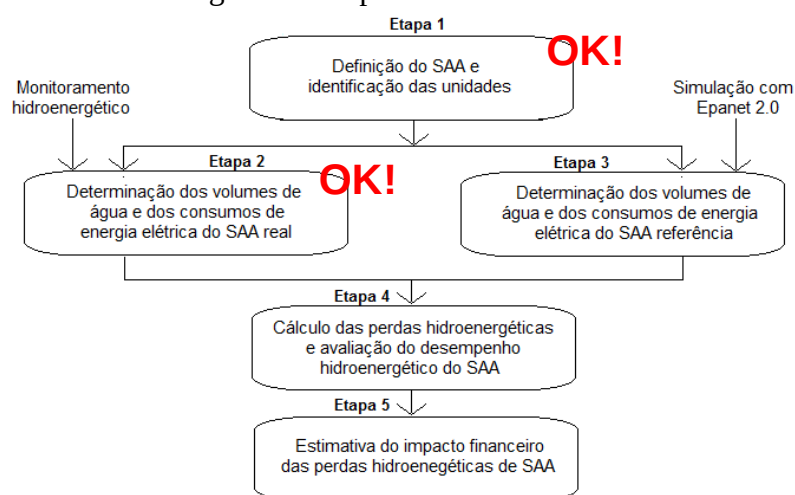
Figura 29: etapa 2, consumo de energia elétrica do SAA.



Fonte: autor.

Determinados os valores dos volumes de água e os consumos de energia elétrica da linha hidroenergética, ou seja, do SAA (e não do SAA Integrado) chega ao fim a etapa 2, conforme apresentado na Figura 30:

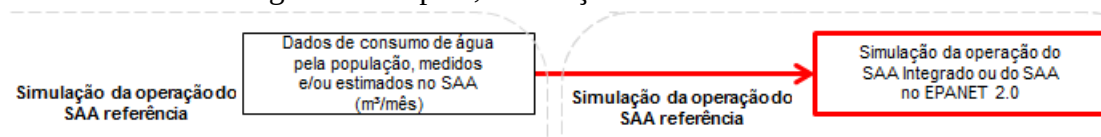
Figura 30: etapas 1 e 2 finalizadas.



Fonte: autor.

A terceira etapa se inicia com a simulação no *Epanet 2.0* para gerar dados de volumes de água e de consumos de energia elétrica daquele que é definido como “SAA Integrado de referência”. Vale ressaltar que deve ser utilizado na simulação o volume de água efetivo demandado pela população, conforme indicado na Figura 31.

Figura 31: etapa 3, simulação do SAA referência.

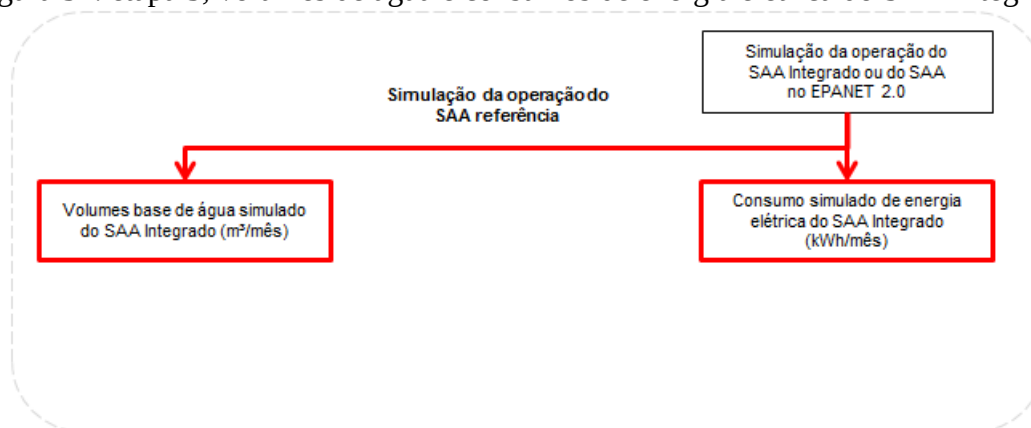


Fonte: autor.

Vale lembrar que o SAA Integrado de referência é aquele que inclui todos os setores de distribuição e não somente o que será avaliado, além de ser o SAA com valores de volumes de água e de consumos de energia elétrica simulados no *Epanet 2.0*.

Após a simulação, é necessário totalizar o volume de água e o consumo de energia elétrica de todas as unidades do SAA Integrado de referência, respectivamente, nas medidas “metros cúbicos de por mês” ($m^3/mês$) e “quilowatts hora por mês” ($kWh/mês$). Essa sequência de ações é indicada na Figura 32.

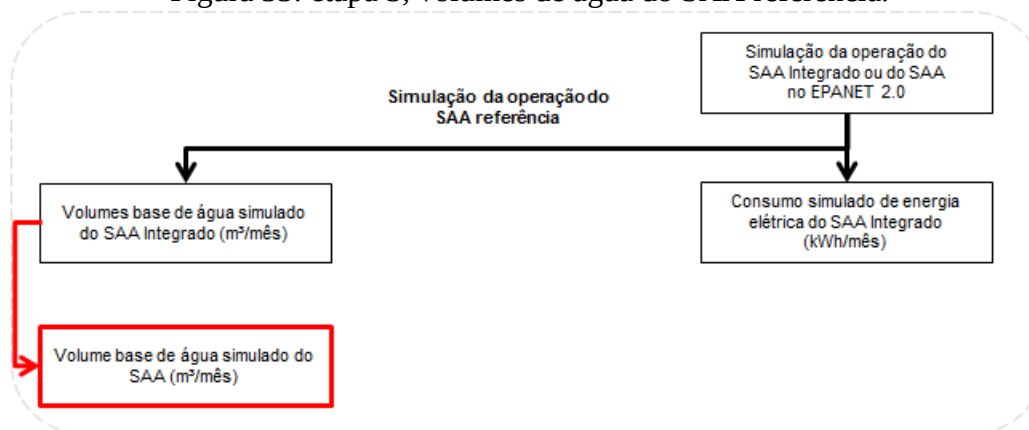
Figura 32: etapa 3, volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA integrado.



Fonte: autor.

Vale lembrar, que como na etapa de diagnóstico hidroenergético, esses valores obtidos de volumes de água e de consumos de energia elétrica são referentes ao SAA que inclui todos os setores de distribuição e não somente aquele que será avaliado. Dessa forma, igualmente à etapa anterior da metodologia proposta, no caso “diagnóstico hidroenergético”, é necessário identificar quais os valores de volumes de água ($m^3/mês$) da *linha hidroenergética simulada*, ou seja, do SAA simulado, o qual será definido como “SAA de referência”, conforme apresentado na Figura 33.

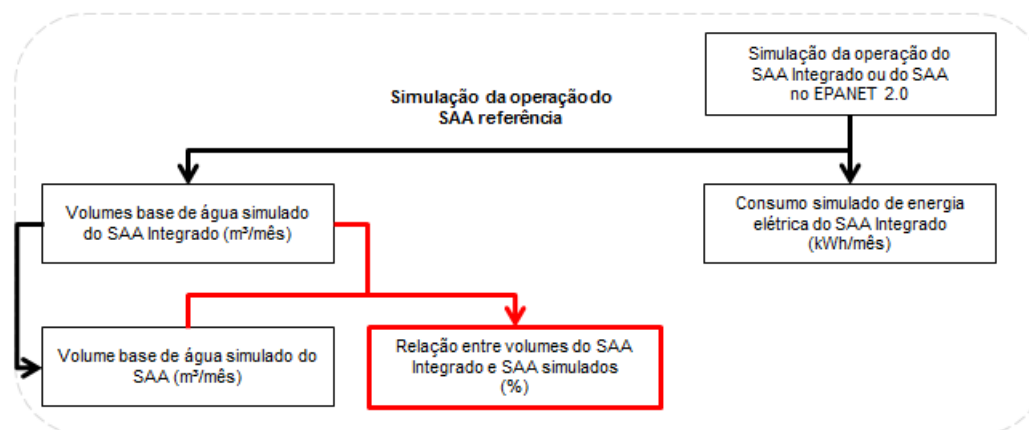
Figura 33: etapa 3, volumes de água do SAA referência.



Fonte: autor.

Após isso, serão determinados os valores dos *coeficientes de proporcionalidade simulados* para cada unidade para a simulação, dado em percentual, de acordo com o apresentado na Figura 34.

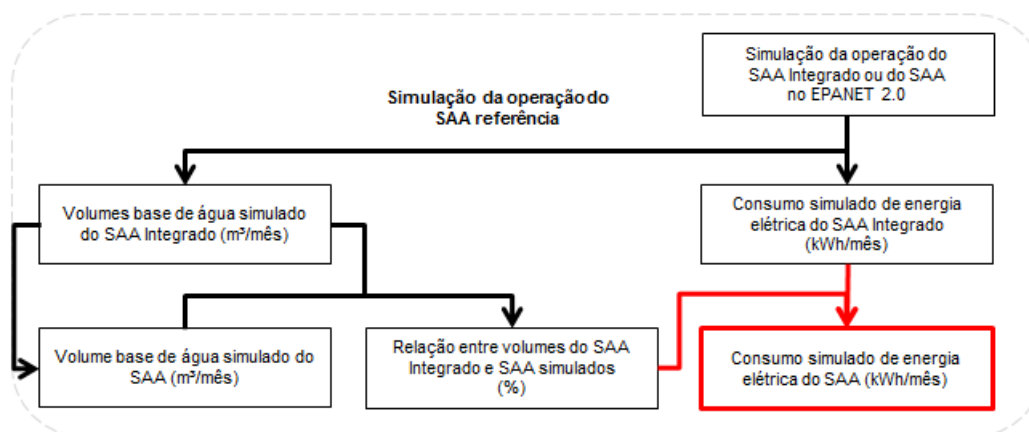
Figura 34: etapa 3, determinação do *coeficiente de proporcionalidade simulado*.



Fonte: autor.

Esses valores percentuais serão utilizados para determinar o consumo proporcional de energia elétrica do SAA integrado, o qual representará o consumo de energia elétrica diagnosticado do SAA a ser avaliado, cuja medida será “quilowatts hora por mês” (kWh/mês), conforme pode ser observado na Figura 35.

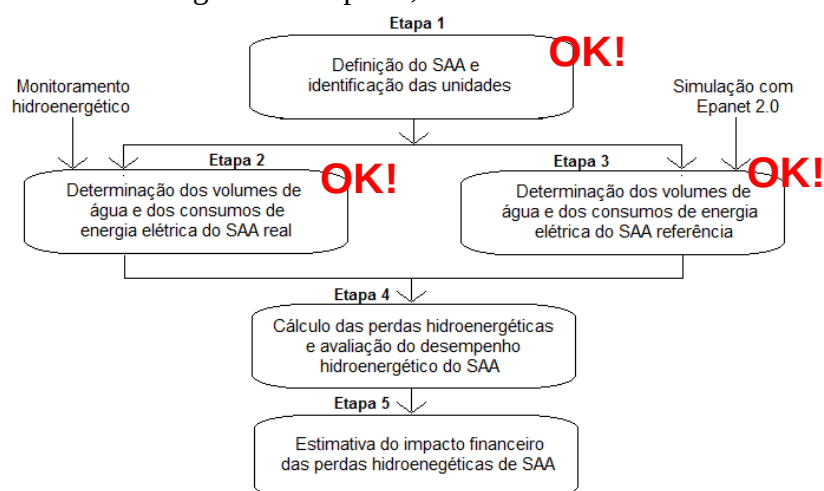
Figura 35: etapa 3, consumo de energia elétrica do SAA referência.



Fonte: autor.

Quantificados e sistematizados os valores de volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA referência, finaliza-se a descrição das três primeiras etapas da metodologia, no caso, “Definição do SAA e identificação das unidades”, “Diagnóstico hidroenergético” e “Simulação da operação do SAA referência”, como apresentado na Figura 36:

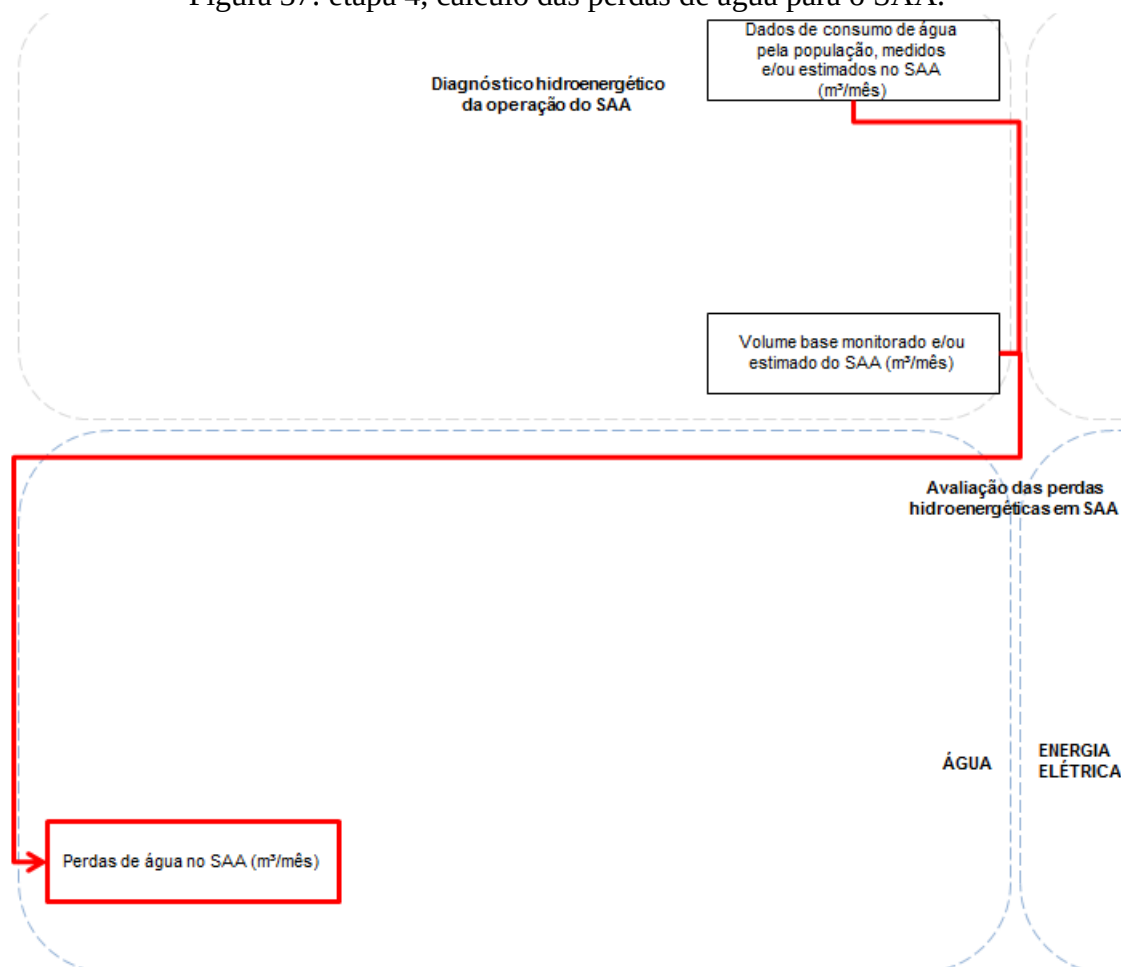
Figura 36: etapas 1, 2 e 3 finalizadas.



Fonte: autor.

A quarta etapa foi relacionada ao cálculo das perdas hidroenergéticas e avaliação de desempenho e a última etapa relacionada à estimativa do impacto financeiro das perdas hidroenergéticas em SAA. O primeiro passo será calcular as perdas de água, de acordo com a definição dada as mesmas no início deste capítulo e dadas em “metros cúbicos de água por mês” ($m^3/mês$). Para isso, serão necessários os valores de volumes de água do SAA diagnosticado, conforme Figura 37.

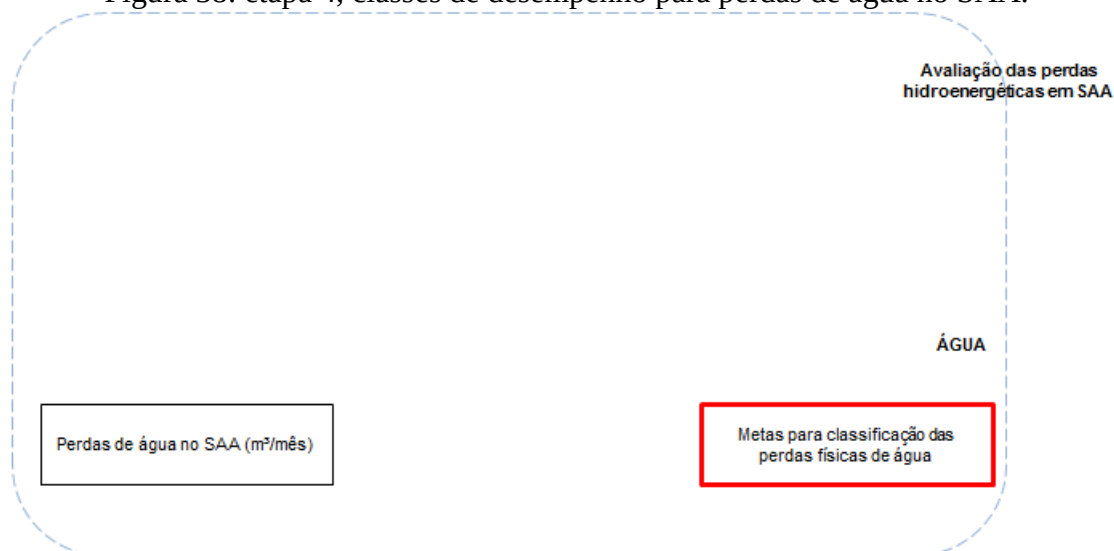
Figura 37: etapa 4, cálculo das perdas de água para o SAA.



Fonte: autor.

Depois do cálculo, a metodologia previu o cadastro de cinco valores percentuais de perdas de água, ação destacada na Figura 38, que irão representar as classes de desempenho “muito ruim”, “ruim”, “regular”, “bom” e “excelente”.

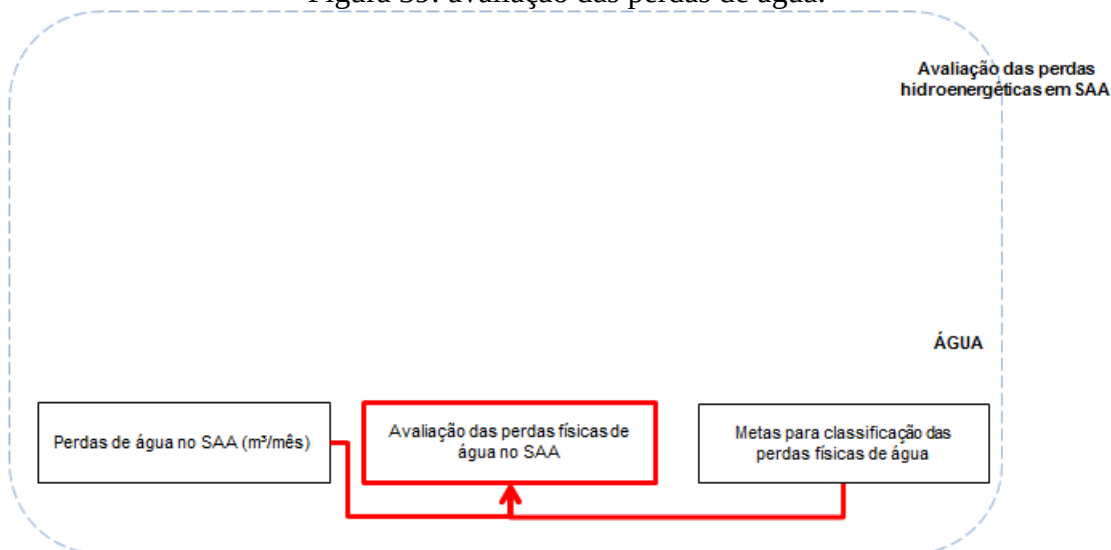
Figura 38: etapa 4, classes de desempenho para perdas de água no SAA.



Fonte: autor.

Na sequência, serão calculados valores percentuais dos volumes perdidos de água em relação aos volumes totais de entrada em cada unidade do SAA, em cada etapa do SAA e no SAA como um todo. Nesse sentido, se quantificado o distanciamento entre o SAA diagnosticado e o SAA referência, o qual é enquadrado dentro das classes de desempenho definidas, o que representará o resultado da avaliação hídrica na metodologia. Essa sequência de ações é apresentada na Figura 39.

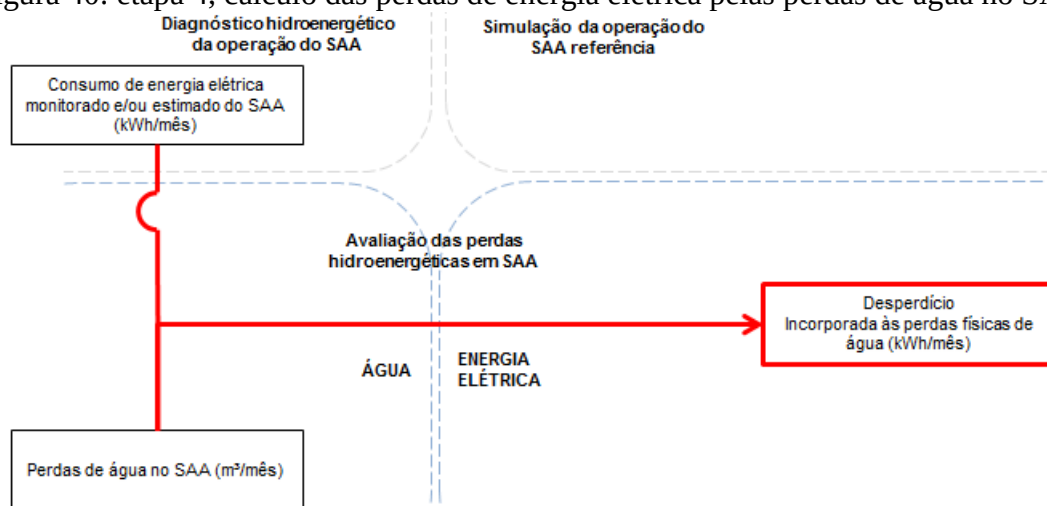
Figura 39: avaliação das perdas de água.



Fonte: autor.

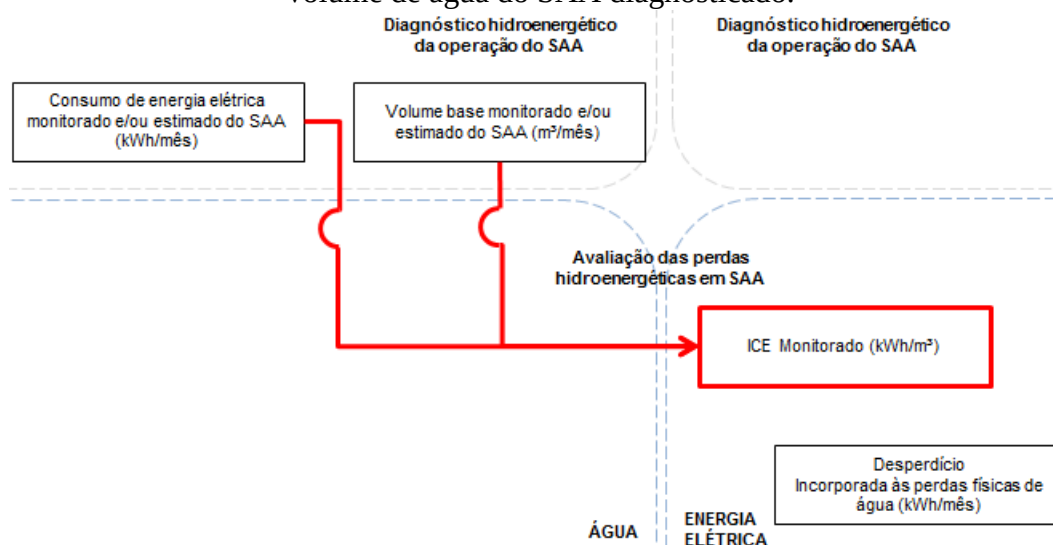
O cálculo das perdas de energia elétrica no SAA será menos simples que o de perdas de água, pois será necessário quantificar a energia elétrica consumida referente às perdas de água e, posteriormente, a energia elétrica consumida em excesso nos volumes não perdidos. Dessa forma, primeiramente, será necessário determinar a quantidade de energia elétrica consumida referente aos volumes perdidos de água, o que pode ser feito de relacionando diretamente o consumo de energia elétrica com o percentual de perdas de água, ação observada na Figura 40. Na sequência, Figura 41, será necessário quantificar a energia elétrica consumida em excesso pelos volumes de água não perdidos, onde, primeiramente, calcula-se o ICE (kWh/m^3) referente ao diagnóstico hidroenergético.

Figura 40: etapa 4, cálculo das perdas de energia elétrica pelas perdas de água no SAA.



Fonte: autor.

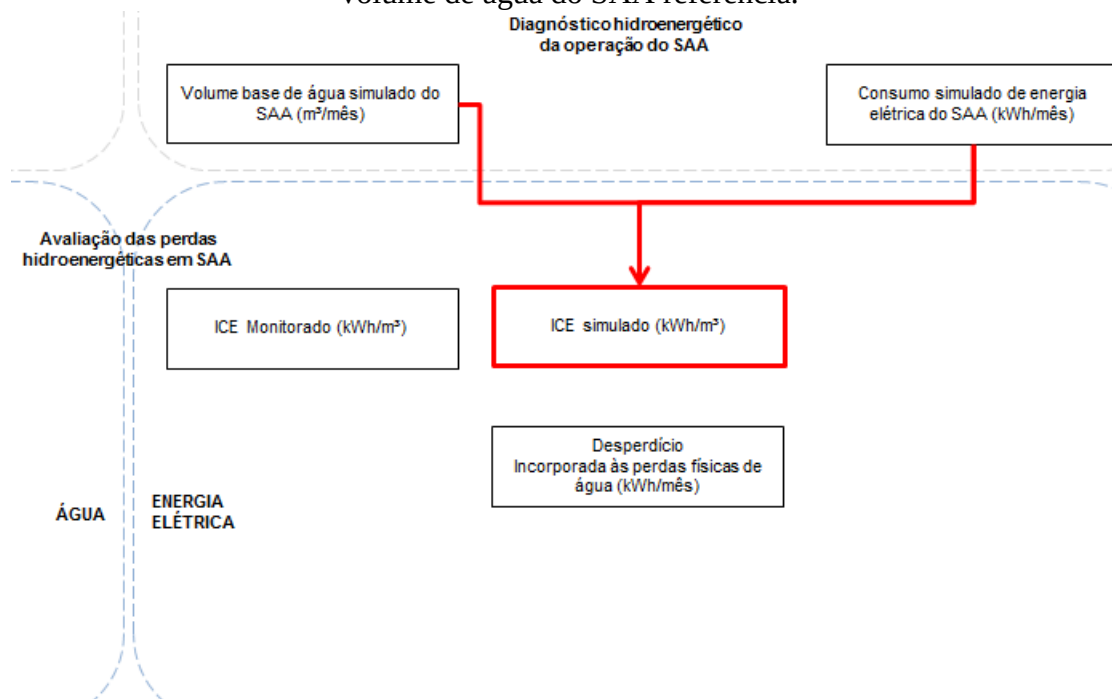
Figura 41: etapa 4, determinação do consumo de energia elétrica para cada unidade de volume de água do SAA diagnosticado.



Fonte: autor.

Em seguida, será calculado o ICE (kWh/m^3) referente à simulação da operação do SAA referencial. Essa ação é observada na Figura 42.

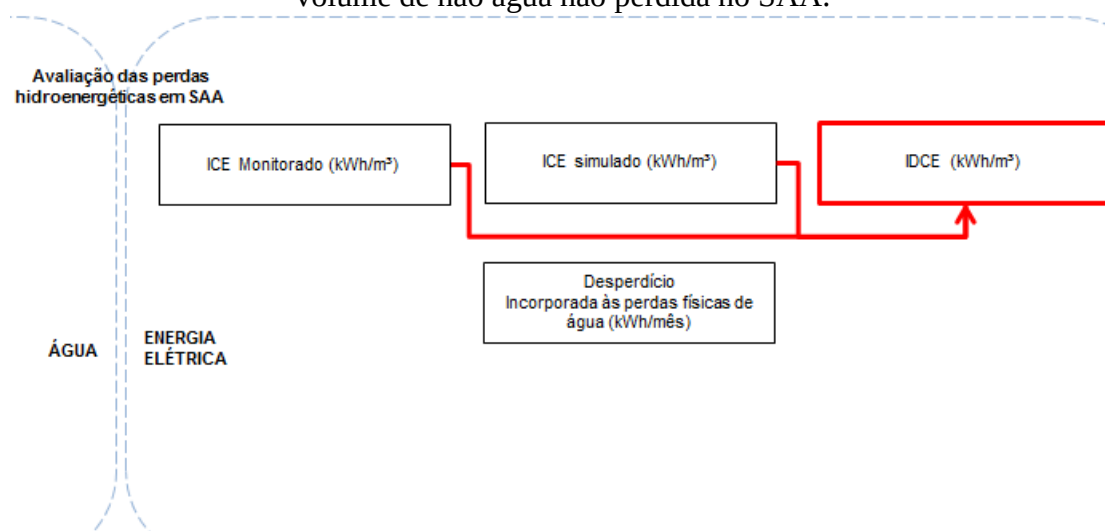
Figura 42: etapa 4, determinação do consumo de energia elétrica para cada unidade de volume de água do SAA referencial.



Fonte: autor.

Depois, será calculado para cada unidade do SAA o Indicador de Desperdício de Energia Elétrica (IDCE – kWh/m^3), no caso, será a diferença entre o ICE monitorado e o ICE simulado. Essa ação é observada na Figura 43.

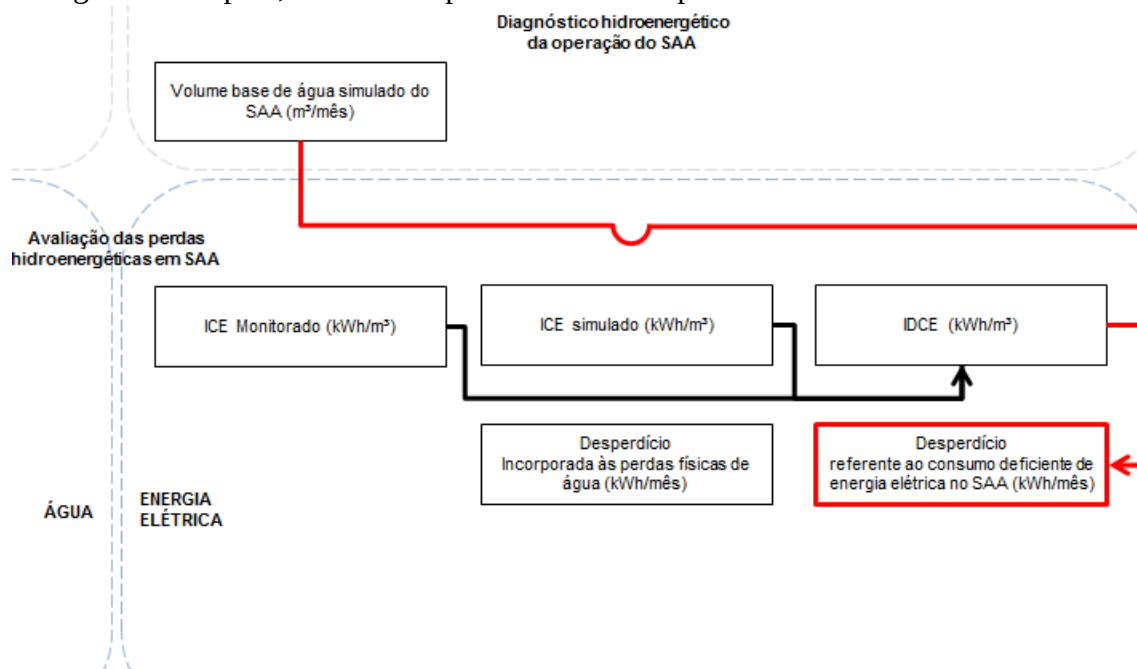
Figura 43: etapa 4, cálculo do consumo perdido de energia elétrica para cada unidade de volume de água não perdida no SAA.



Fonte: autor.

Por fim, deverá ser aplicado o IDCE (kWh/m^3) aos valores de volume base de água não perdidos ($m^3/mês$) para obtenção da quantidade de energia elétrica consumida em excesso ($kWh/mês$), conforme observado na Figura 44.

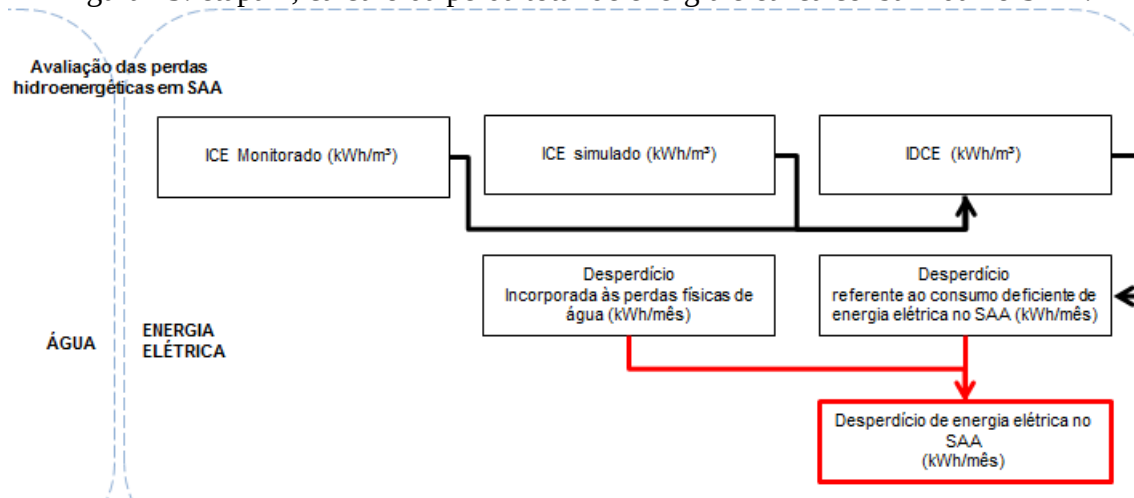
Figura 44: etapa 4, calculo das perdas de elétrica por excesso no consumo no SAA.



Fonte: autor.

Na sequência, deverão ser somados os valores de energia elétrica consumida referente às perdas de água com os de energia elétrica consumida em excesso para obtenção do consumo de energia elétrica perdido. Essa ação é verificada na Figura 45.

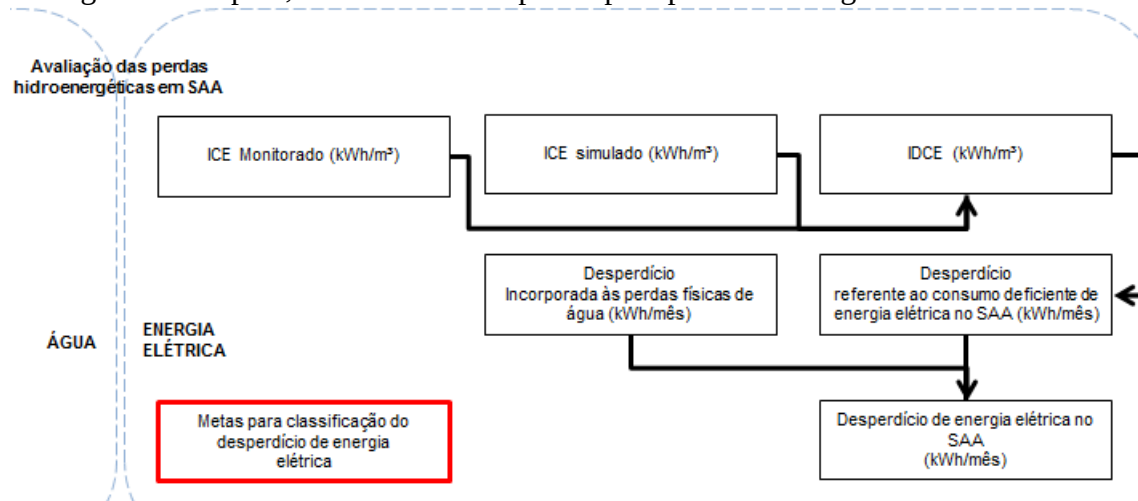
Figura 45: etapa 4, cálculo da perda total de energia elétrica consumida no SAA.



Fonte: autor.

Em seguida deve-se calcular o desperdício de energia elétrica, no caso, a metodologia deverá prever cadastro (observado na Figura 46) de cinco valores percentuais que irão representar as classes de desempenho “muito ruim”, “ruim”, “regular”, “bom” e “excelente”.

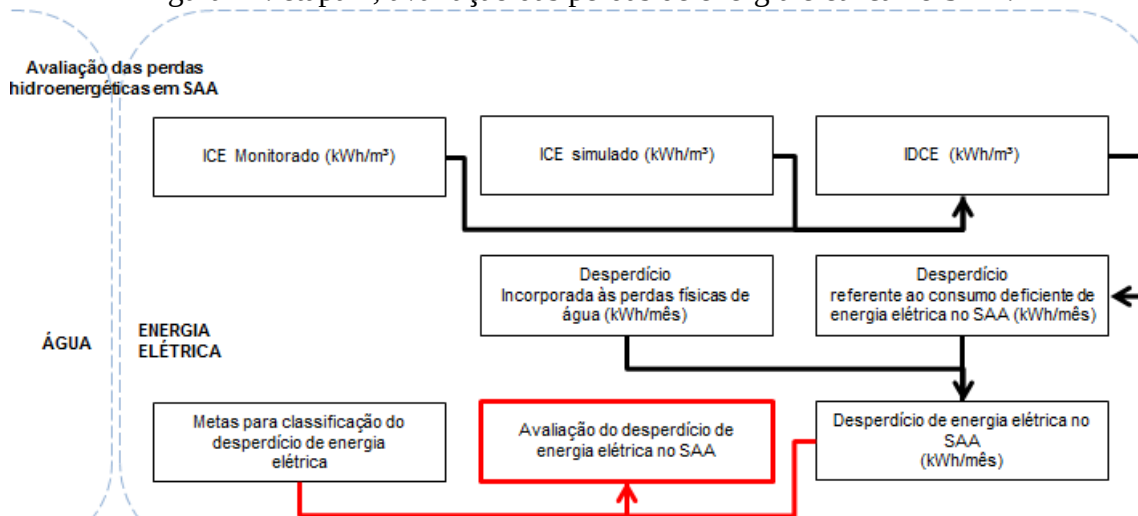
Figura 46: etapa 4, classes de desempenho para perda de energia elétrica no SAA.



Fonte: autor.

Na sequência, serão calculados valores percentuais de energia consumida perdida em relação à energia consumida diagnosticada, para as unidades, etapas e para o SAA como um todo (ação observada na Figura 47). Nesse sentido, será quantificado o distanciamento entre o SAA monitorado e o SAA de referência para enquadramento nas classes de desempenho, o que representará o resultado da avaliação energética.

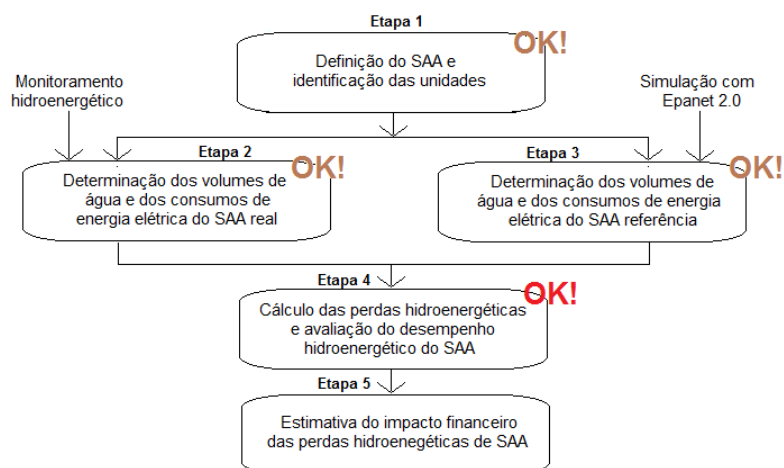
Figura 47: etapa 4, avaliação das perdas de energia elétrica no SAA.



Fonte: autor.

Finalizadas as etapas de 1 a 4 (observadas na Figura 48), será iniciada a etapa 5, no caso, “Estimativa do impacto financeiro das perdas hidroenergéticas do SAA”:

Figura 48: etapas 1, 2, 3 e 4 finalizadas.



Fonte: autor.

Visando estimativa do impacto financeiro das perdas hidroenergéticas, o primeiro passo será identificar os valores referentes às tarifas para consumo de energia elétrica em cada unidade consumidora ($R\$/kWh$). Essa ação é observada na Figura 49.

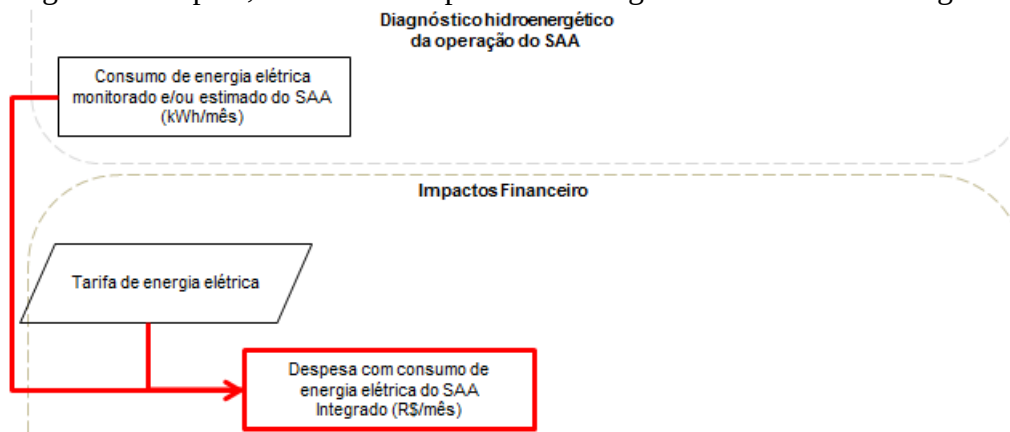
Figura 49: etapa 5, tarifas de energia elétrica.



Fonte: autor.

Depois de identificada a tarifa para consumo de energia elétrica do SAA, o valor será utilizado juntamente com o consumo de energia elétrica do SAA integrado para calcular a despesa com energia elétrica do SAA Integrado. Essa ação é indicada na Figura 50.

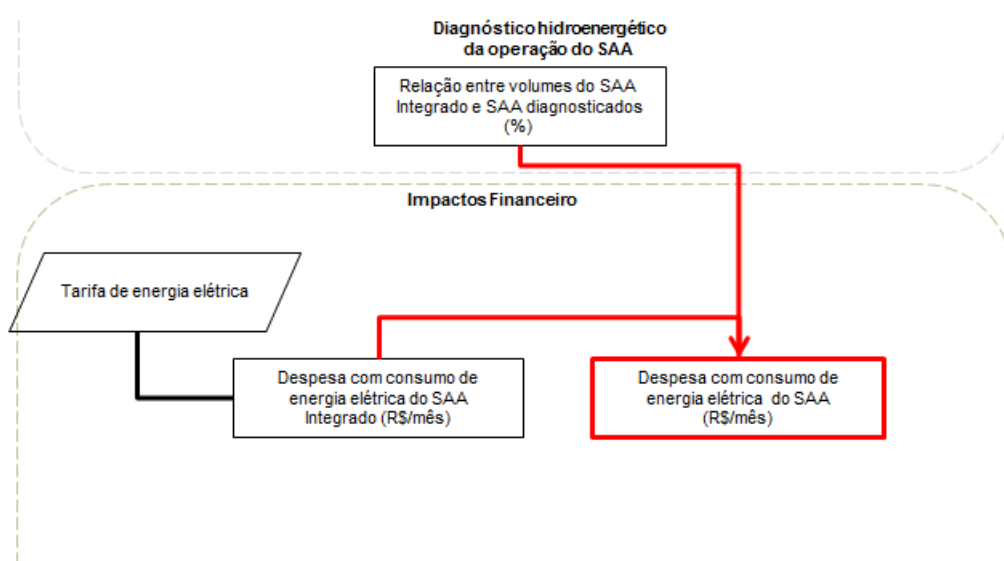
Figura 50: etapa 5, cálculo da despesa com energia elétrica no SAA integrado.



Fonte: autor.

Na sequência, será aplicado o *coeficiente de proporcionalidade* sobre o valor da despesa com energia elétrica referente ao SAA integrado para determinar o valor da despesa com energia elétrica para a *linha hidroenergética*, ou seja, para o SAA que será avaliado. Essa ação é observada na Figura 51.

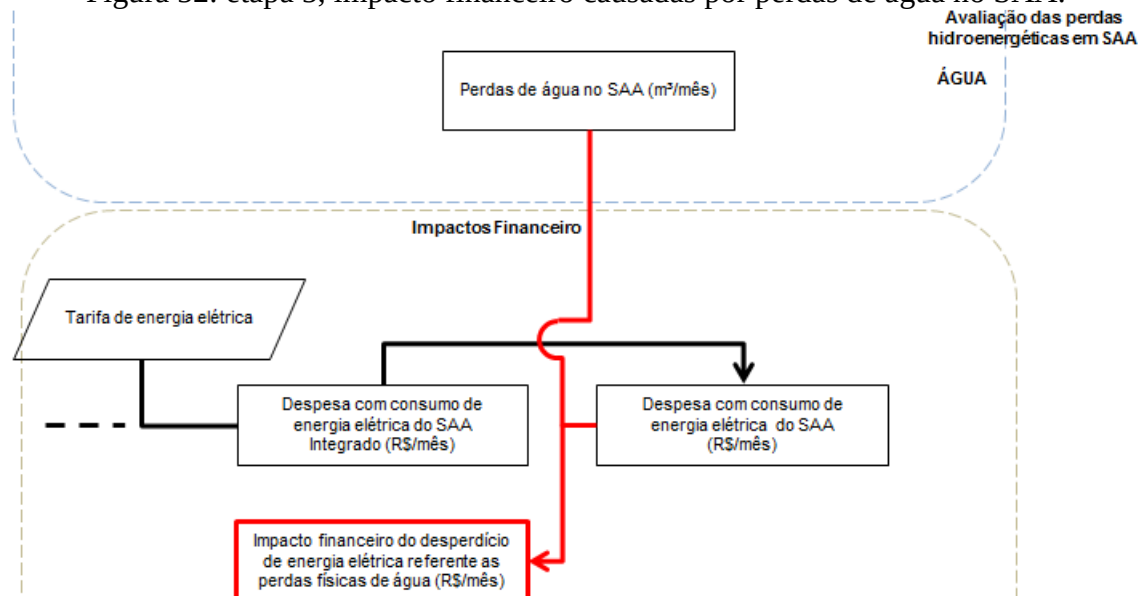
Figura 51: etapa 5, cálculo das despesas com energia elétrica no SAA.



Fonte: autor.

Para determinar o impacto financeiro referente às perdas físicas de água no SAA foi necessário utilizar o produto entre as perdas de água (em valores percentuais) e a despesa com energia elétrica do SAA. A ação é verificada na Figura 52.

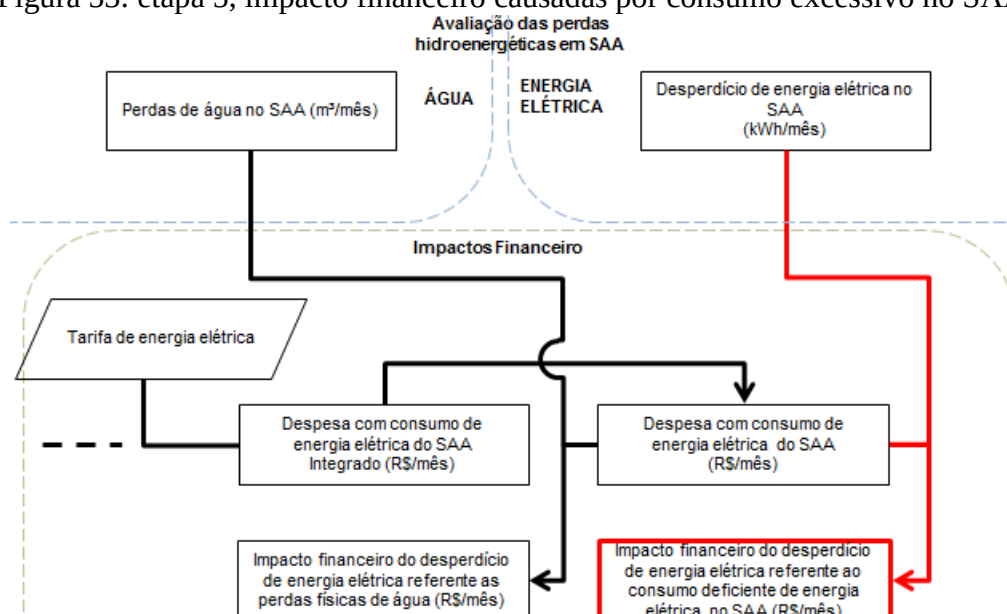
Figura 52: etapa 5, impacto financeiro causadas por perdas de água no SAA.



Fonte: autor.

Para determinar o impacto financeiro referente ao consumo ineficiente de energia elétrica no SAA, foi necessário utilizar dados do desperdício de energia elétrica e da despesa com energia elétrica do SAA avaliado. A ação é observada na Figura 53.

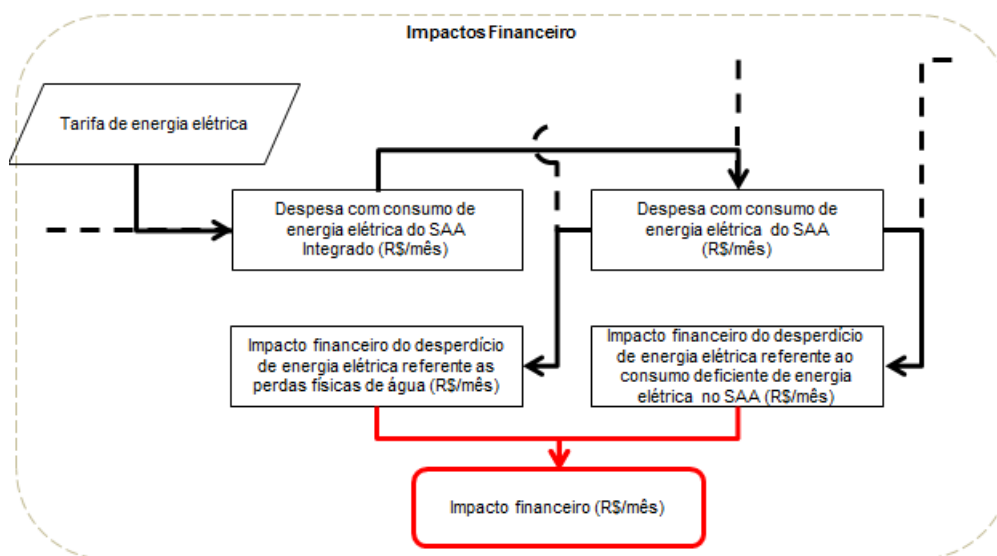
Figura 53: etapa 5, impacto financeiro causadas por consumo excessivo no SAA.



Fonte: autor.

Por fim, será calculado o impacto financeiro das perdas hidroenergéticas em SAA, a partir das parcelas referentes às perdas reais de água e ao consumo excessivo de energia elétrica, conforme ação verificada na Figura 54:

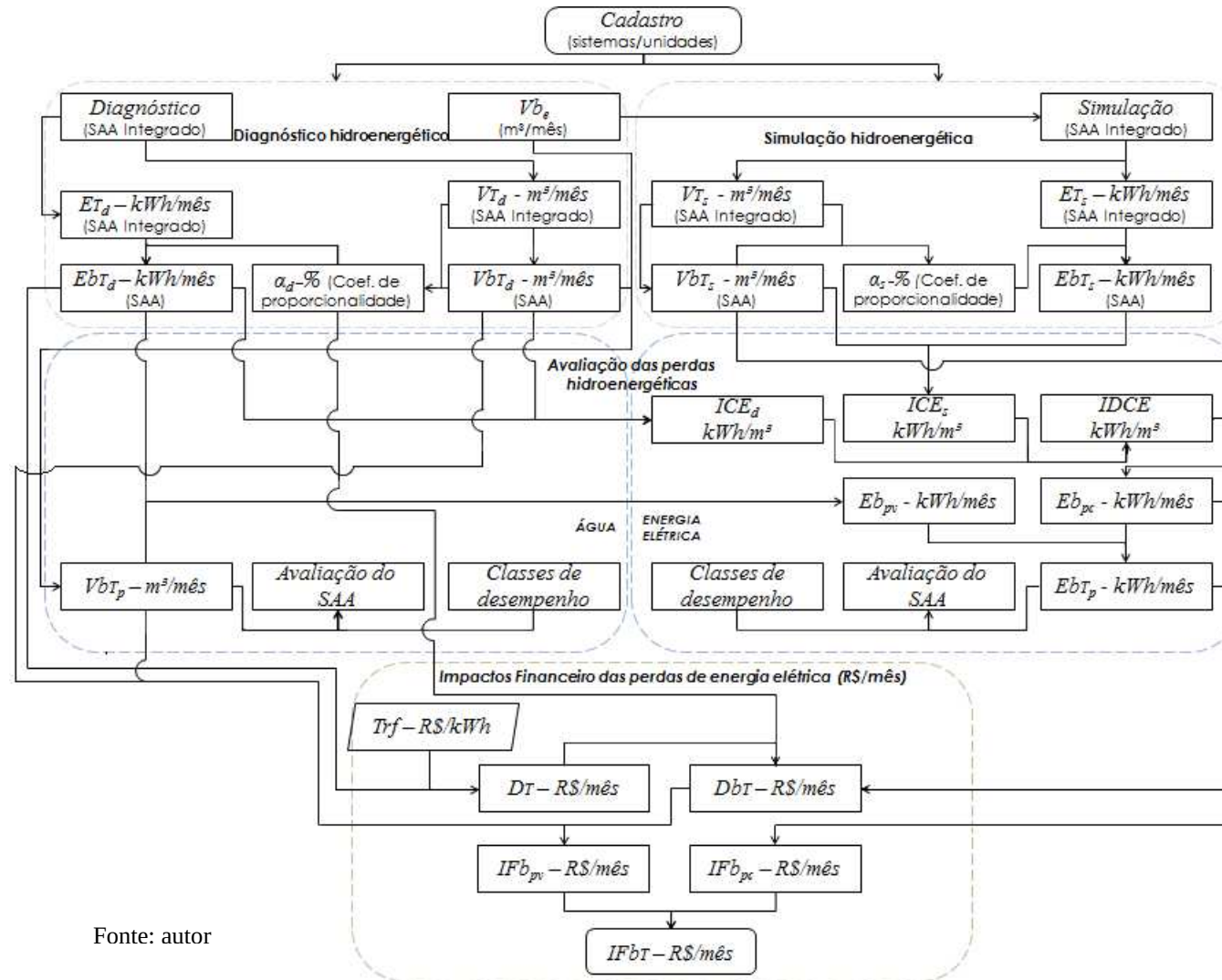
Figura 54: etapa 5, impacto financeiro das perdas hidroenergéticas.



Fonte: autor.

Todas as etapas da metodologia são apresentadas na Figura 55, sendo na sequência abordadas as notações utilizadas pelo mesmo para a avaliação de desempenho hidroenergético de SAA.

Figura 55: metodologia para avaliação de perdas hidroenergéticas em SAA.



Fonte: autor

Seguem as notações utilizadas na metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA:

Vb_e = *Volume efetivo consumido de água*: volume efetivo consumido pela população no SAA ($m^3/mês$);

V_{Td} = *Volume diagnosticado de água*: volume que entra em cada unidade do SAA integrado diagnosticado ($m^3/mês$);

Vb_{Td} = *Volume diagnosticado base total de água*: volume que entra em cada unidade referente ao SAA diagnosticado ($m^3/mês$);

α_d = *Coeficiente proporcionalidade do diagnostico*: aplicado sobre determinados valores do SAA integrado para obtenção dos valores do SAA, para o cenário de diagnóstico (%).

E_{Td} = *Energia elétrica diagnosticada total consumida*: consumo referente ao V_{Td} do SAA integrado diagnosticado ($kWh/mês$);

Eb_{Td} = *Energia elétrica diagnosticada base total consumida*: consumo de energia elétrica referente ao Vb_{Td} do SAA diagnosticado ($kWh/mês$);

V_{Ts} = *Volume simulado total de água*: volume que entra em cada unidade do SAA integrado simulado ($m^3/mês$);

Vb_{Ts} = *Volume simulado base total de água*: volume que entra em cada unidade do SAA simulado ($m^3/mês$);

α_s = *Coeficiente de proporcionalidade da simulação*: aplicado sobre determinados valores do SAA integrado para obtenção dos valores do SAA na simulação, no cenário de simulação (%);

E_{Ts} = *Energia elétrica simulado total consumida*: consumo referente ao V_{Ts} do SAA integrado simulado ($kWh/mês$);

Eb_{Ts} = *Energia elétrica simulado base total consumida*: consumo referente ao Vb_{Ts} do SAA simulado (kWh/mês);

Vb_p = *Volume base perdido de água*: volume de água perdido no SAA ($m^3/mês$);

Eb_{pv} = *Energia elétrica base perdida por volumes*: quantidade de energia elétrica consumida pelo Vb_{Tp} (kWh/mês);

ICE_d = *Indicador de consumo específico do diagnostico*: representa a quantidade de energia elétrica consumida para cada metro cúbico de água que entra nas unidades de SAA no diagnóstico (kWh/ m^3);

ICE_s = *Indicador de consumo específico da simulação*: representa a quantidade de energia elétrica consumida para cada metro cúbico de água que entra nas unidades de SAA na simulação (kWh/ m^3);

$IDCE$ = *Indicador de deficiência no consumo específico*: diferença entre o ICE_d e o ICE_s , representa a deficiência no consumo de energia elétrica por cada metro cúbico de água que entra em cada unidade do SAA (kWh/ m^3);

Eb_{pc} = *Energia elétrica base perdida por consumo excessivo*: quantidade de energia elétrica consumida excessiva referente aos volumes de água que não foram perdidos no SAA;

Eb_p = *Energia elétrica base perdida*: quantidade total de energia perdida no SAA;

Trf = *Tarifa de energia elétrica*: é a tarifa praticada no contrato de energia elétrica de cada unidade do SAA;

D_T = *Despesa de energia elétrica no SAA integrado*: é a despesa com consumo de energia elétrica no SAA Integrado;

Db_T = *Despesa base de energia elétrica*: é a despesa com consumo de energia elétrica no SAA;

IFb_{pv} = *Impacto financeiro por perdas de volumes*: é toda a despesa referente à energia elétrica consumida e pelos volumes de água perdidos no SAA;

IFb_{pc} = *Impacto financeiro por consumo excessivo*: é toda a despesa referente à energia elétrica consumida em excesso pelos volumes de água não perdidos no SAA;

IFb_T = *Impacto financeiro total*: é toda a despesa referente à energia elétrica perdida no SAA;

3.1.2 Fase 1.2: Estabelecimento de formulações para cálculo das perdas hidroenergéticas no SAA

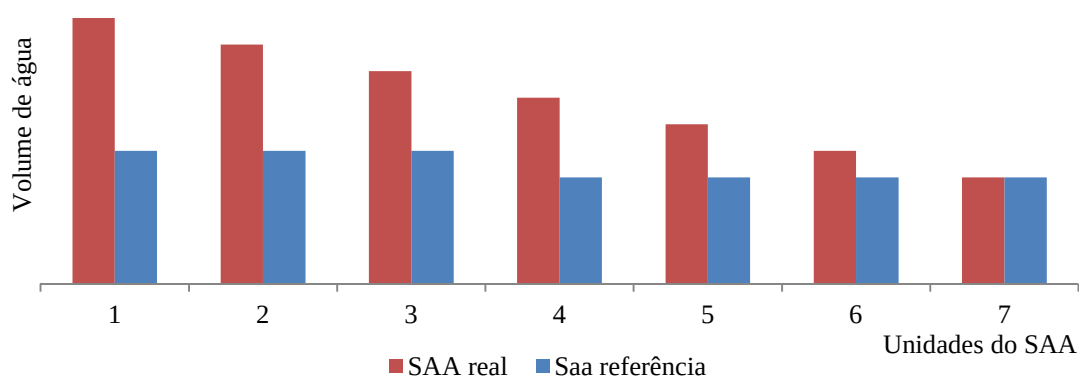
Depois de desenvolvida a metodologia proposta, precisou-se estabelecer formulações para determinação e avaliação das perdas hidroenergéticas de SAA. Assim, partindo do pressuposto que a concepção de desempenho do SAA está diretamente relacionada ao distanciamento entre os valores do SAA real e do SAA referência, foi necessário o estabelecimento de formulações para determinação dos volumes de água e dos consumos de energia elétrica, para ambas as situações. Deste modo, o cálculo das perdas de água e perdas de energia elétrica levou em consideração os valores de volumes de água e de consumos de energia elétrica do SAA real e do SAA referência.

O cálculo das perdas de água foi analisado além do balanço de massa propriamente dito, no caso, considerou o volume de água que entra em cada unidade (SAA real) e o volume de água que deveria entrar (SAA referência). Assim, atendendo a tudo que foi mencionado até então, tanto para o SAA real quanto para o SAA referência, para cada unidade foi estabelecido conjunto de formulações para:

- a) Volume de água efetivo (para consumo da população);
- b) Volumes de água direcionados ao uso em processos de SAA;
- c) Volumes de água perdidos: por fugas e/ou extravasamento e por uso excessivo nos processos.

A soma dessas três partes deverá ser igual ao volume de entrada de água em qualquer unidade do SAA real e também do SAA referência. Logo, o comportamento esperado para os resultados dos volumes de entrada de água nas unidades de SAA é decrescente no sentido da primeira unidade (que pode ser o sistema de captação ou não) para a última unidade (obrigatoriamente a rede de distribuição) para o SAA real e para o SAA referência, conforme apresentado na Figura 56:

Figura 56: evolução dos volumes de água no SAA.



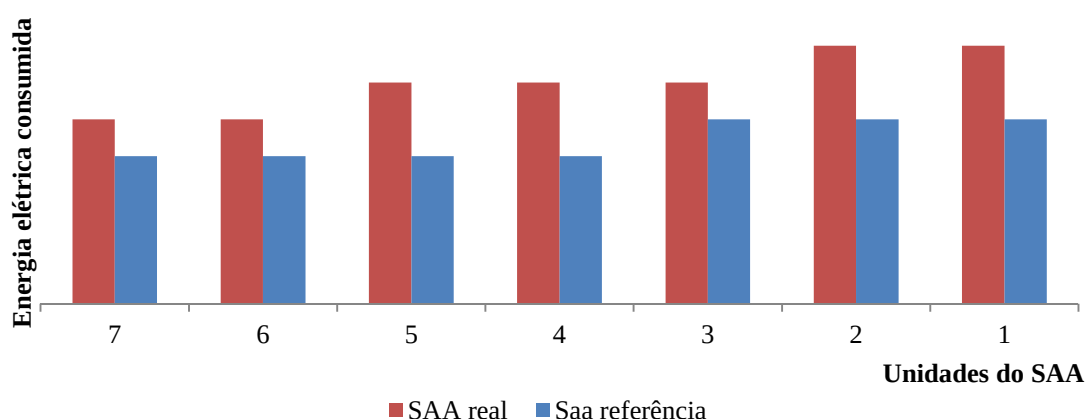
Fonte: autor.

Em se tratando das formulações para determinação da energia elétrica consumida e perdida, foi necessário, inicialmente, considerar toda quantia referente às perdas de água, ou seja, a parte da energia elétrica perdida pertinente ao volume de perdas de água. Todavia, a metodologia previu que o volume de água que não foi perdido também possui uma parcela de energia elétrica consumida e perdida, que foi relacionada ao excesso de consumo nas unidades de SAA. Nesse sentido, foram considerados os seguintes consumos de energia elétrica em cada unidade, tanto para o SAA real quanto para o SAA referência:

- a) Energia elétrica consumida pelo volume de água efetivo;
- b) Energia elétrica consumida pelos volumes de processo;
- c) Energia elétrica consumida e perdida: aquela que foi consumida para os volumes perdidos de água mais a que foi consumida em excesso para os volumes não perdidos de água.

Vale ressaltar que, diferentemente do decréscimo do volume de água ao longo das unidades do SAA, a metodologia foi baseada no consumo acumulado de energia elétrica, desde a primeira unidade analisada até a rede de distribuição, conforme proposto em Pereira e Condurú (2014) para análise da energia agregada nos volumes de água do SAA. Assim, os valores de consumos energia elétrica (kWh) e referidas despesas (\$) observados nas unidades anteriores foram progressivamente acumulados no SAA real e no SAA referência, conforme representado na Figura 57.

Figura 57: consumo acumulativo de energia elétrica no SAA.



Fonte: autor.

Em relação ao desempenho, foi necessário identificar qual a melhor forma de representar o distanciamento entre o SAA real e o SAA referência, e, portanto, foi necessária uma formulação específica para isso. Nesse caso, a metodologia desenvolvida apresentou valores que classificam o desempenho a cada unidade do SAA, a cada etapa do SAA (para produção de água bruta, para o processamento e para distribuição) e também o desempenho na forma global, ou seja, para o SAA como um todo.

Considerando que o desempenho avaliado trata do distanciamento entre o SAA nas condições reais e o SAA nas condições de referência, conseguiu-se, inclusive, a comparação entre distintos SAAs, pois aquele que possuir o maior distanciamento entre suas condições reais e suas condições de referência será aquele com pior desempenho.

3.1.3 Fase 1.3: Desenvolvimento da metodologia em Ambiente Computacional

Apesar do software *Epanet* 2.0 ser livre e de código aberto, as dificuldades de simulação simultânea de vários SAA no seu ambiente, bem como a necessidade da implantação de conjunto de ferramentas para cálculo e análise de volumes de água e consumo de energia elétrica, fizeram com que fosse mais interessante inserir a metodologia desenvolvida, em todas as suas etapas, em um software específico.

O desenvolvimento do programa representou, então, uma solução para o uso facilitado da metodologia proposta, tendo em vista que a mesma condensa todos os dados pertinentes para a avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, promovendo, dessa forma, a validação da metodologia, bem como a futura utilização por parte do meio técnico-científico.

Considerando que, não houve grande preocupação com documentações de softwares, tais como, relatório de requisitos (o foco principal foi o desenvolvimento da ferramenta computacional), foi utilizada a metodologia ágil para o desenvolvimento do software. Nos últimos anos, os métodos de desenvolvimento ágil de software tornaram-se amplamente conhecidos e têm sido adotados com sucesso por centenas de organizações em todo o mundo (GOLDMAN et al., 2004).

Tais metodologias se colocam como meio termo entre a ausência de processo e o processo exaustivo, exigindo pouca documentação, às vezes até colocando o código fonte como documentação. Elas diferem das metodologias pesadas em dois aspectos básicos, no caso, são adaptativas ao invés de preditivas e são orientadas às pessoas e não orientadas aos processos (BONATO, 2002).

3.2 ETAPA 2: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTO POR MEIO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDA EM SAA DE ESCALA REAL

A metodologia desenvolvida foi aplicada para sua validação em SAA em escala real. Para isso, foram realizadas três atividades que forneceram todos os dados necessários de volumes de água e consumos de energia elétrica, no caso: a) Monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas para determinação de volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA real, para análise de ações para melhoria do desempenho, b) Simulação com *Epanet 2.0*, para determinação de volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA referência e c) Utilização da metodologia implementada em software para avaliação do desempenho hidroenergético de SAA

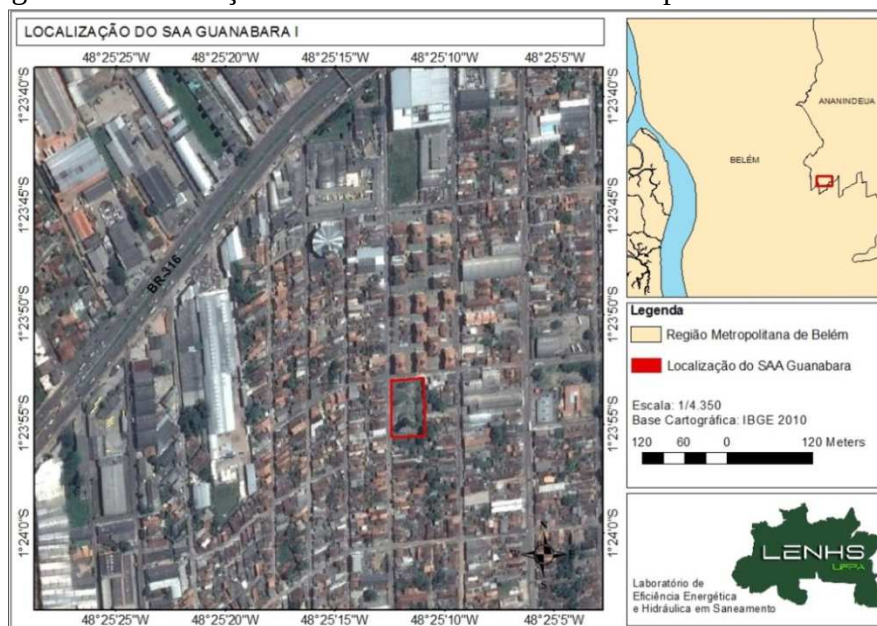
3.2.1 Área de estudo: SAA Guanabara

O setor de distribuição de água Guanabara, observado na Figura 58, está localizado na Rua Jardim Esmeralda, nº 489, município de Ananindeua, Região Metropolitana de Belém (RMB), estado do Pará, sendo seu acesso realizado pela Rodovia BR 316, conforme Figura 59:

Figura 58: vista da entrada do setor Guanabara.



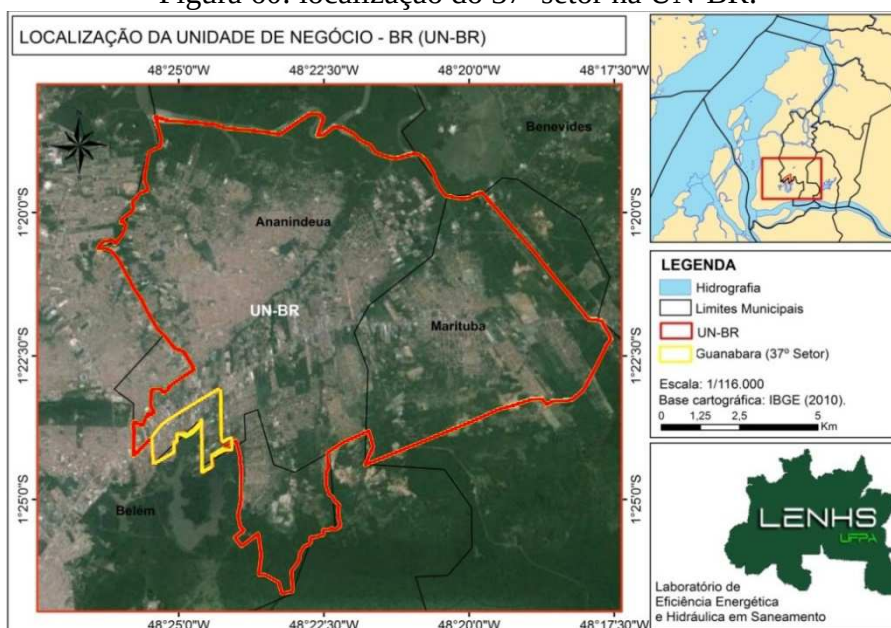
Figura 59: localização do setor Guanabara no município de Ananindeua.



Fonte: autor.

O setor Guanabara corresponde ao 37º setor do Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água Potável da RMB e tem gerenciamento operacional e comercial da Unidade de Negócios BR 316 (UN-BR) da Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA), conforme Figura 60.

Figura 60: localização do 37º setor na UN-BR.



Fonte: autor.

Inicialmente, o Setor Guanabara foi operado com captação de água bruta subterrânea por meio de dois poços profundos para atender a demanda por água potável da comunidade que se instalava no lado direito da Rodovia BR 316. Contudo, a capacidade de produção de água bruta não conseguiu atender a expansão urbana na área e, assim, houve a necessidade de integração do setor ao sistema de água superficial Bolonha/Zona de Expansão, conforme pode ser observado na Figura 61:

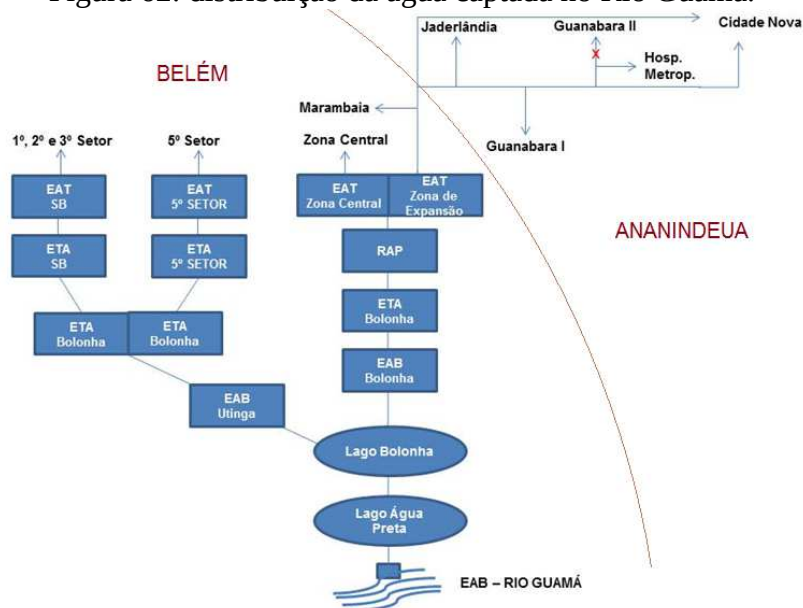
Figura 61: adutoras do Sistema Bolonha/ZE.



Fonte: autor.

A estação elevatória de água tratada Bolonha/Zona de Expansão (EAT Bolonha/ZE) integra o sistema de produção e tratamento de água superficial Guamá - Bolonha, localizado no Parque Ambiental do Utinga, município de Belém, que abastece o referido município e também Ananindeua, conforme Figura 62:

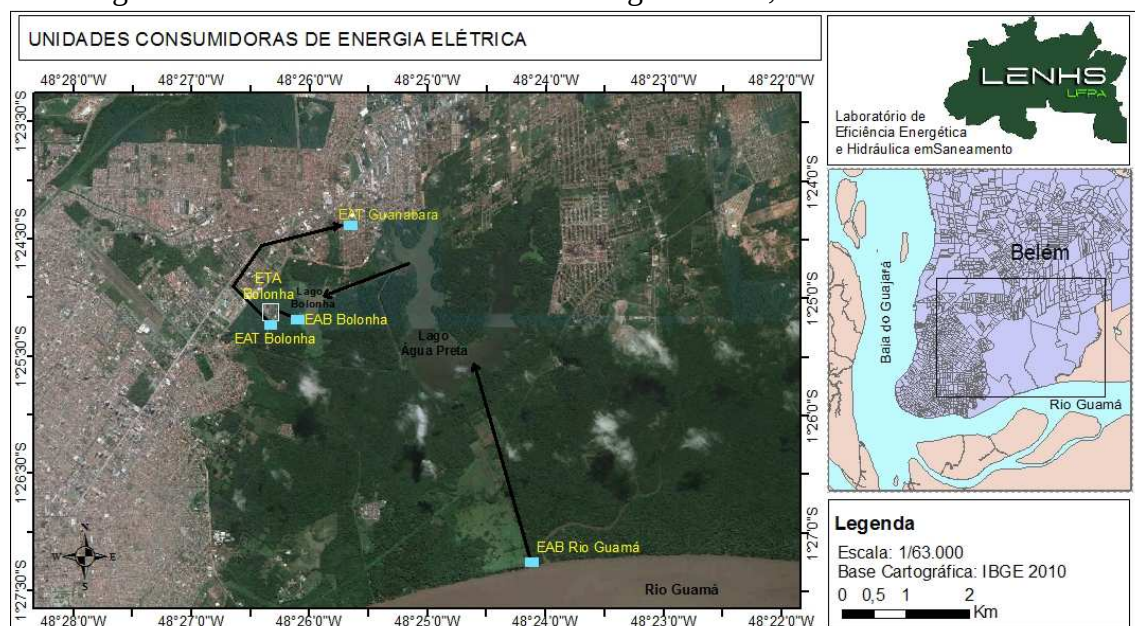
Figura 62: distribuição da água captada no Rio Guamá.



Fonte: autor.

Na Figura 63 é destacada a sequência de unidades consumidoras de energia elétrica, desde a captação de água bruta no rio Guamá até o setor Guanabara.

Figura 63: unidades consumidoras de energia elétrica, até o setor Guanabara.



Fonte: autor.

3.2.2 Fase 2.1: Monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas do SAA real

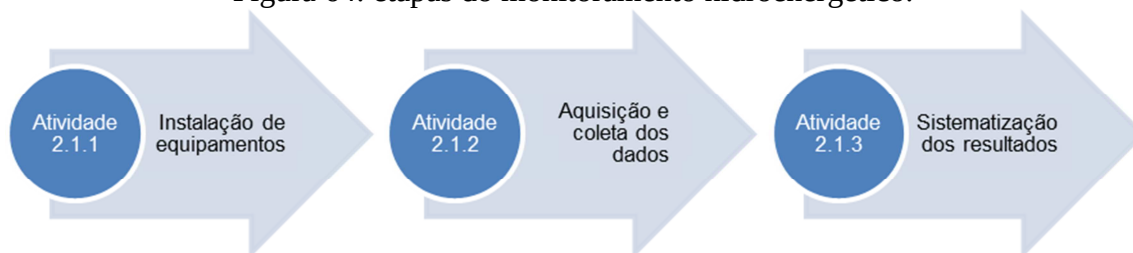
Considerando que o acesso autorizado pela COSANPA (por curto período para a realização da atividade em todas as unidades do SAA Guanabara, desde a captação no rio Guamá) e a quantidade insuficiente de equipamentos disponíveis para medição²⁵ frente a grande quantidade de unidades que compõe o SAA a ser avaliado, foi imprescindível a realização dessa atividade apenas no setor Guanabara, sendo que para as demais unidades os valores de volumes de água e de consumo de energia elétrica foram fornecidos pela COSANPA.

Assim, previamente foi realizado monitoramento teste no setor Guanabara, para analisar as condições de instalação e de segurança. Desse modo, o monitoramento propriamente dito das grandezas hidráulicas e das elétricas foi desenvolvido com

²⁵ No caso, seriam necessários mais nove medidores de vazão e mais nove analisadores de qualidade de energia a mais dos que os disponíveis e utilizados na pesquisa, além da insuficiência de medidores de nível e de pressão.

segurança. As atividades de instalação de equipamentos e aquisição de dados, e de coleta e sistematização de dados, conforme Figura 64:

Figura 64: etapas do monitoramento hidroenergético.



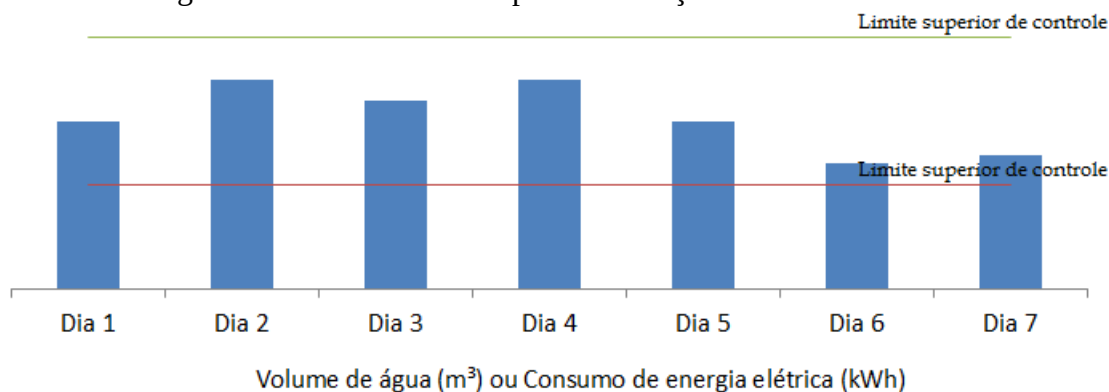
Fonte: autor.

Cada ponto de monitoramento teve seu relatório específico com dados da hora da aquisição e respectiva medição, bem como descritivo estatístico das medidas de posição e dispersão, no caso: média aritmética simples, mediana, média móvel, desvio padrão amplitude, amplitude móvel, amplitude móvel média.

A partir de todas as estatísticas calculadas, foram elaborados gráficos de controle, os quais são representações gráficas de dados estatísticos ao longo do tempo, de modo a apresentar sua variação temporal comparando-os com limites de controle (SILVA, 2011).

Para cada ponto de monitoramento de vazão de água e de potência elétrica demandada foi elaborado gráfico com dados diários de volume de água e de consumo de energia elétrica de controle explicitando os valores dos limites médios, limites superiores e limites inferiores de controle para cada variável monitorada, conforme Figura 65. Dessa forma, as cartas de controle foram analisadas para identificação de problemas de instabilidade dos valores obtidos.

Figura 65: carta de controle para verificação de instabilidades.



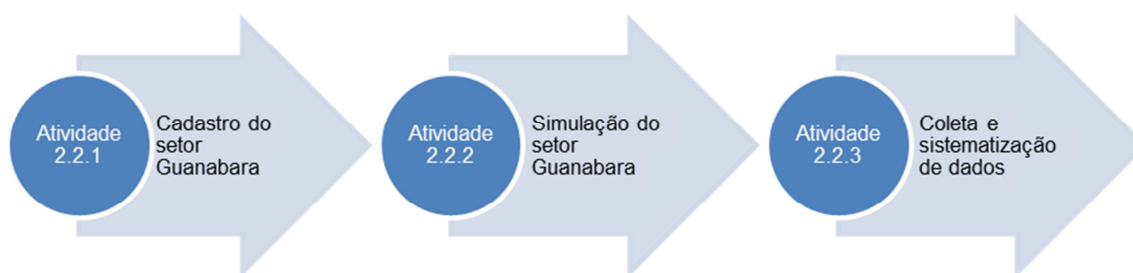
Fonte: autor.

3.2.3 Fase 2.2: Simulação da operação do SAA referência no Epanet 2.0

A limitação do monitoramento simultâneo de todas suas unidades foi levada em consideração para a simulação da operação de referência do SAA Guanabara. Sendo assim, a simulação ocorreu apenas no setor Guanabara (subadutora de água tratada, RAP, EAT, REL e rede de distribuição), sendo que para as demais unidades os valores utilizados foram os mesmos fornecidos pela COSANPA para a fase anterior da pesquisa.

Dessa forma, a simulação da operação no *Epanet 2.0* para determinação de volumes de água e consumos de energia elétrica do SAA referência ocorreu de acordo com a Figura 66:

Figura 66: atividades para simulação do SAA no Epanet 2.0.



Fonte: autor.

- Atividade 2.2.1 – Cadastro do setor Guanabara no *Epanet 2.0*:

As unidades do SAA Guanabara desenhadas no *Epanet 2.0* foram a subadutora de água tratada, o RAP, a EAT (no caso as linhas de sucção, os CMB, o barrilete e as linhas de recalque), o REL e a rede de distribuição.

O desenho do SAA foi iniciado pela rede de distribuição, pois é a unidade com o maior detalhamento por conta da quantidade de objetos a serem inseridos (trechos e nós), e foi continuada até a última unidade, no caso a subadutora de água tratada.

- Atividade 2.2.2 – Simulação do setor Guanabara no Epanet 2.0:

Foram identificadas possíveis necessidades/possibilidades de mudanças na infraestrutura hidráulica, no que diz respeito à rugosidade das tubulações dos trechos para que a simulação referencie as características de perda de carga do setor Guanabara na sua condição de recém-implantado;

Foi verificada a possibilidade da diminuição da demanda de água, por meio da redução das perdas físicas de água no setor Guanabara, sendo nesse caso estimado qual seria a demanda para o setor, considerando a atual população consumidora, de acordo com Equação (12).

$$V_{demanda} = Pop. \times V_{percapita} \quad (12)$$

Onde:

$V_{demanda}$: volume diário demandado no setor (m^3);

$Pop.$: número de habitantes atendidos ($hab.$);

$V_{percapita}$: volume diário de água demandado *per capita* ($m^3/hab.$).

No entanto, é difícil a determinação da população atendida exata dessa forma foram verificadas formas de estimá-la, como, por exemplo, pelo produto da densidade demográfica e a área atendida ou pelo produto entre número de domicílios e o número de habitantes por domicílios, sendo considerada a primeira alternativa, conforme Equação (13):

$$Pop. = N.Lig. \times N.H.L. \quad (13)$$

Onde:

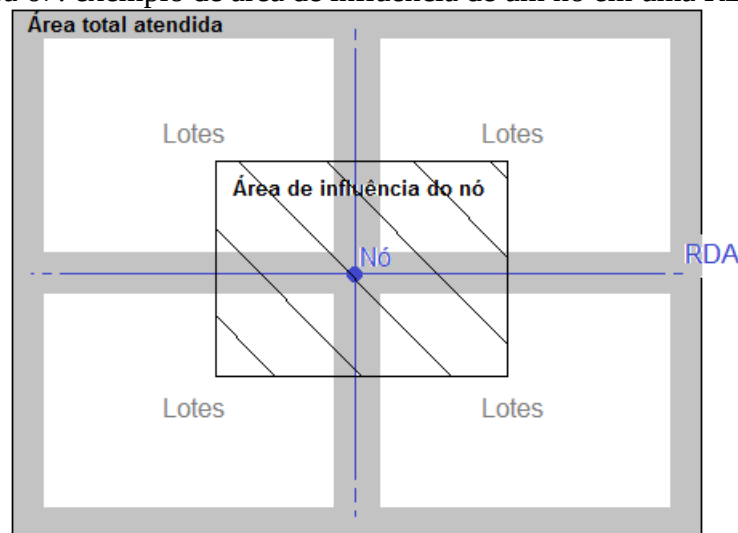
$Pop.$: número de habitantes atendidos ($hab.$);

$N.Lig.$: número de habitantes por ligação ($hab./lig.$);

$N.H.L.$: número de habitates ligações de água ($lig.$).

Assim, considerando o volume estimado demandado de água para a simulação da operação do setor Guanabara no *Epanet 2.0*, foi necessário distribuí-la por cada nó existente na RDA, de acordo com a área de influência de cada nó, conforme Figura 67 e Equação (14):

Figura 67: exemplo de área de influência de um nó em uma RDA.



$$V_{nó} = V_{demandado} \times \frac{A_{nó}}{A_{total}} \quad (14)$$

Onde:

$Q_{nó}$: vazão demandada no nó (l/s);

$V_{demandado}$: volume diário demandado no setor (m^3);

A_{total} : área total do setor atendido (m^2);

$A_{nó}$: área de influência do nó (m^2)

Após a determinação dos valores de vazões demandadas em cada nó da RDA do setor Guanabara, os mesmos foram cadastrados no *Epanet 2.0* e em seguida foi criado perfil de consumo (curva de demanda de água do reservatório de distribuição) para simular as variações horárias das demandas de água. O perfil de consumo nada mais é que conjunto de fatores multiplicativos (que representam os coeficientes horários de demanda de água).

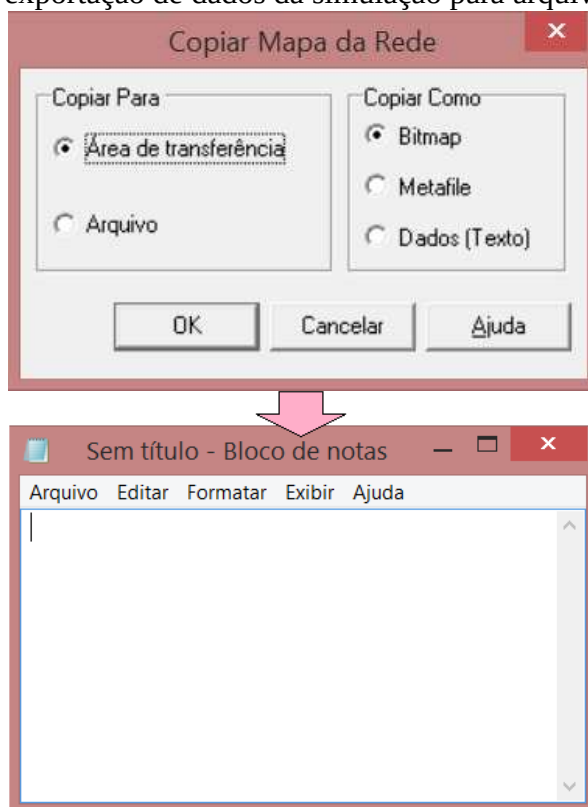
Em seguida, foi programada rotina operacional para o SAA Guanabara e, finalmente, realizada a simulação do período de sete dias de abastecimento (mesma

duração do monitoramento). Ao final, foi realizada verificação dos valores de pressão estática e dinâmica em toda a RDA do setor Guanabara, tendo em vista as orientações normativas para essa questão.

- Atividade 2.2.3 – Coleta e sistematização dos dados da simulação:

Realizada a simulação da operação da EAT do setor Guanabara, foi necessária exportação dos dados da vazão de entrada em cada unidade para arquivo de texto (os quais foram expressos em l/s no intervalo de um minuto no relatório), conforme Figura 68, e depois ser transferido para posterior utilização.

Figura 68: exportação de dados da simulação para arquivos de texto.



Em relação ao consumo de energia elétrica, o *Epanet* 2.0 apresenta limitação na apresentação dos seus resultados no âmbito hidroenergético, uma vez que os mesmos são expressos apenas na forma dos indicadores médios de consumo de energético (kWh/m^3), além da percentagem de utilização de cada CMB, da potência demandada máxima e média, bem como o custo em \$/dia, para todo o período de simulação:

Portanto, diferentemente dos dados de vazão que podem facilmente serem transformados em volume, para a obtenção diretamente os dados de potência demandada a partir da simulação do *Epanet* 2.0 seria necessário introduzir uma ferramenta específica no software. Como não foi o objetivo da pesquisa, a potência demandada a cada minuto referente à simulação foi obtida a partir da curva característica das bombas cadastradas “ $Q \times H_{\text{man}}$ ” (vazão e altura manométrica) e “ $Q \times \eta$ ” (vazão e rendimento do CMB). Esses valores, por sua vez, foram também exportados para o módulo de sistematização, desenvolvido para a etapa anterior (monitoramento hidroenergético do setor Guanabara).

3.2.4 Fase 2.3: Avaliação do desempenho hidroenergético do SAA

Finalmente, a partir do conjunto de dados sistematizados de volumes de água e de consumo de energia elétrica, nas unidades do SAA Guanabara, os mesmos foram utilizados pela ferramenta computacional desenvolvida, a qual realizou os cálculos de perdas de água e da energia elétrica consumida e perdida e, assim, classificou os seguintes desempenhos no SAA:

a) desempenho de cada unidade do SAA: desempenho hídrico e desempenho energético das unidades EAB Guamá, lago Água Preta, lago Bolonha, EAB Bolonha, ETA Bolonha, RAP Bolonha, EAT Zona de expansão, AAT Zona de expansão, SUBAAT Guanabara, RAP Guanabara, EAT Guanabara e RDA Guanabara;

b) desempenho de cada etapa: desempenho hídrico e desempenho energético da etapa de produção, da etapa de processamento e da etapa de distribuição;

c) desempenho global do SAA: desempenho hídrico e desempenho energético do SAA com um todo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados da Tese de Doutorado, desde o desenvolvimento e suas formulações matemáticas para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, implementação da metodologia em software e aplicação do mesmo em SAA de escala real.

4.1 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA E DE ENERGIA ELÉTRICA EM SAA

4.1.1 Estabelecimento de formulações para cálculo das perdas hidroenergéticas no SAA

A primeira etapa, no caso o cadastramento, é muito importante, pois é a representação de todo o sequenciamento de volumes de água e de consumo de energia elétrica que a metodologia irá entender para a realização dos cálculos necessários. A metodologia considera que essa sequência deve ser linear até a unidade final que é necessariamente o setor de distribuição, ou seja, o SAA não possuirá nenhum tipo de bifurcação, exceto aquelas identificadas como importação ou exportação.

Considerando o exposto sobre a metodologia desenvolvida, bem como sobre as definições de perdas hidroenergéticas já apresentadas foi elaborada a Figura 69 com as referências para orientar o estabelecimento das formulações.

Figura 69: subdivisão das perdas hidroenergéticas em SAA em perdas de água e perdas de energia elétrica.

Água			Energia elétrica		
Parcela	Categoria	Causas	Causas	Categoria	Parcela
Perdas	Vazamentos e Extravasamentos	Vazamentos visíveis e não visíveis	Consumida por perdas de água	Consumida em excesso	Perdas
		Operação inadequada de níveis de reservatórios			
		Uso de água em excesso nos processos			
Efetivo	Processos	–	Operação inadequada de CMB	Consumida em excesso	Efetivo
			–	Consumida corretamente	
	Consumo		Operação inadequada de CMB	Consumida em excesso	Perdas

Dessa forma, a definição de formulações para avaliação das perdas hidroenergéticas deve considerar as parcelas: *volume de água efetivo para consumo* (V_{ec}), *volume de água efetivo para processo* (V_{ep}) e *volume de água perdido* (V_p), sendo que o somatório desses valores deverá ser igual ao *volume total de água* no SAA integrado, conforme Equação (15). Essa relação é válida, então, para o cenário do SAA real, como observado na Equação (16), e para o cenário do SAA referência, identificados, respectivamente pelos índices “d” e “s”, conforme Equação (17).

$$V_T = V_{ec} + V_p + V_{ep} \quad (15)$$

Onde:

- V_T : volume total de água ($m^3/mês$);
- V_{ec} : volume de água efetivo para consumo ($m^3/mês$);
- V_{ep} : volume de água efetivo para processo ($m^3/mês$);
- V_p : volume de água perdido ($m^3/mês$);

$$V_{Td} = V_{ec} + V_{pd} + V_{epd} \quad (16)$$

Onde:

- V_{Td} : volume diagnosticado total de água ($m^3/mês$);
- V_{ecd} : volume de água efetivo para consumo ($m^3/mês$);
- V_{epd} : volume de água efetivo para processo ($m^3/mês$);
- V_{pd} : volume simulado de água perdido ($m^3/mês$);

$$V_{Ts} = V_{ec} + V_{ps} + V_{eps} \quad (17)$$

Onde:

- V_{Ts} : volume simulado total de água ($m^3/mês$);
- V_{ecs} : volume de água efetivo para consumo ($m^3/mês$);
- V_{eps} : volume de água efetivo para processo ($m^3/mês$);
- V_{ps} : volume simulado de água perdido ($m^3/mês$);

Vale ressaltar que no caso das unidades do SAA integrado, as mesmas devem ser identificadas com índices i no sentido do fluxo da água, sendo $i=1$ na primeira unidade e $i=i_{max}$ na rede de distribuição e, além disso, são inseridos os volumes importados e exportados, conforme observado na Equação (18) e na Equação (19).

$$V_{Td,i} = V_{ecd,i} + V_{pd,i} + V_{epd,i} \quad (18)$$

Onde:

$V_{Td,i}$: volume diagnosticado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ecd,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para consumo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{eps,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{pd,i}$: volume diagnosticado perdido na unidade i ($m^3/mês$)

$$V_{Ts,i} = V_{ecs,i} + V_{ps,i} + V_{eps,i} \quad (19)$$

Onde:

$V_{Ts,i}$: volume simulado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ecs,i}$: volume simulado de água efetivo para consumo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{eps,i}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ps,i}$: volume simulado perdido na unidade i ($m^3/mês$)

Para obtenção da linha hidroenergética de SAA no SAA real, primeiramente é necessário identificar o *coeficiente diagnosticado de proporcionalidade* ($\alpha_{d,i}$) na unidade i (adimensional) utilizando o valor do *Volume diagnosticado total de água* ($V_{Td,i}$) na unidade i ($m^3/mês$), do *volume diagnosticado de água efetivo para processo* ($V_{eps,i}$) na unidade i ($m^3/mês$), e o *Volume diagnosticado de água exportado* ($V_{expd,i}$)

da unidade i ($m^3/mês$) e *Volume diagnosticado de água importado* ($V_{imp\,d,i}$) para a unidade i ($m^3/mês$), conforme observado Equação (20). Ainda sobre o *coeficiente de proporcionalidade*, a Equação (21) trata do SAA referência.

$$\alpha_{d,i} = \frac{V_{T\,d,i} - V_{ep\,d,i} + V_{exp\,d,i} - V_{imp\,d,i}}{V_{T\,d,i} - V_{ep\,d,i} - V_{imp\,d,i}} \quad (20)$$

Onde:

$\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado de proporcionalidade (%)

$V_{T\,d,i}$: volume diagnosticado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ep\,s,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{exp\,d,i}$: volume diagnosticado de água exportado pela unidade i ($m^3/mês$)

$V_{imp\,d,i}$: volume diagnosticado de água importado para unidade i ($m^3/mês$)

$$\alpha_{s,i} = \frac{V_{T\,s,i} - V_{ep\,s,i} + V_{exp\,s,i} - V_{imp\,s,i}}{V_{T\,s,i} - V_{ep\,s,i} - V_{imp\,s,i}} \quad (21)$$

Onde:

$\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade (%)

$V_{T\,s,i}$: volume simulado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ep\,s,i}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{exp\,s,i}$: volume simulado de água exportado pela unidade i ($m^3/mês$)

$V_{imp\,s,i}$: volume simulado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$)

A utilização dos valores de *Volume diagnosticado de água exportado* ($V_{exp\,d,i}$) se dá pelo fato de que para identificar a proporcionalidade entre o SAA e o SAA integrado é necessário retirar todo o volume exportado. Além disso, *Volume*

diagnosticado de água importado ($V_{imp_{d,i}}$) surge na formulação para identificar que em determinadas unidades são necessários volumes extras além dos verificados à montante na linha hidroenergética, sendo que os mesmos podem se tornar tanto volumes efetivos para consumo, como para processos e até mesmo perdas ao longo da sequência da linha hidroenergética.

Rearranjando a Equação (18) e a Equação (19), para evidenciar para a unidade i a subtração do *Volume diagnosticado de água exportado* ($V_{exp_{d,i}}$) do *volume diagnosticado total de água* ($V_{Td,i}$), é obtida a soma entre o *volume diagnosticado de água efetivo para consumo* ($V_{ecd,i}$) e *volume diagnosticado de água perdido* ($V_{pd,i}$), conforme Equação (22) e Equação (23), respectivamente, para o SAA diagnosticado e para o SAA referência.

$$V_{Td,i} - V_{ep_{d,i}} = V_{ecd,i} + V_{pd,i} \quad (22)$$

Onde:

$V_{Td,i}$: volume diagnosticado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ecd,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para consumo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ep_{d,i}}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{pd,i}$: volume diagnosticado perdido na unidade i ($m^3/mês$)

$$V_{Ts,i} - V_{ep_{s,i}} = V_{ecs,i} - V_{ps,i} \quad (23)$$

Onde:

$V_{Ts,i}$: volume simulado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ecs,i}$: volume simulado de água efetivo para consumo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ep_{s,i}}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ps,i}$: volume simulado perdido na unidade i ($m^3/mês$).

Substituindo Equação (22) e Equação (23), respectivamente, na Equação (20) e na Equação (21), tem-se a Equação (24) para o SAA diagnosticado e a Equação (25) para o SAA referência.

$$\alpha_{d,i} = \frac{V_{Td,i} - V_{epd,i} + V_{expd,i} - V_{impd,i}}{V_{ecd,i} - V_{pd,i} - V_{impd,i}} \quad (24)$$

Onde:

$\alpha_{d,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade (%)

$V_{Td,i}$: volume diagnosticado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ecd,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para consumo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{epd,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{pd,i}$: volume diagnosticado perdido na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{expd,i}$: volume diagnosticado de água exportado pela unidade i ($m^3/mês$);

$V_{impd,i}$: volume diagnosticado de água importado para unidade i ($m^3/mês$).

$$\alpha_{s,i} = \frac{V_{Ts,i} - V_{eps,i} + V_{exps,i} - V_{imps,i}}{V_{ecs,i} - V_{ps,i} - V_{imps,i}} \quad (25)$$

Onde:

$\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade (%)

$V_{Ts,i}$: volume simulado total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ecs,i}$: volume simulado de água efetivo para consumo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{eps,i}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{ps,i}$: volume simulado perdido na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{exps,i}$: volume simulado de água exportado pela unidade i ($m^3/mês$);

$V_{imps,i}$: volume simulado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$).

Rearranjando a Equação (24) tem-se as Equação (26), que representa a equação geral *volume diagnosticado base total de água* ($Vb_{Td,i}$) em uma unidade do SAA diagnosticado. É importante ressaltar que ao aplicar o *coeficiente diagnosticado de proporcionalidade* ($\alpha_{d,i}$) sobre o *volume diagnosticado de água efetivo para processo* ($V_{epd,i}$) teria-se o *volume diagnosticado base de água efetivo para processo* ($Vb_{epd,i}$), cujos valores das unidades à montante ao serem somados resultam no próprio $V_{epd,i}$ e, dessa forma, optou-se por apresentar o valor na forma de somatório de ($\alpha_{d,i} \times V_{epd,i}$).

$$\begin{aligned}\alpha_{d,i} \times (V_{ecd,i} + V_{pd,i} + V_{impd,i}) &= V_{Td,i} - V_{epd,i} + V_{expd,i} - V_{impd,i} \\ V_{Td,i} - V_{epd,i} + V_{expd,i} - V_{impd,i} &= \alpha_{d,i} \times V_{ecd,i} + \alpha_{d,i} \times V_{pd,i} + \alpha_{d,i} \times V_{impd,i} \\ V_{Td,i} + V_{expd,i} - V_{impd,i} &= \alpha_{d,i} \times V_{ecd,i} + \alpha_{d,i} \times V_{pd,i} + V_{epd,i} + \alpha_{d,i} \times V_{impd,i} \\ V_{Td,i} + V_{expd,i} - V_{impd,i} &= Vb_{ecd,i} + Vb_{pd,i} + V_{epd,i} + \alpha_{d,i} \times V_{impd,i} \\ Vb_{Td,i} &= Vb_{ecd,i} + Vb_{pd,i} + V_{epd,i} + (\alpha_{d,i} \times Vb_{impd,i}) \\ Vb_{Td,i} &= Vb_{ecd,i} + Vb_{pd,i} + \sum_{i=i_{\max}}^{i=1} (\alpha_{d,i} \times V_{epd,i}) + (\alpha_{d,i} \times Vb_{impd,i})\end{aligned}\quad (26)$$

Onde:

$Vb_{Td,i}$: volume diagnosticado base total diagnosticado de água na unidade i ($m^3/mês$);

$Vb_{ecd,i}$: volume diagnosticado base efetivo consumido de água na unidade i ($m^3/mês$);

$Vb_{pd,i}$: volume diagnosticado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);

$\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado de proporcionalidade (%);

$V_{epd,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$V_{impd,i}$: volume diagnosticado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$);

i : unidade do SAA.

Rearranjando a Equação (25) tem-se a Equação (27), que representa a equação geral do *volume simulado base total de água* ($Vb_{T,s,i}$) em uma unidade de SAA referência. Vale mencionar que da mesma forma que ocorreu com a equação geral do *volume diagnosticado base total de água*, optou-se por apresentar o valor na forma de somatório de $(\alpha_{s,i} \times V_{ep,s,i})$.

$$\begin{aligned}\alpha_{s,i} \times (V_{ec,s,i} + V_{p,s,i} + V_{imp,s,i}) &= V_{T,s,i} - V_{ep,s,i} + V_{exp,s,i} - V_{imp,s,i} \\ V_{T,s,i} - V_{ep,s,i} + V_{exp,s,i} - V_{imp,s,i} &= \alpha_{s,i} \times V_{ec,s,i} + \alpha_{s,i} \times V_{p,s,i} + \alpha_{s,i} \times V_{imp,s,i} \\ V_{T,s,i} + V_{exp,s,i} - V_{imp,s,i} &= \alpha_{s,i} \times V_{ec,s,i} + \alpha_{s,i} \times V_{p,s,i} + V_{ep,s,i} + \alpha_{s,i} \times V_{imp,s,i} \\ V_{T,s,i} + V_{exp,s,i} - V_{imp,s,i} &= Vb_{ec,s,i} + Vb_{p,s,i} + V_{ep,s,i} + \alpha_{s,i} \times V_{imp,s,i} \\ Vb_{T,s,i} &= Vb_{ec,s,i} + Vb_{p,s,i} + V_{ep,s,i} + (\alpha_{s,i} \times Vb_{imp,s,i}) \\ Vb_{T,s,i} &= Vb_{ec,s,i} + Vb_{p,s,i} + \sum_{i=i_{\max}}^{i=1} (\alpha_{s,i} \times V_{ep,s,i}) + (\alpha_{s,i} \times Vb_{imp,s,i})\end{aligned}\quad (27)$$

Onde:

- $Vb_{T,s,i}$: volume simulado base total diagnosticado de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{ec,s,i}$: volume simulado base efetivo consumido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{p,s,i}$: volume simulado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade (%);
- $V_{ep,s,i}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);
- $V_{imp,s,i}$: volume simulado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$);
- i : unidade do SAA.

A abordagem adotada para volumes de água foi do tipo *top-down* e, portanto, é iniciada a partir da rede de distribuição. Para $i=i_{max}$, rearranja-se as Equações (26) e (27), têm-se as Esquações (28) e (29), respectivamente, para o *volume diagnosticado base perdido de água* ($Vb_{p_{d,i}}$) das unidades do SAA diagnosticado e para o *volume simulado base perdido de água* ($Vb_{p_{s,i}}$) das SAA referência.

$$Vb_{p_{d,i}} = Vb_{T_{d,i}} - \left\{ Vb_{ec_{d,i}} + \left[\sum_{i=i_{max}}^{i=1} \left(\alpha_{d,i} \times V_{ep_{d,i}} \right) \right] + \left(\alpha_{d,i} \times V_{imp_{d,i}} \right) \right\} \quad (28)$$

Onde:

- $Vb_{p_{d,i}}$: volume diagnosticado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{T_{d,i}}$: volume diagnosticado base total diagnosticado de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{ec_{d,i}}$: volume diagnosticado base efetivo consumido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado de proporcionalidade (%);
- $V_{ep_{d,i}}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);
- $V_{imp_{d,i}}$: volume diagnosticado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$);
- i : unidade do SAA.

$$Vb_{p_{s,i}} = Vb_{T_{s,i}} - \left\{ Vb_{ec_{s,i}} + \left[\sum_{i=i_{max}}^{i=1} \left(\alpha_{s,i} \times V_{ep_{s,i}} \right) \right] + \left(\alpha_{s,i} \times V_{imp_{s,i}} \right) \right\} \quad (29)$$

Onde:

- $Vb_{T_{s,i}}$: volume simulado base total diagnosticado de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{ec_{s,i}}$: volume simulado base efetivo consumido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{p_{s,i}}$: volume simulado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade (%);
- $V_{ep_{s,i}}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);
- $V_{imp_{s,i}}$: volume simulado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$);
- i : unidade do SAA.

Para $i \neq i_{\max}$, a análise deve ser realizada até chegar em $i=1$, no caso, foi necessário considerar $Vec_{d,i} = VT_{d,(i+1)}$ para a determinação do *volume diagnosticado base de água perdido* para unidades do SAA diagnosticado e $Vec_{s,i} = VT_{s,(i+1)}$ para a determinação do *volume simulado base de água perdido* ($Vb_{p,s,i}$). Nesse sentido, tem-se para o SAA real e para o SAA referência, respectivamente, a Equação (30) e a Equação (31).

$$Vb_{p,d,i} = Vb_{T,d,i} - \left\{ Vb_{T,d,(i+1)} + \left[\sum_{i=i_{\max}}^{i=1} \left(\alpha_{d,i} \times V_{ep,d,i} \right) + \left(\alpha_{d,i} \times V_{imp,d,i} \right) \right] \right\} \quad (30)$$

Onde:

- $Vb_{p,d,i}$: volume diagnosticado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{T,d,i}$: volume diagnosticado base total de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{T,d,(i+1)}$: volume diagnosticado base total de água na unidade $i+1$ ($m^3/mês$);
- $\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado de proporcionalidade (%);
- $V_{ep,d,i}$: volume diagnosticado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);
- $V_{imp,d,i}$: volume diagnosticado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$);

$$Vb_{p,s,i} = Vb_{T,s,i} - \left\{ Vb_{T,s,(i+1)} + \left[\sum_{i=i_{\max}}^{i=1} \left(\alpha_{s,i} \times V_{ep,s,i} \right) + \left(\alpha_{s,i} \times V_{imp,s,i} \right) \right] \right\} \quad (31)$$

Onde:

- $Vb_{p,s,i}$: volume simulado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{T,s,i}$: volume simulado base total de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{T,s,(i+1)}$: volume simulado base total de água na unidade $i+1$ ($m^3/mês$);
- $\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade (%);
- $V_{ep,s,i}$: volume simulado de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);
- $V_{imp,s,i}$: volume simulado de água importado para a unidade i ($m^3/mês$);

Em se tratando das formulações para determinação das perdas de energia elétrica, as mesmas obdeceram, inicialmente, à mesma ideia apresentada para volumes de água. Nesse sentido, a *energia elétrica total consumida* (E_T) é igual à soma entre a *energia elétrica efetiva consumida* (E_{ec}), a *energia elétrica perdida* (E_p) e a *energia elétrica efetiva consumida para processo* (E_{ep}), conforme observado na Equação (32). Em se tratando do SAA real e do SAA referência, as formulações são apresentadas, respectivamente, segundo os índices “d” na Equação (33) e “s” na Equação (34).

$$E_T = E_{ec} + E_p + E_{ep} \quad (32)$$

Onde:

E_T : energia elétrica total consumida (kWh/mês);

E_{ec} : energia elétrica efetiva consumida (kWh/mês);

E_p : energia elétrica perdida (kWh/mês);

E_{ep} : energia elétrica efetiva consumida para processo (kWh/mês).

$$E_{Td} = E_{ecd} + E_{pd} + E_{epd} \quad (33)$$

Onde:

E_{Td} : energia elétrica diagnosticada total consumida (kWh/mês);

E_{ecd} : energia elétrica diagnosticada efetiva consumida (kWh/mês);

E_{pd} : energia elétrica diagnosticada perdida (kWh/mês);

E_{epd} : energia elétrica diagnosticada efetiva consumida para processo (kWh/mês).

$$E_{Ts} = E_{ecs} + E_{ps} + E_{eps} \quad (34)$$

Onde:

E_{Ts} : energia elétrica simulada total consumida (kWh/mês);

E_{ecs} : energia elétrica simulada efetiva consumida (kWh/mês);

E_{ps} : energia elétrica simulada perdida (kWh/mês);

E_{eps} : energia elétrica simulada efetiva consumida para processo (kWh/mês).

Foi necessario considerar que o volume de água que não foi perdido também possui parcela de perdas de energia elétrica consumida (relacionada ao excesso de consumo na operação). Nesse sentido, as perdas de energia elétrica se subdividem em *energia elétrica perdida por volumes e perdida por excesso* e, além disso, o *coeficiente de proporcionalidade α* também foi utilizado para obtenção dos valores base, conforme Equações (35) e (36), referentes a unidade i .

$$Eb_{Td,i} = (\alpha_{d,i} \times E_{ecd,i}) + Eb_{pc_{d,i}} + Eb_{pv_{d,i}} + Eb_{ep_{d,i}} + Eb_{imp_{d,i}} \quad (35)$$

Onde:

$Eb_{Td,i}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida na unidade i (kWh/mês);

$\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado base de proporcionalidade (%);

$E_{ecd,i}$: energia elétrica diagnosticada base efetiva consumida (kWh/mês);

$Eb_{pc_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso (kWh/mês);

$Eb_{pv_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes (kWh/mês);

$Eb_{ep_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base efetiva consumida para processo (kWh/mês);

$Eb_{imp_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base importada (kWh/mês).

$$Eb_{Ts,i} = (\alpha_{s,i} \times E_{ecs,i}) + Eb_{pc_{s,i}} + Eb_{pv_{s,i}} + Eb_{ep_{s,i}} + Eb_{imp_{s,i}} \quad (36)$$

Onde:

$Eb_{Ts,i}$: energia elétrica simulada base total consumida (kWh/mês);

$\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado base de proporcionalidade (%);

$E_{ecs,i}$: energia elétrica simulada base efetiva consumida (kWh/mês);

$Eb_{pc_{s,i}}$: energia elétrica simulada base perdida por excesso (kWh/mês);

$Eb_{pv_{s,i}}$: energia elétrica simulada base perdida por volumes (kWh/mês);

$Eb_{ep_{s,i}}$: energia elétrica simulada base efetiva consumida para processo (kWh/mês).

$Eb_{imp_{s,i}}$: energia elétrica simulada base importada (kWh/mês)

Para cada cenário de SAA foi definido o *indicador de consumo específico* (ICE_i) de energia elétrica (indicador verificado na literatura e que relaciona o consumo de energia elétrica em kWh e os volumes de água em m^3). Foi necessário subtrair o valor de *energia elétrica diagnosticada importada* ($E_{imp_{d,i}}$) para o SAA diagnosticado, como verificado na Equação (37), e o valor da *energia elétrica simulada importada* ($E_{imp_{s,i}}$) para o SAA referência, como visto na Equação (38).

$$ICE_{d,i} = \frac{E_{T_{d,i}} - E_{imp_{d,i}}}{Vb_{T_{d,i}}} \quad (37)$$

Onde:

$ICE_{d,i}$: indicador de consumo específico diagnosticado na unidade i (kWh/m^3);

$E_{T_{d,i}}$: energia elétrica simulada total consumida na unidade i ($kWh/mês$);

$E_{imp_{d,i}}$: energia elétrica simulada importada pela unidade i ($kWh/mês$)

$Vb_{T_{d,i}}$: volume simulado base total de água na unidade i ($m^3/mês$);

$$ICE_{s,i} = \frac{E_{T_{s,i}} - E_{imp_{s,i}}}{V_{T_{s,i}}} \quad (38)$$

Onde:

$ICE_{s,i}$: indicador de consumo específico simulado na unidade i (kWh/m^3);

$E_{T_{s,i}}$: energia elétrica simulada total consumida na unidade i ($kWh/mês$);

$E_{imp_{s,i}}$: energia elétrica simulada importada pela unidade i ($kWh/mês$)

$Vb_{T_{s,i}}$: volume simulado base total de água na unidade i ($m^3/mês$);

Dessa forma, com o resultado das Equações (37) e (38) foi possível calcular o *indicador de deficiência no consumo específico de energia* ($IDCE_i$), conforme observado na Equação (39).

$$IDCE_i = ICE_{d,i} - ICE_{s,i} \quad (39)$$

Onde:

$IDCE_i$: indicador de deficiência no consumo específico na unidade i ($kWh/mês$);

$ICE_{d,i}$: indicador de consumo específico diagnosticado na unidade i ($kWh/mês$);

$ICE_{s,i}$: indicador de consumo específico simulado na unidade i ($kWh/mês$);

Multiplicado o $IDCE_i$ pelo volume de água que não foi perdido, ou seja, a soma entre o *volume diagnosticado base de água efetivo para consumo* ($Vb_{ecd,i}$) e o *volume diagnosticado base de água efetivo para processo* ($Vb_{epd,i}$), resulta na *energia elétrica diagnosticada perdida por excesso* ($Eb_{pcd,i}$) na unidade i ($kWh/mês$) do SAA diagnosticado, conforme Equação (40), sendo que para o SAA referência esse valor é nulo, conforme Equação (41).

$$Eb_{pcd,i} = \left[IDCE_i \times (Vb_{ecd,i} + Vb_{epd,i}) \right] \quad (40)$$

Onde:

$Eb_{pcd,i}$: energia elétrica diagnosticada perdida por excesso na unidade i ($kWh/mês$);

$IDCE_i$: indicador de deficiência no consumo específico na unidade i ($kWh/mês$);

$Vb_{ecd,i}$: volume diagnosticado base efetivo consumido de água na unidade i ($m^3/mês$);

$Vb_{epd,i}$: volume diagnosticado base de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);

$$Eb_{pc_{s,i}} = 0 \quad (41)$$

$Eb_{pc_{s,i}}$: energia elétrica simulada perdida por excesso na unidade i ($kWh/mês$);

Por fim, a análise para as perdas de energia elétrica se caracteriza como *bottom-up*, ou seja, ocorre no sentido $i=1$ para $i=i_{max}$, isso porque foi observado que os volumes de água a cada unidade percorrida do SAA consomem sucessivas quantidades de energia elétrica e quando perdidos resultam em prejuízo no somatório de toda energia elétrica consumida até então.

Na sequência, para calcular para o SAA real a *energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes* ($Eb_{pv_{d,i}}$) na unidade i (kWh/mês), foi necessário, primeiramente, determinar o somatório dos valores de *energia elétrica diagnosticada base total consumida* ($Eb_{T_{d,i}}$) até a mesma unidade i (kWh/mês). Depois de feito o mencionado somatório, foi multiplicado o referido valor pela relação entre o *volume diagnosticado base perdido de água* ($Vb_{p_{d,i}}$) e o *volume diagnosticado base total de água* ($Vb_{T_{d,i}}$) (ambos em $m^3/mês$), conforme observado na Equação (42). Obedecendo a sequência de passos anterior, determinou-se também a *energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes* ($Eb_{pv_{s,i}}$) na unidade i (kWh/mês) para o SAA referência por meio da Equação (43).

$$Eb_{pv_{d,i}} = \left[\left(\frac{Vb_{p_{d,i}}}{Vb_{T_{d,i}}} \right) \times \sum_{i=1}^{i=i_{max}} Eb_{T_{d,i}} \right] \quad (42)$$

$$Eb_{pv_{s,i}} = \left[\left(\frac{Vb_{p_{s,i}}}{Vb_{T_{s,i}}} \right) \times \sum_{i=1}^{i=i_{max}} Eb_{T_{s,i}} \right] \quad (43)$$

Onde:

$Eb_{pv_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes (kWh/mês);

$Vb_{p_{d,i}}$: volume simulado base perdido de água ($m^3/mês$);

$Vb_{T_{d,i}}$: volume simulado base total de água ($m^3/mês$);

$Eb_{T_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida (kWh/mês).

$Eb_{pv_{s,i}}$: energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes (kWh/mês);

$Vb_{p_{s,i}}$: volume simulado base perdido de água ($m^3/mês$);

$Vb_{T_{s,i}}$: volume simulado base total de água ($m^3/mês$);

$Eb_{T_{s,i}}$: energia elétrica simulada base total consumida (kWh/mês).

Portanto, substituindo a Equação (40) e a Equação (41) na Equação (35) foi obtida a equação geral da *energia elétrica diagnosticada base total consumida* ($Eb_{Td,i}$) em uma unidade do SAA diagnosticado, conforme a Equação (44).

$$\sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{Td,i} = \left\{ \left\{ \alpha_{d,i} \times E_{ecs,i} \right\} + \left[IDCE_i \times (Vb_{ecd,i} + Vb_{epd,i}) \right] + \left[\left(\frac{Vb_{pd,i}}{Vb_{Td,i}} \right) \times \sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{Td,i} \right] + \sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{epd,i} + \sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{impd,i} \right\} \quad (44)$$

Onde:

- $Eb_{Td,i}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida na unidade i (kWh/mês).
- $\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado de proporcionalidade na unidade i (%);
- $E_{ecd,i}$: energia elétrica diagnosticada efetiva consumida na unidade i (kWh/mês);
- $IDCE_i$: indicador de deficiência no consumo específico na unidade i (kWh/mês);
- $Vb_{ecd,i}$: volume diagnosticado base efetivo consumido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{epd,i}$: volume diagnosticado base de água efetivo para processo na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{pd,i}$: volume simulado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Vb_{Td,i}$: volume simulado base total de água na unidade i ($m^3/mês$);
- $Eb_{Td,i}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida na unidade i (kWh/mês).
- $Eb_{epd,i}$: energia elétrica diagnosticada base efetiva consumida para processo na unidade i (kWh/mês);
- $Eb_{impd,i}$: energia elétrica diagnosticada base importada pela unidade i (kWh/mês).

Da mesma forma, inserindo a Equação (42) e a Equação (43) na Equação (36) tem-se a equação geral para a *energia elétrica diagnosticada base total consumida* em uma unidade do SAA referência, conforme a Equação (45).

$$\sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{T,s,i} = \left\{ \left\{ \alpha_{s,i} \times E_{ec,s,i} \right\} + \left[\left[\left(\frac{Vb_{p,s,i}}{Vb_{T,s,i}} \right) \times \sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{T,s,i} \right] \right] + \sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{ep,s,i} + \sum_{i=1}^{i=\max} Eb_{imp,s,i} \right\} \quad (45)$$

Onde:

- $Eb_{T,s,i}$: energia elétrica simulada base total consumida na unidade i (kWh/mês).
- $\alpha_{s,i}$: coeficiente simulado de proporcionalidade na unidade i (%);
- $E_{ec,s,i}$: energia elétrica simulada efetiva consumida na unidade i (kWh/mês);
- $Vb_{p,s,i}$: volume simulado base perdido de água na unidade i (m³/mês);
- $Vb_{T,s,i}$: volume simulado base total de água na unidade i (m³/mês);
- $Eb_{T,s,i}$: energia elétrica simulada base total consumida na unidade i (kWh/mês).
- $Eb_{ep,s,i}$: energia elétrica simulada efetiva consumida para processo na unidade i (kWh/mês);
- $Eb_{imp,s,i}$: energia elétrica simulada importada pela unidade i (kWh/mês).

Calculados os valores de perdas de água e de energia elétrica consumida, foi necessário definir como identificar o desempenho hidroenergético do SAA. Considerando todos os indicadores abordados na pesquisa, no caso, relacionados ao planejamento operacional, tático e estratégico, verificou-se que os indicadores e modelos atuais não traduzem de fato o desempenho hidroenergético do SAA, principalmente, numa abordagem sistêmica com interrelações entre unidades, entre etapas e no SAA como um todo.

Portanto, tendo em vista que a melhor forma de apresentar o afastamento do desempenho do SAA real do SAA referência foi considerando a relação entre os valores perdidos e os valores de entrada de água e de consumo acumulado de energia elétrica, nas unidades, nas etapas e no SAA como um todo. Logo, o *desempenho hidroenergético no âmbito hídrico (DHh)* foi calculado relacionando o *volume diagnosticado base perdido de água* (Vb_{pd}) e o *volume diagnosticado base total de água* (Vb_{Td}) na unidade i , na etapa ou no SAA, respectivamente, nas Equações (46), (47) e (48).

$$DHh_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=i} Vb_{pd,i}}{Vb_{Td,i}} \quad (46)$$

Onde:

DHh_i : desempenho hidroenergético no âmbito hídrico na unidade i (%/mês);

$Vb_{pd,i}$: volume diagnosticado base perdido de água na unidade i ($m^3/mês$);

$Vb_{Td,i}$: volume diagnosticado base total de água na unidade i ($m^3/mês$).

$$DHh_{etapa} = \frac{\sum_{j=1}^{j=j} Vb_{pd,j}}{Vb_{Td,j \min}} \quad (47)$$

Onde:

DHh_{etapa} : desempenho hidroenergético no âmbito hídrico na etapa (%/mês);

$Vb_{pd,i}$: volume diagnosticado base perdido de água na etapa ($m^3/mês$);

$Vb_{Td,i}$: volume diagnosticado base total de água na etapa ($m^3/mês$);

j : contagem de unidades válida apenas para as etapas do SAA.

$$DHh = \frac{Vb_{pd}}{Vb_{Td}} \quad (48)$$

Onde:

DHh : desempenho hidroenergético no âmbito hídrico no SAA (%/mês);

Vb_{pd} : volume diagnosticado base perdido de água no SAA ($m^3/mês$);

Vb_{Td} : volume diagnosticado base total de água no SAA ($m^3/mês$).

No que diz respeito à classificação do desempenho hídrico, foram verificados os valores de perdas de água na distribuição que constam nos relatórios do SNIS desde o ano referência de 2010 até o de 2013 (última publicação até o momento da finalização da pesquisa) e chegou-se a cinco gráficos *bloxplot*, no caso, Gráfico 1 até o Gráfico 5 os quais expressam a situação das perdas de água para diferentes perfis de cidades.

Gráfico 1: perdas de água na distribuição – cidades com até 100 mil habitantes (2010-2013).

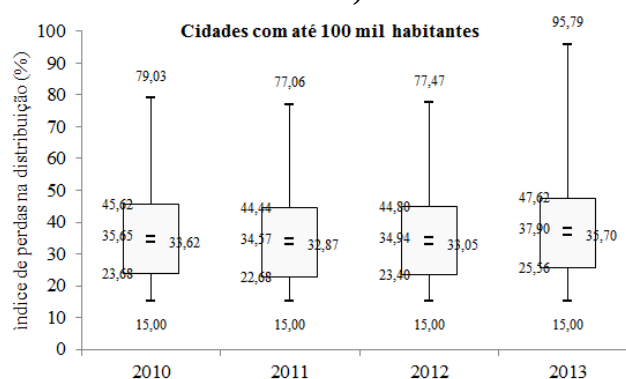


Gráfico 2: perdas de água na distribuição – cidades com 100 mil a 250 mil habitantes (2010-2013).

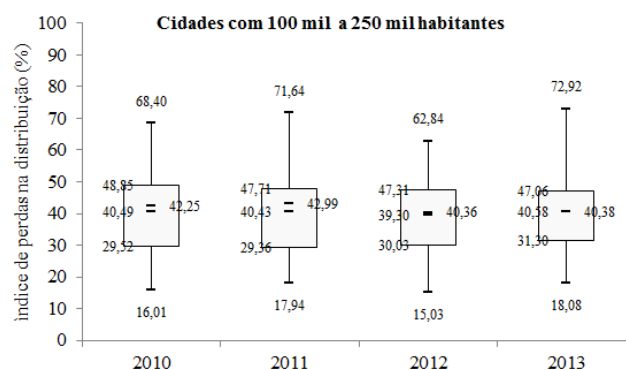


Gráfico 3: perdas de água na distribuição – cidades com 250 mil a 500 mil habitantes (2010-2013).

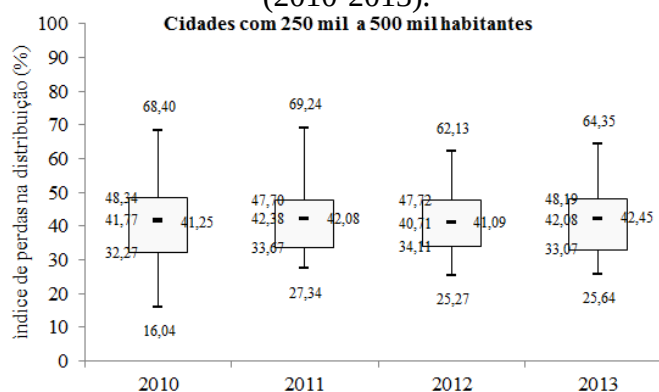


Gráfico 4: perdas de água na distribuição – cidades com 500 mil a 1 milhão de habitantes (2010-2013).

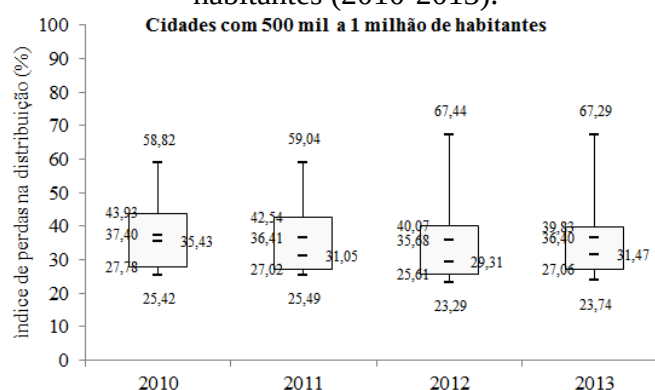
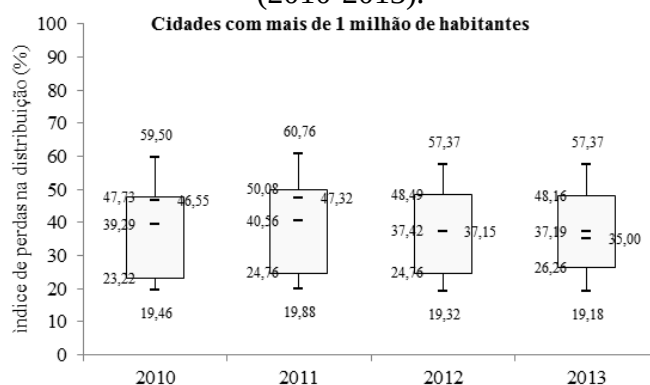


Gráfico 5: perdas de água na distribuição – cidades com mais de 1 milhão de habitantes (2010-2013).



Observando os gráficos apresentados (Gráfico 1 até o Gráfico 5) foi possível verificar que os valores do primeiro, mediana e terceiro quartil são relativamente semelhantes.

- Valores mínimos: variaram entre 15,00% (em todos os anos para cidades com até 100 mil habitantes) e 25,64% (no ano de 2013 para cidades com população entre 250 mil e 500 mil habitantes). Nesse caso, o primeiro quartil orientou a faixa de desempenho considerada como “excelente” para redes de distribuição, sendo adotado o limite de até 20% de perdas de água.

- O primeiro quartil: variou entre 22,68% (no ano de 2011 para cidades com até 100 mil habitantes) e 34,11% (no ano de 2012 para cidades com população entre 100 mil e 250 mil habitantes). Nesse caso, o primeiro quartil orientou a faixa de desempenho considerada como “boa” para redes de distribuição, sendo adotado o limite maior que 20% e até 30% de perdas de água.

- A mediana: variou entre 29,31% (no ano de 2012 para cidades com população entre 250 mil e 500 mil habitantes) a 47,32% (no ano de 2011 para cidades com população maior que 1 milhão de habitantes). Nesse caso, a mediana orientou a faixa de desempenho considerada como “regular” para redes de distribuição, sendo adotado o limite de maior que 30% até 45% perdas de água.

- O terceiro quartil: variou entre 39,83% (no ano de 2013 para cidades com população entre 500 mil e 1 milhão de habitantes) e 50,08% (no ano de 2011 para cidades com população maior que 1 milhão de habitantes). Nesse caso, o terceiro quartil orientou a faixa de desempenho considerada como “ruim” para redes de distribuição, sendo adotado o limite maior que 45% até 60% de perdas de água.

- Valores máximos: variaram entre 57,37% (no ano de 2013 para cidades com população com mais de 1 milhão de habitantes) e 95,79% (no ano de 2013 para cidades com população até 100 mil habitantes). Nesse caso, o primeiro quartil orientou a faixa de desempenho considerada como “muito ruim” para redes de distribuição, sendo adotado para valores maiores que 60% de perdas de água.

Por fim, conhecendo as faixas de desempenho relacionadas às redes de distribuição de água foi possível levantar todos os valores para a classificação de unidades, de etapas e do SAA como um todo. No caso, para as unidades que não são redes de distribuição de água e para etapas de obtenção e processamento foram adotados valores que variam de 0,25% a 1,00%, conforme observado na Tabela 10.

Tabela 10: etapa 4 – classes de desempenho para perdas de água no SAA-1.

Avaliação		Excelente (até)	Bom (até)	Regula (até)	Ruim (até)	Muito ruim (maior que)
Local	RDA	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
	Outras unidades	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%	1,00%
Etapa	Obtenção	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%	1,00%
	Processamento	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%	1,00%
	Distribuição	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
Global	Todo o sistema	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%

Sobre o *desempenho hidroenergético no âmbito energético (DHe)*, o valor é calculado relacionando a *energia elétrica diagnosticada base perdida* (Eb_{p_d}) e a *energia elétrica diagnosticada base total consumida* (Eb_{T_d}) acumulado nas unidades, nas etapas e no SAA como um todo, respectivamente, nas Equações (49), (50) e (51).

$$DHe_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=i} Eb_{p_d,i}}{\sum_{i=1}^{i=i} Eb_{T_d,i}} \quad (49)$$

Onde:

DHe_i : desempenho hidroenergético no âmbito da energia na unidade i (%/mês);

$Eb_{p_d,i}$: energia elétrica diagnosticada base perdida na unidade i (kWh/mês);

$Eb_{T_d,i}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida na unidade i (kWh/mês).

$$DHe_{etapa} = \frac{\sum_{i=1}^{i=i_{\max(etapa)}} Eb_{p_d,i}}{\sum_{i=1}^{i=i_{\max(etapa)}} Eb_{T_d,i}} \quad (50)$$

Onde:

DHe_{etapa} : desempenho hidroenergético no âmbito da energia na unidade i (%/mês);

$Eb_{p_d,i}$: energia elétrica diagnosticada base perdida na unidade i (kWh/mês);

$Eb_{T_d,i}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida na unidade i (kWh/mês).

$$DHe = \frac{\sum_{i=1}^{i=i_{\max}} Eb_{p_d,i}}{\sum_{i=1}^{i=i_{\max}} Eb_{T_d,i}} \quad (51)$$

Onde:

DHe_{etapa} : desempenho hidroenergético no âmbito da energia na unidade i (%/mês);

$Eb_{p_d,i}$: energia elétrica diagnosticada base perdida na unidade i (kWh/mês);

$Eb_{T_d,i}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida na unidade i (kWh/mês).

No caso das faixas de classificação de desempenho referentes à energia elétrica consumida e perdida nos SAA, mesmo considerando que as alternativas aplicáveis para eficiência energética em SAA são tecnologias dominadas e amplamente relatadas na literatura (VILANOVA e BALESTIERI, 2014), não foram identificados na pesquisa bancos de dados que pudessem orientar as faixas da metodologia desenvolvida.

Porém, reiterando que a economia de energia elétrica pode variar, por exemplo, de 10% a 50% a partir de estratégias de controle e operação otimizada, baseadas em dados provenientes de sistemas SCADA, e chegar até a 70% com uso de inversores de frequência em vez de estrangulamentos de válvula (NEW YORK STATE 2010; JAMIESON ET AL. 2007; ZHANG ET AL. 2012).

No entanto, os autores não detalham as condições de operação no SAA que resultem em níveis de economias tão elevados, podendo, inclusive ser levada em consideração a possibilidade de redução do consumo de energia elétrica por meio da das perdas de água evitadas graças a otimização operacional.

Nesse contexto, optou-se pelo cadastro de valores iguais aos utilizados na avaliação das perdas de água para as redes de distribuição, bem como para as etapas de distribuição e para o SAA como um todo. Para as demais unidades e etapas, foram adotados valores que variam de 1% até 20%, ou seja, valores inferiores aos apresentados na literatura para economias com otimização (reduções de 10% a 50%), não levando em consideração, portanto, o extremo de 70% mencionado.

Para a classificação de desempenho, inicialmente optou-se por valores pequenos para perdas de energia elétrica das unidades (exceto RDA), etapas que não constam RDAs. No caso, da etapa de distribuição e no sistema os valores são superiores, conforme observado na Tabela 11.

Tabela 11: classes de desempenho para perdas de energia elétrica para o SAA-1.

Avaliação		Excelente (até)	Bom (até)	Regula (até)	Ruim (até)	Muito ruim (maior que)
Local	RDA	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
	Outras unidades	1,00%	5,00%	10,00%	20,00%	20,00%
Etapa	Obtenção	1,00%	5,00%	10,00%	20,00%	20,00%
	Processamento	1,00%	5,00%	10,00%	20,00%	20,00%
	Distribuição	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
Global	Todo o sistema	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%

Na última etapa da metodologia desenvolvida, no caso, Impactos Financeiros das Perdas Hidroenergéticas, o primeiro passo foi calcular o produto entre o valor da tarifa e o *consumo total de energia elétrica*. No entanto, é possível fracionar o valor de acordo com tarifas diferenciadas por horário de consumo, como ocorre no Brasil.

Dessa forma, a *despesa total com energia elétrica* (D_{Ti}) no SAA integrado é igual à soma entre os produtos dos valores diferenciados de tarifa (Trf_{P_i} e Trf_{FP_i}) e os respectivos *consumos totais de energia elétrica* ($E_{TP_{d,i}}$ e $E_{TFP_{d,i}}$), bem como *despesas complementares* (multas, impostos etc) ($D_{e_{k,i}}$), como observado na Equação (52). Para determinar a *despesa base total com energia elétrica* no SAA, basta multiplicar a equação mencionada pelo *coeficiente de proporcionalidade* do SAA diagnosticado e tem-se a Equação (53).

$$D_{Ti} = \left\{ \left[\left(Trf_{P_i} \times E_{TP_{d,i}} \right) + \left(Trf_{FP_i} \times E_{TFP_{d,i}} \right) \right] + \left(\sum_{k=1}^{k=k_{\max}} D_{e_{k,i}} \right) \right\} \quad (52)$$

$$Db_{Ti} = \alpha_{d,i} \times \left\{ \left[\left(Trf_{P_i} \times E_{TP_{d,i}} \right) + \left(Trf_{FP_i} \times E_{TFP_{d,i}} \right) \right] + \left(\sum_{k=1}^{k=k_{\max}} D_{e_{k,i}} \right) \right\} \quad (53)$$

Onde:

D_{Ti} : despesa total com energia elétrica na unidade i (\$/mês);

Trf_{P_i} : tarifa de energia elétrica para horário de ponta na unidade i (\$/kWh);

$E_{TP_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada total consumida no horário de ponta na unidade i (kWh/mês);

Trf_{FP_i} : tarifa de energia elétrica para horário fora de ponta na unidade i (\$/kWh);

$E_{TFP_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada total consumida no horário fora de ponta na unidade i (kWh/mês);

$D_{e_{k,i}}$: despesas complementares (\$/mês);

Db_{Ti} : despesa total base com energia elétrica na unidade i (\$/mês);

$\alpha_{d,i}$: coeficiente diagnosticado de proporcionalidade na unidade i (%).

O *impacto financeiro base por perdas de volumes* (IFb_{pv_i}) é calculado a partir do produto entre a *despesa base total com energia elétrica* (Db_{T_i}) acumulada até a unidade i e o *volume diagnosticado base perdido de água* ($Vb_{p_{d,i}}$) em percentual na mesma, conforme a Equação (54).

$$IFb_{pv_i} = \left(\frac{Vb_{p_{d,i}}}{Vb_{T_{d,i}}} \right) \times \sum_{i=1}^{i=i_{\max}} Db_{T_i} \quad (54)$$

Onde:

IFb_{pv_i} : impacto financeiro base por perdas de volumes na unidade i (\$/mês);

$Vb_{p_{d,i}}$: volume diagnosticado base perdido de água na unidade i (m³/mês);

$Vb_{T_{d,i}}$: volume diagnosticado base total de água na unidade i (m³/mês);

Db_{T_i} : despesa base total com energia elétrica na unidade i (\$/mês).

Da mesma forma, o *impacto financeiro base por consumo excessivo* (IFb_{pc_i}) é calculado por meio do produto da *despesa base total com energia elétrica* (Db_{T_i}) na unidade e o *consumo diagnosticado base perdido de energia por consumo excessivo* ($Eb_{pc_{d,i}}$) em percentual na mesma unidade, conforme Equação (55) para a unidade i .

$$IFb_{pc_i} = \left(\frac{Eb_{pc_{d,i}}}{Eb_{T_{d,i}}} \right) \times Db_{T_i} \quad (55)$$

Onde:

IFb_{pc_i} : impacto financeiro base por consumo excessivo (\$/mês);

$Eb_{pc_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso (kWh/mês);

$Eb_{T_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida (kWh/mês).

Db_{T_i} : despesa total base com energia elétrica (\$/mês).

A soma entre o *impacto financeiro base por perdas de volumes* (IFb_{pv_i}) e o *impacto financeiro base por consumo excessivo* (IFb_{pc_i}) é igual ao *Impacto financeiro base total por perdas hidroenergéticas* (IFb_{T_i}), de acordo com o apresentado na Equação (56) para a unidade i .

$$IFb_{T_i} = \left\{ \left[\left(\frac{Vb_{pv_{d,i}}}{Vb_{T_{d,i}}} \right) \times \sum_{i=1}^{i=i_{\max}} Db_{T_i} \right] + \left[\left(\frac{Eb_{pc_{d,i}}}{Eb_{T_{d,i}}} \right) \times Db_{T_i} \right] \right\} \quad (56)$$

Onde:

IFb_{T_i} : impacto financeiro base total por perdas hidroenergéticas (\$/mês);

IFb_{pv_i} : impacto financeiro base por perdas de volumes (\$/mês);

$Vb_{p_{d,i}}$: volume diagnosticado base perdido de água ($m^3/mês$);

$Vb_{T_{d,i}}$: volume diagnosticado base total de água ($m^3/mês$);

IFb_{pc_i} : impacto financeiro base por consumo excessivo (\$/mês);

$Eb_{pc_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso ($kWh/mês$);

$Eb_{T_{d,i}}$: energia elétrica diagnosticada base total consumida ($kWh/mês$).

Db_{T_i} : despesa base total com energia elétrica (\$/mês).

Considerando todas as formulações apresentadas para a determinação do impacto financeiro das perdas hidroenergéticas, pode ser feito o somatório para a determinação das mesmas para cada etapa, desde que sejam nas unidades referentes a essas etapas. Da mesma forma, efetuando o somatório de todos os valores dos impactos financeiros das perdas hidroenergéticas em toda linha hidroenergética do SAA, tem-se o valor global.

4.1.2 Aplicação da metodologia desenvolvida em SAA com dados sintéticos

Finalmente, para primeira aplicação da metodologia foi utilizado o SAA integrado da Figura 70 (fictício), no qual é identificado o SAA da Figura 71, com inerentes dados sintéticos de volumes de água e de consumo de energia elétrica. Nesse caso, foco será a avaliação do SAA-1.

Figura 70: SAA integrado e dados sintéticos.

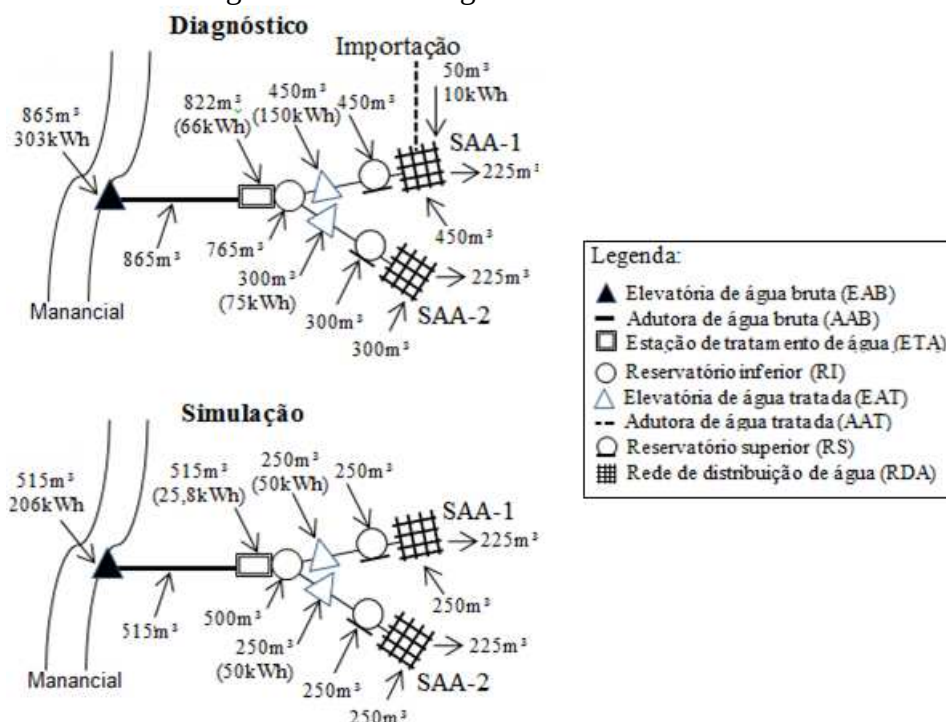
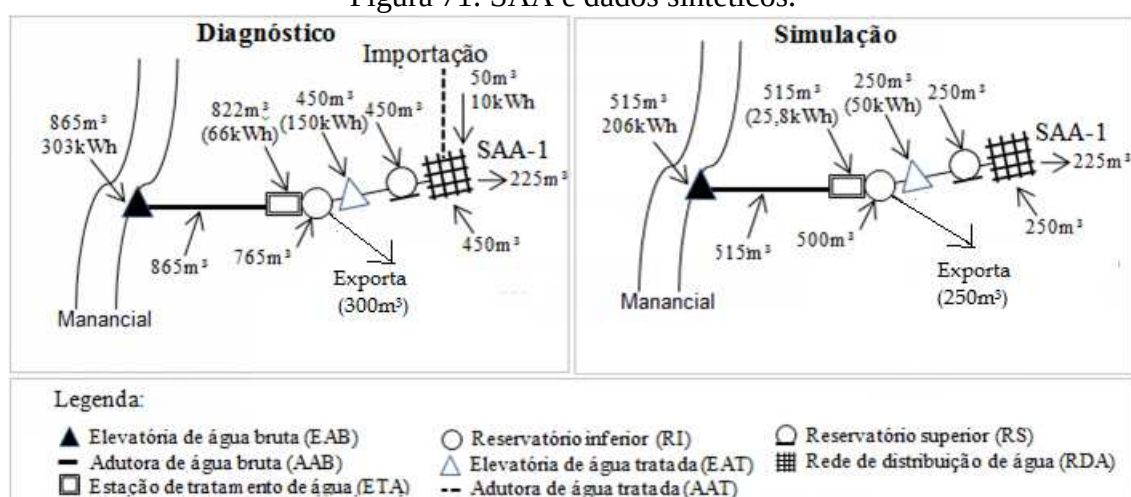


Figura 71: SAA e dados sintéticos.



O resultado da etapa 1 foi apresentado no Tabela 12, onde podem ser verificadas todas as unidades que compõe o SAA avaliado, bem como os identificadores “i”.

Tabela 12: etapa 1 da metodologia – resultados para o SAA-1.

Cadastro	Etapa	Unidades	Identificadores i
SAA 1	Obtenção	EAB	1
		AAB	2
	Produção	ETA	3
		RAP	4
	Distribuição	EAT	5
		REL	6
		RDA	7

Na etapa 2 da metodologia, foram utilizadas as Equações (20), (22), (24) e (26) para determinar os valores referentes ao *volume base total diagnosticado de água* ($VbT_{d,i}$) para cada unidade do SAA-1, conforme observado na Tabela 13. Ressalta-se a existência de ponto de exportação de 300m³ localizado na unidade RAP e o reforço de 50m³ para atendimento da demanda de água pela população na RDA. Foi estabelecido, ainda, que o *volume diagnosticado de água efetivo para processo* ($Vep_{d,i}$) é igual a 3% do *volume base total diagnosticado de água* na unidade ETA ($VbT_{d,ETA}$).

Tabela 13: etapa 2 – volumes de água no SAA-1 diagnosticado.

Diagnóstico	Id.	SAA Integrado (m ³ /mês)				$\alpha_{d,i}$ (%)	SAA (m ³ /mês)
		$VT_{d,i} - Vim_{d,i}$	$Vim_{d,i}$	$Vexp_{d,i}$	$Vep_{d,i}$		$VbT_{d,i}$
EAB	1	865,00	0,00	0,00	0,00	64,30	555,71
AAB	2	865,00	0,00	0,00	0,00	64,30	555,71
ETA	3	822,00	0,00	0,00	24,70	62,37	512,71
RAP	4	765,00	0,00	-300,00	0,00	60,78	465,00
EAT	5	450,00	0,00	0,00	0,00	100,00	450,00
REL	6	450,00	0,00	0,00	0,00	100,00	450,00
RDA	7	450,00	50,00	0,00	0,00	100,00	500,00
Consumido	-	-	-	-	-	-	225,00

Nota: $VT_{d,i}$ (volume diagnosticado total de água), $Vim_{d,i}$ (volume diagnosticado de água importado), $Vexp_{d,i}$ (volume diagnosticado de água exportado), $Vep_{d,i}$ (volume diagnosticado de água efetivo para processo), $\alpha_{d,i}$ (coeficiente diagnosticado de proporcionalidade) e $VbT_{d,i}$ (volume diagnosticado base total diagnosticado de água).

Utilizando as Equações (20) e (35), foram identificados os valores referentes à *energia elétrica diagnosticada base total consumida* e os valores referentes à *energia elétrica diagnosticada base total consumida acumulada* para cada unidade do SAA 1, conforme observado na Tabela 14.

Tabela 14: etapa 2 – consumo de energia elétrica no SAA-1 diagnosticado.

Diagnóstico	Id.	SAA Integrado (kWh/mês)			$\alpha_{d,i}$ (%)	SAA (kWh/mês)	
		$ET_{d,i} - Eimp_{d,i}$	$Eimp_{d,i}$	$Eexp_{d,i}$		$EbT_{d,i}$	$\Sigma EbT_{d,i}$
EAB	1	303,00	0,00	0,00	64,30	195,00	195,00
AAB	2	0,00	0,00	0,00	64,30	0,00	195,00
ETA	3	66,00	0,00	0,00	62,37	41,00	236,00
RAP	4	0,00	0,00	0,00	60,78	0,00	236,00
EAT	5	150,00	0,00	0,00	100,00	150,00	386,00
REL	6	0,00	10	0,00	100,00	0,00	386,00
RDA	7	000	0,00	0,00	100,00	10,00	396,00

Nota: $ET_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada total consumida), $Eimp_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada importada), $Eexp_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada exportada), $\alpha_{d,i}$ (coeficiente diagnosticado de proporcionalidade) e $EbT_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base total consumida).

Na etapa 3 da metodologia, foram utilizadas as Equações (21), (23), (25) e (27) para identificar os valores referentes ao *volume simulado base total de água* ($VbT_{s,i}$) para cada unidade do SAA-1 referência, conforme observado na Tabela 15.

Tabela 15: etapa 3 – volumes base de água no SAA-1 referência.

Simulação	Id.	SAA Integrado (m³/mês)				$\alpha_{s,i}$ (%)	SAA (m³/mês)
		$VT_{s,i} - Vimp_{s,i}$	$Vimp_{s,i}$	$Vexp_{s,i}$	$Vep_{s,i}$		$VbT_{s,i}$
EAB	1	515,47	0,00	0,00	0,00	50,00	257,74
AAB	2	515,47	0,00	0,00	0,00	50,00	257,74
ETA	3	515,47	0,00	0,00	15,47	50,00	257,74
RAP	4	500,00	0,00	-250,00	0,00	50,00	250,00
EAT	5	250,00	0,00	0,00	0,00	100,00	250,00
REL	6	250,00	0,00	0,00	0,00	100,00	250,00
RDA	7	250,00	0,00	0,00	0,00	100,00	250,00
Consumido	-	-	-	-	-	-	225,00

Nota: $VT_{s,i}$ (volume simulado total de água), $Vimp_{s,i}$ (volume simulado de água importado), $Vexp_{s,i}$ (volume simulado de água exportado), $Vep_{s,i}$ (volume simulado de água efetivo para processo), $\alpha_{s,i}$ (coeficiente simulado de proporcionalidade) e $VbT_{s,i}$ (volume simulado base total de água).

Utilizando as Equações (21) e (36) foi identificado o valor referente à *energia elétrica simulada base total consumida* ($EbT_{s,i}$) e o valor referente à *energia elétrica simulada base total consumida* ($EbT_{s,i}$) acumulada para cada unidade do SAA-1 referência, conforme observado na Tabela 16.

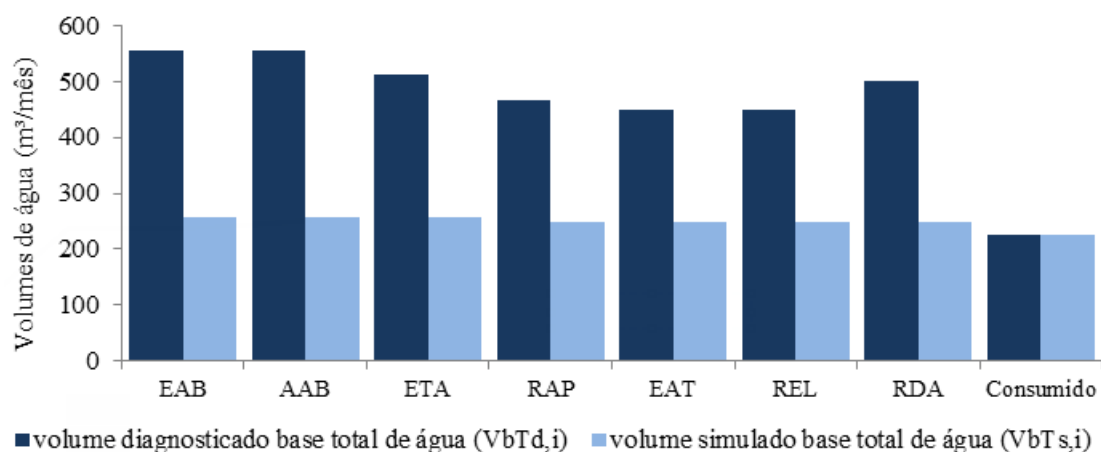
Tabela 16: etapa 3 – consumos base de energia elétrica no SAA-1 referência.

Simulação	Id.	SAA Integrado (kWh/mês)			$\alpha_{s,i}$ (%)	SAA (kWh/mês)	
		$ET_{s,i} - Eimp_{s,i}$	$Eexp_{s,i}$	$Eexp_{ds,i}$		$EbT_{s,i}$	$\Sigma EbT_{s,i}$
EAB	1	103,00	0,00	0,00	50,00	51,50	51,50
AAB	2	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	51,50
ETA	3	13,00	0,00	0,00	50,00	6,50	58,00
RAP	4	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	58,00
EAT	5	50,00	0,00	0,00	100,00	50,00	108,00
REL	6	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	108,00
RDA	7	000	0,00	0,00	100,00	0,00	108,00

Nota: $ET_{s,i}$ (energia elétrica simulada total consumida), $Eimp_{s,i}$ (energia elétrica simulada importada), $Eexp_{s,i}$ (energia elétrica simulada exportada), $\alpha_{s,i}$ (coeficiente simulado de proporcionalidade) e $EbT_{s,i}$ (energia elétrica simulada base total consumida).

Analisando os resultados das três primeiras etapas, foi possível identificar também o distanciamento entre os valores do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência. Por exemplo, na comparação entre os valores observados de *volumes base de água* na Figura 72, o valor de partida do SAA-1 diagnosticado é maior que o dobro do SAA-1 referência, sendo que ambos chegam ao mesmo valor ao final da linha hidroenergética, no caso, o consumo pela população, essa diferença é função das perdas de água no SAA.

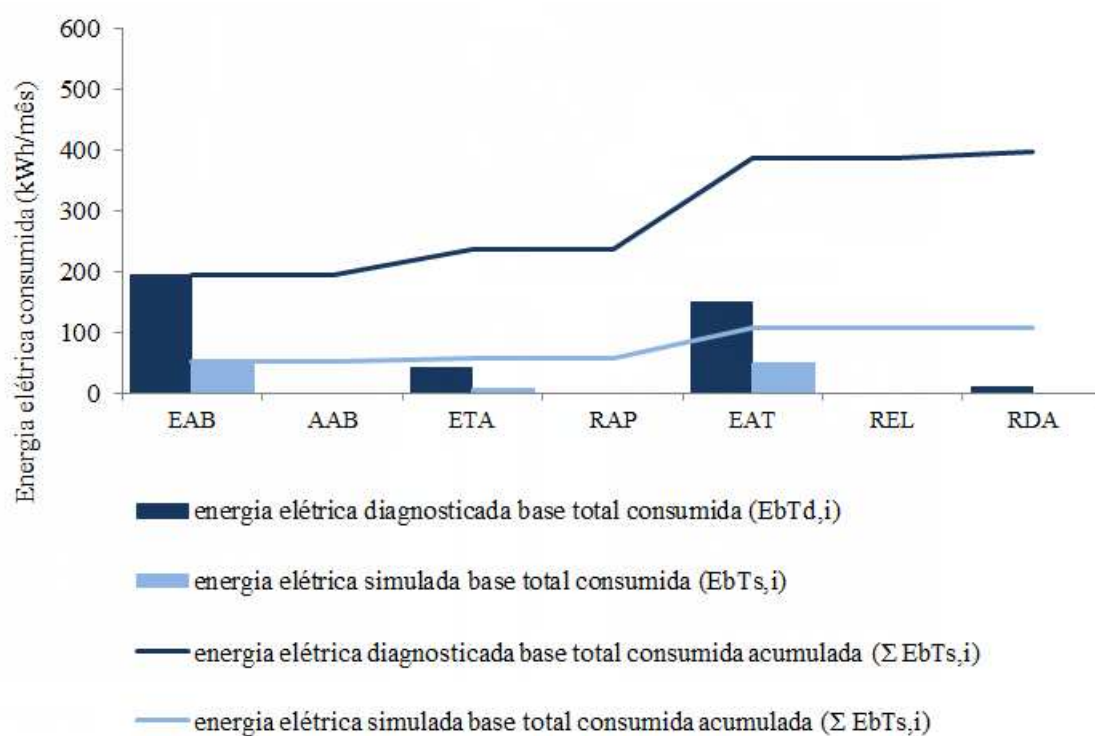
Figura 72: comparação entre volumes base total de água do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência.



Além disso, em teoria, as linhas hidroenergéticas de volumes de água na Figura 72 avançam sempre para a diminuição, no entanto, no caso do exemplo, para conseguir suprir a demanda de água no setor atendido foi necessária importação de água e por isso é observada subida da linha hidroenergética de volumes na RDA.

Em se tratando de consumo de energia elétrica nas duas primeiras etapas, foi possível identificar da mesma forma o distanciamento entre os valores do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência, tanto na comparação entre valores locais quanto entre valores acumulados, conforme Figura 73. Outro ponto importante é que a linha hidroenergética de consumos de energia elétrica, diferentemente da linha hidroenergética de volumes de água, sempre mantém a direção, no caso, para cima.

Figura 73: comparação entre consumos de energia elétrica do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência.



Iniciando a etapa 4, por meio da Tabela 15 e da Tabela 16, bem como das Equações (28) e (30) para *volumes bases totais de água* do SAA-1 diagnosticado e Equações (29) e (31) para o SAA-1 referência, foram calculadas as perdas de água e as demais parcelas. Dessa forma, foi possível, ainda, elaborar comparação entre as parcelas que compõe os *volumes bases totais de água*, a qual é apresentada na Tabela 17. Vale observar o maior detalhamento dos cenários, onde mais da metade das unidades do

SAA-1 diagnosticado possuem perdas de água, enquanto que no SAA-1 referência o planejamento propõe perdas de água somente na RDA e com valor bem abaixo, como observado na Tabela 18.

Tabela 17: etapa 4 – comparação quantitativa entre volumes de água no SAA-1.

Unidades	Id.	Volumes de água ($m^3/mês$)							
		SAA Diagnosticado				SAA Referência			
		$VbT_{d,i}$	Parcelas			$VbT_{s,i}$	Parcelas		
			$Vimp_{d,i}$	$Vbep_{d,i}$	$Vbp_{d,i}$		$Vimp_{s,i}$	$Vbep_{s,i}$	$Vbp_{s,i}$
EAB	1	555,71	0,00	0,00	0,00	257,74	0,00	0,00	0,00
AAB	2	555,71	0,00	0,00	43,00	257,74	0,00	0,00	0,00
ETA	3	512,71	0,00	15,41	32,30	257,74	0,00	7,74	0,00
RAP	4	465,00	0,00	0,00	15,00	250,00	0,00	0,00	0,00
EAT	5	450,00	0,00	0,00	0,00	250,00	0,00	0,00	0,00
REL	6	450,00	0,00	0,00	0,00	250,00	0,00	0,00	0,00
RDA	7	500,00	50,00	0,00	275,00	250,00	0,00	0,00	25,00
Consumo	-	225,00	-	-	-	225,00	-	-	-

Nota: $VbT_{d,i}$ (volume diagnosticado base total de água), $Vimp_{d,i}$ (volume diagnosticado de água importado), $Vbep_{d,i}$ (volume diagnosticado base de água efetivo para processo), $Vbp_{d,i}$ (volume diagnosticado base de água perdido), $VbT_{s,i}$ (volume simulado base total de água), $Vimp_{s,i}$ (volume simulado de água importado), $Vbep_{s,i}$ (volume simulado base de água efetivo para processo), $Vbp_{s,i}$ (volume simulado base de água perdido).

Tabela 18: etapa 4 – comparação qualitativa entre volumes de água no SAA-1.

Unidades	Id.	Volumes de água ($m^3/mês$) e (%)							
		SAA Diagnosticado				SAA Referência			
		$VbT_{d,i}$	Parcelas			$VbT_{s,i}$	Parcelas		
			$Vimp_{d,i}$	$Vbep_{d,i}$	$Vbp_{d,i}$		$Vimp_{s,i}$	$Vbep_{s,i}$	$Vbp_{s,i}$
EAB	1	556,00	0,00%	0,00%	0,00%	258,00	0,00%	0,00%	0,00%
AAB	2	556,00	0,00%	0,00%	7,74%	258,00	0,00%	0,00%	0,00%
ETA	3	513,00	0,00%	3,00%	6,30%	258,00	0,00%	3,00%	0,00%
RAP	4	465,00	0,00%	0,00%	3,23%	250,00	0,00%	0,00%	0,00%
EAT	5	450,00	0,00%	0,00%	0,00%	250,00	0,00%	0,00%	0,00%
REL	6	450,00	0,00%	0,00%	0,00%	250,00	0,00%	0,00%	0,00%
RDA	7	500,00	10,00%	0,00%	55,00%	250,00	0,00%	0,00%	10,00%
Consumo	-	225,00	-	-	-	225,00	-	-	-

Nota: $VbT_{d,i}$ (volume diagnosticado base total de água), $Vimp_{d,i}$ (volume diagnosticado de água importado), $Vbep_{d,i}$ (volume diagnosticado base de água efetivo para processo), $Vbp_{d,i}$ (volume diagnosticado base de água perdido), $VbT_{s,i}$ (volume simulado base total de água), $Vimp_{s,i}$ (volume simulado de água importado), $Vbep_{s,i}$ (volume simulado base de água efetivo para processo), $Vbp_{s,i}$ (volume simulado base de água perdido).

Vale observar que, a metodologia proporciona análise interessante sob a ótica das etapas de SAA, cujas perdas de água são calculadas pela Equação (47), pois proporciona a avaliação na mesma linha hidroenergética de grupos de unidades, onde é possível priorizar ações de melhorias a partir de questões financeiras, logísticas etc. Também é possível visualizar como o resultado das ações de redução de perdas pode influenciar no resultado global apresentado na Tabela 19, por meio da Equação (48).

Tabela 19: etapa 4 – perdas de água ($m^3/mês$) no SAA-1.

Tabela 15: etapa 1 - perdas de água (m³/mês) no SIAF 1.				
Avaliação	Id.	Local Vb_{pd} $m^3/mês$ (%)	Etapa Vb_{pd} $m^3/mês$ (%)	Global Vb_{pd} $m^3/mês$ (%)
EAB	1	0,00 (0,00%)	43,00 (7,74%)	365,30 (65,74%)
AAB	2	43,00 (7,74%)		
ETA	3	32,30 (6,30%)	47,30 (9,23%)	
RAP	4	15,00 (3,23%)		
EAT	5	0,00 (0,00%)	275,00 (61,11%)	
REL	6	0,00 (0,00%)		
RDA	7	275,00 (55,00%)		

Nota: Vb_{pd} (volume diagnosticado base perdido de água).

As medidas para melhorias de desempenho simuladas para o SAA-1 diagnosticado (nesse caso são dados sintéticos) apontam elevado potencial de redução de perdas de água, de, por exemplo, 55% à apenas 10% somente na RDA, o que a priori poderia direcionar ações corretivas para essa unidade em específico, conforme na Tabela 19. Mas é importante frisar que ações de eficiência hidroenergética atuam também diretamente no consumo de energia elétrica que são mais relevantes nas primeiras unidades e etapas do SAA-1, esse balanço será mais bem abordado quando se tratar da avaliação do consumo de energia elétrica.

Após os cálculos das perdas de água, as mesmas foram classificadas de acordo com as metas, estabelecidas na metodologia e apresentadas novamente na Tabela 20, que se subdividem em valores para avaliação local, por etapa e global, sendo importante distinguir sempre os valores onde constam as RDAs, pois possuem valores muito superiores às demais unidades.

Tabela 20: etapa 4 – classes de desempenho para perdas de água no SAA-1.

Avaliação		Excelente (até)	Bom (até)	Regula (até)	Ruim (até)	Muito ruim (maior que)
Local	RDA	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
	Outras unidades	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%	1,00%
Etapa	Obtenção	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%	1,00%
	Processamento	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%	1,00%
	Distribuição	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
Global	Todo o sistema	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%

Os resultados da metodologia para avaliação hidroenergética de SAA mostram que apesar do cenário excelente para quase metade das unidades da linha hidroenergética, quando agrupados em etapa e global se apresentam com classificação muito ruim, conforme verificado na Tabela 21, fato que confirma a importância da abordagem sistêmica adotada.

Tabela 21: etapa 4 – desempenho hidroenergético do SAA-1 (volumes de água).

Avaliação	Id.	Local (DHhi)	Etapa (DHhe)	Global (DHh)
EAB	1	Excelente	Muito ruim	Muito ruim
AAB	2	Muito ruim		
ETA	3	Muito ruim	Muito ruim	
RAP	4	Muito ruim		
EAT	5	Excelente	Muito ruim	
REL	6	Excelente		
RDA	7	Muito ruim		

Nota: *DHhi* (Desempenho hidroenergético no âmbito hídrico na unidade), *DHhe* (Desempenho hidroenergético no âmbito hídrico na etapa) e *DHh* (Desempenho hidroenergético no âmbito hídrico global).

Conhecidas as perdas de água em valores percentuais, a etapa 4 é continuada utilizando a Equação (42) para calcular, então, os valores da *energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes* ($E_{b_{pv_{d,i}}}$) em cada unidade do SAA-1 diagnosticado, cujos resultados são observado na Tabela 22. Verifica-se que nas

unidades onde não ocorreram perdas de água o valor de *energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes* é nulo.

Tabela 22: etapa 4 – quantidades de energia elétrica consumida por volumes de água perdidos no SAA-1.

Perdas	Id.	$\Sigma EbT_{d,i}$ (kWh/mês)	$Vbp_{d,i}$ (%)	$Ebpv_{d,i}$ (kWh/mês)
EAB	1	195,00	0,00	0,00
AAB	2	195,00	7,74	15,00
ETA	3	236,00	6,30	15,00
RAP	4	236,00	3,23	8,00
EAT	5	386,00	0,00	0,00
REL	6	386,00	0,00	0,00
RDA	7	396,00	55,00	218,00

Nota: $EbT_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes), $Vbp_{d,i}$ (volume simulado base perdido de água) e $Ebpv_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes).

Em seguida, utilizando as Equações (37) e (38) foram calculados, respectivamente, os valores do *indicador de consumo específico* das unidades do SAA diagnosticado (ICE_d) e do SAA de referência (ICE_s), cujos resultados são observados na Tabela 23.

Tabela 23: etapa 4 – indicadores de consumo específico de energia elétrica nas unidades no SAA-1.

Perdas	Id.	SAA diagnosticado			SAA referência		
		$VbT_{d,i}$ (m³/mês)	$ET_{d,i} - Eimp_{d,i}$ (kWh/mês)	ICE_d (kWh/m³)	$VbT_{s,i}$ (m³/mês)	$ET_{s,i} - Eimps,i$ (kWh/mês)	ICE_s (kWh/m³)
EAB	1	865,00	303,00	0,35	515,47	103,00	0,20
AAB	2	865,00	0,00	0,00	515,47	0,00	0,00
ETA	3	822,00	66,00	0,08	515,47	13,00	0,03
RAP	4	765,00	0,00	0,00	500,00	0,00	0,00
EAT	5	450,00	150,00	0,33	250,00	50,00	0,20
REL	6	450,00	0,00	0,00	250,00	0,00	0,00
RDA	7	450,00	000	0,00	250,00	000	0,00

Nota: $VbT_{d,i}$ (volume diagnosticado base total de água), $ET_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada total consumida), $Eimp_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada importada), ICE_d (indicador de consumo específico diagnosticado), $VbT_{s,i}$ (volume simulado base total de água), $ET_{s,i}$ (energia elétrica simulada total consumida), $Eimps,i$ (energia elétrica simulada importada), ICE_s (indicador de consumo específico diagnosticado),

Na sequência, utilizando as Equações (39) e (40) foi possível calcular a *energia elétrica diagnosticada perdida por excesso de consumo* ($Eb_{pc,d,i}$) nas unidades, conforme Tabela 24, onde vale ressaltar que a *energia elétrica simulada perdida por excesso de consumo* no SAA-1 referência é nula ($Eb_{pc,d,i}=0$).

Tabela 24: etapa 4 – quantidade de energia elétrica consumida em excesso no SAA-1.

Perdas	Id.	ICE_d (kWh/m ³)	ICE_s (kWh/m ³)	$IDCE_i$ (kWh/m ³)	$Vbec_{d,i}+Vbep_{d,i}$ (m ³ /mês)	$Ebpc_{d,i}$ (kWh/m ³)
EAB	1	0,35	0,20	0,15	240,41	84,00
AAB	2	0,00	0,00	0,00	240,41	0,00
ETA	3	0,08	0,03	0,06	240,41	26,00
RAP	4	0,00	0,00	0,00	225,00	0,00
EAT	5	0,33	0,20	0,13	225,00	60,00
REL	6	0,00	0,00	0,00	225,00	0,00
RDA	7	0,00	0,00	0,00	225,00	0,00

Nota: ICE_d (indicador de consumo específico diagnosticado), ICE_s (indicador de consumo específico diagnosticado), $IDCE_i$ (indicador de deficiência no consumo específico), $Vbec_{d,i}$ (volume diagnosticado base efetivo consumido de água), $Vbep_{d,i}$ (volume diagnosticado base de água efetivo para processo), $Ebpc_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada perdida por excesso).

Por fim, a soma dos referidos valores é igual a *energia elétrica diagnosticada base perdida* ($Eb_{pd,i}$), onde foi possível verificar nas unidades que demandam energia elétrica que a perda pode ocorrer tanto pelos volumes de água perdidos quanto pelo excesso no consumo, conforme apresentado na Tabela 25. Outro ponto importante é a elevado consumo perdido de energia elétrica na EAB, que não possui perdas de água, referente à ineficiência em unidades com bombeamento de elevados volumes de água, como no caso estudado.

Tabela 25: etapa 4 – perdas de energia elétrica no SAA-1.

Perdas	Id.	$Ebpv_{d,i}$ (kWh/m ³)	$Ebpc_{d,i}$ (kWh/m ³)	$Eb_{pd,i}$ (kWh/m ³)
EAB	1	0,00	84,00	84,00
AAB	2	15,00	0,00	15,00
ETA	3	15,00	26,00	41,00
RAP	4	8,00	0,00	8,00
EAT	5	0,00	60,00	60,00
REL	6	0,00	0,00	0,00
RDA	7	218,00	0,00	218,00

Nota: $Ebpv_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes), $Ebpc_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada perdida por excesso) e $Eb_{pd,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida).

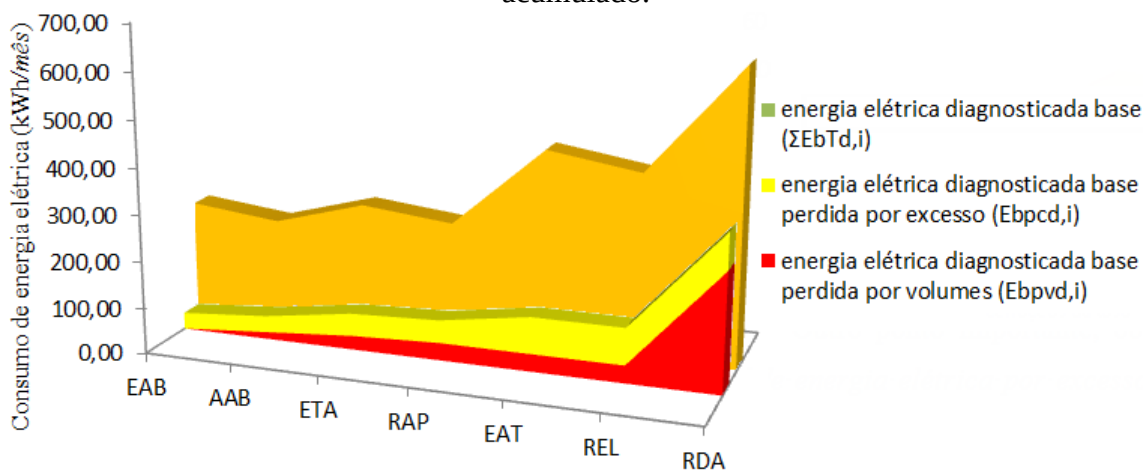
Como foi concebido no desenvolvimento da metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético, é perceptível que há, ao longo da sequência de unidades, diminuição dos volumes de água, que, no entanto, representam quantidades de energia consumidas cada vez maiores, por meio do acúmulo proposto, conforme observado na Tabela 26. Mesmo que as unidades iniciais da linha hidroenergética possuam pequenos valores de energia elétrica diagnosticada base perdida em relação a energia elétrica diagnosticada base perdida, o desempenho pode declinar acentuadamente se as unidades finais não forem eficientes, como é o caso do SAA-1, observado na Figura 74.

Tabela 26: etapa 4 – comparação quantitativa entre consumos de energia elétrica no SAA-1.

Unidades	Id.	Consumo de energia elétrica (kWh/mês)							
		SAA Diagnosticado				SAA Referência			
		$\Sigma EbT_{d,i}$	Parcelas			$\Sigma EbT_{s,i}$	Parcelas		
			$Ebimp_{d,i}$	$Ebpv_{d,i}$	$Ebpc_{d,i}$		$Ebimp_{s,i}$	$Ebpv_{s,i}$	$Ebpc_{s,i}$
EAB	1	195,00	0,00	0,00	36,17	52,00	0,00	0,00	0,00
AAB	2	195,00	0,00	15,00	0,00	52,00	0,00	0,00	0,00
ETA	3	236,00	0,00	15,00	13,24	58,00	0,00	0,00	0,00
RAP	4	236,00	0,00	8,00	0,00	58,00	0,00	0,00	0,00
EAT	5	386,00	0,00	0,00	30,00	108,00	0,00	0,00	0,00
REL	6	386,00	0,00	0,00	0,00	108,00	0,00	0,00	0,00
RDA	7	396,00	10,00	218,00	0,00	108,00	0,00	11,00	0,00

Nota: $EbT_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida), $Ebpv_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes), $Ebpc_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso), $Ebimp_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base importada), $EbT_{s,i}$ (energia elétrica simulada base perdida por volumes), $Ebpv_{s,i}$ (energia elétrica simulada base perdida por volumes), $Ebpc_{s,i}$ (energia elétrica simulada perdida por excesso), $Ebimp_{s,i}$ (energia elétrica simulada base importada),

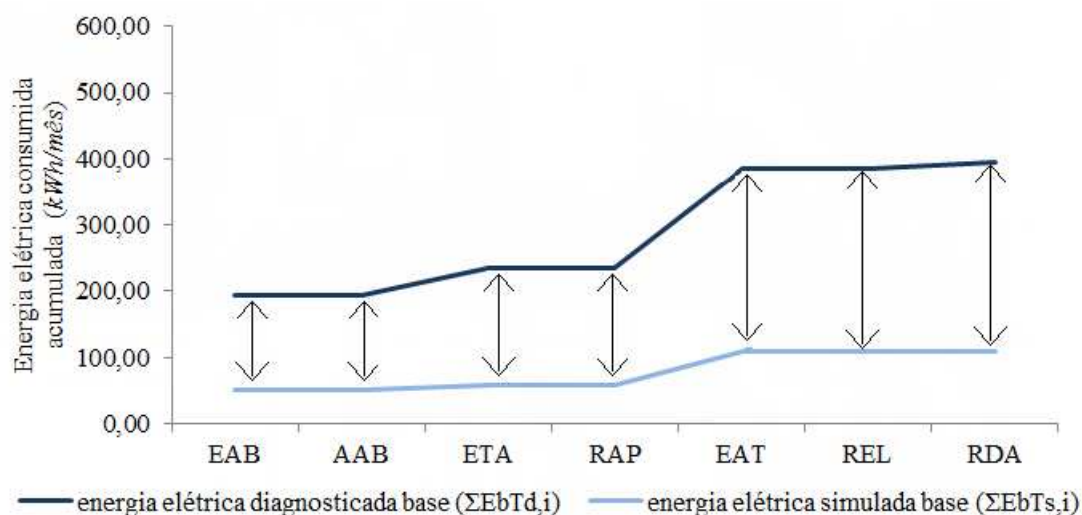
Figura 74: composição do consumo base de energia elétrica do SAA diagnosticado acumulado.



Outro ponto importante, observado na Figura 74, é que a energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes ($Ebpv_{d,i}$) pode ser bastante representativa, ao longo de toda a linha hidroenergética, em relação a energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso ($Ebpc_{d,i}$). No entanto, o que foi verificado nessa aplicação da metodologia sobre o SAA fictício não é regra, pois em unidades com elevado consumo de energia elétrica e com elevados volumes bombeados nas primeiras unidades pode ocorrer o inverso. No caso, a energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso ($Ebpc_{d,i}$) também pode ser bastante representativo, ao longo de toda a linha hidroenergética, em relação a energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes.

É imprescindível ressaltar que, como esperado no SAA diagnosticado, o acúmulo do consumo de energia elétrica é mais acelerado do que no SAA referência, logo, pode-se concluir que quanto mais longa for linha hidroenergética, maior será a tendência de distanciamento, representado pelas setas na Figura 75, entre os valores da energia elétrica diagnosticada base do SAA diagnosticado e os valores de energia elétrica simulada base do SAA referência.

Figura 75: distanciamento entre os consumos de energia elétrica acumulados no SAA diagnosticado e no SAA referência.



Vale ressaltar que é improvável a reaproximação entre as linhas, uma vez que o SAA diagnosticado sempre possuirá consumos superiores ou iguais aos consumos do SAA referência. Portanto, o fato que, ainda, pode ocorrer é das linhas seguirem paralelas e, nesse caso, é sinal de que naquelas unidades o desempenho pode ser considerado excelente.

A partir das Equações (49), (50) e (51), respectivamente, foi possível calcular a *energia elétrica diagnosticada base consumida perdida* para as unidades, para as etapas e para o SAA como um todo, cujos resultados são apresentados na Tabela 27. Pode ser verificada, novamente, a importância das unidades iniciais da *linha hidroenergética*, pois sua deficiência no consumo de energia elétrica eleva substancialmente as perdas na fase de obtenção de água bruta, pelo elevado volume de água bombeado nas mesmas.

Tabela 27: etapa 4 – perdas de energia elétrica no SAA-1.

Tabela 27: Etapa 1 - perdas de energia elétrica no SBT 1				
Avaliação	Id.	Local Eb_{pd} kWh/mês (%)	Etapas Eb_{pd} kWh/mês (%)	Global Eb_{pd} kWh/mês (%)
EAB	1	36,17 (18,57%)	51,25 (26,31%)	334,76 (84,54%)
AAB	2	15,08 (7,74%)		
ETA	3	28,11 (38,46%)	35,72 (15,14%)	
RAP	4	7,61 (3,23%)		
EAT	5	30,00 (20,00%)	247,79 (62,58%)	
REL	6	0,00 (0,00%)		
RDA	7	217,79 (55,00%)		

Nota: Eb_{pd} (energia elétrica diagnosticada base consumida perdida).

Para a classificação de desempenho, inicialmente optou-se por valores pequenos para perdas de energia elétrica das unidades (exceto RDA), etapas que não constam RDAs. Na etapa de distribuição e no sistema os valores são superiores, conforme observado na Tabela 28.

Tabela 28: classes de desempenho para perdas de energia elétrica para o SAA-1.

Avaliação		Excelente (até)	Bom (até)	Regula (até)	Ruim (até)	Muito ruim (maior que)
Local	RDA	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
	Outras unidades	1,00%	5,00%	10,00%	20,00%	20,00%
Etapas	Obtenção	1,00%	5,00%	10,00%	20,00%	20,00%
	Processamento	1,00%	5,00%	10,00%	20,00%	20,00%
	Distribuição	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%
Global	Todo o sistema	20,00%	30,00%	45,00%	60,00%	60,00%

Além disso, praticamente todas as unidades do SAA foram classificadas como *muito ruim*, com exceção dos dois reservatórios, bem como as unidades EAB e EAT, apesar de serem classificadas com excelente do ponto de vista hídrico, foram classificadas como muito ruim, o que demonstra a percepção sistêmica da metodologia desenvolvida, conforme Tabela 29.

Tabela 29: desempenho hidroenergético do SAA-1 (consumo de energia elétrica).

Avaliação	Id.	Local (DHe _i)	Etapla (DHe _e)	Global (DHe)
EAB	1	Muito ruim	Muito ruim	Muito ruim
AAB	2	Muito ruim		
ETA	3	Muito ruim	Muito ruim	
RAP	4	Muito ruim		
EAT	5	Muito ruim	Muito ruim	
REL	6	Excelente		
RDA	7	Ruim		

Iniciando a última etapa da metodologia desenvolvida, no caso, a etapa 5, foi utilizada a Equação (52) para o cálculo da *despesa diagnosticada total com energia elétrica* ($DT_{d,i}$) no SAA integrado. Para esse exemplo, além da despesa pelo consumo, não foi considerado qualquer outro tipo de despesas e impostos, conforme Tabela 30.

Tabela 30: etapa 5 – despesas com consumo de energia elétrica nas unidades do SAA-1 integrado.

Avaliação	Id.	Trf_{FPi} (\$/kWh)	Trf_{Pi} (\$/kWh)	$ET_{FPd,i}$ (kWh/mês)	$ET_{Pd,i}$ (kWh/mês)	$DT_{FPd,i}$ (\$/mês)	$DT_{Pd,i}$ (\$/mês)	$DT_{d,i}$ (\$/mês)
EAB	1	0,14	0,30	263,00	40,00	36,82	12,00	48,82
AAB	2	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA	3	0,14	0,30	58,00	8,00	8,12	2,40	10,52
RAP	4	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAT	5	0,14	0,30	130,00	20,00	18,20	6,00	24,20
REL	6	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RDA	7	–	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Trf_{FPi} (tarifa de energia elétrica para horário fora de ponta), Trf_{Pi} (tarifa de energia elétrica para horário de ponta), $ET_{FPd,i}$ (energia elétrica diagnosticada total consumida no horário fora de ponta), $ET_{Pd,i}$ (energia elétrica diagnosticada total consumida no horário de ponta), $DT_{FPd,i}$ (despesa diagnosticada total com energia elétrica no horário fora de ponta), $DT_{Pd,i}$ (despesa diagnosticada total com energia elétrica no horário de ponta) e $DT_{d,i}$ (despesa diagnosticada total com energia elétrica).

Na sequência, utilizando a Equação (53) foi possível aplicar o *coeficiente de proporcionalidade diagnosticado* ($\alpha_{d,i}$) sobre o valor *despesa diagnosticada total com energia elétrica* ($DT_{d,i}$) no SAA, obtendo, no caso, a *despesa diagnosticada base total com energia elétrica* ($DbT_{d,i}$), cujos resultados são observados na Tabela 31.

Tabela 31: etapa 5 – despesas para consumo base de energia elétrica nas unidades do SAA-1.

Avaliação	Id.	$DT_{d,i}$ (\$/mês)	$\alpha_{d,i}$ (%)	$DbT_{d,i}$ (\$/mês)
EAB	1	48,82	0,00	31,39
AAB	2	0,00	7,74	0,00
ETA	3	10,52	6,30	6,56
RAP	4	0,00	3,23	0,00
EAT	5	24,20	0,00	24,20
REL	6	0,00	0,00	0,00
RDA	7	0,00	55,00	0,00

Nota: $DT_{d,i}$ (despesa diagnosticada total com energia elétrica), α_i (coeficiente de proporcionalidade) e $DbT_{d,i}$ (despesa diagnosticada base total com energia elétrica).

Utilizando a Equação (54), é calculado o *impacto financeiro por perdas de volumes* ($IFbv_i$), valendo ressaltar que é necessário utilizar, nesse caso, a *despesa diagnosticada base total com energia elétrica* ($DbT_{d,i}$) acumulada e os valores percentuais das perdas de água, conforme a Tabela 32.

Tabela 32: etapa 5 – impactos financeiros pelas quantidades de energia elétrica consumida por volumes de água perdidos no SAA-1.

Avaliação	Id.	$DbT_{d,i}$ (\$/mês)	$\Sigma DbT_{d,i}$ (\$/mês) _i	$\frac{Vb_{p,d,i}}{VbT_{d,i}}$ (%)	$IFbv_i$ (\$/mês)
EAB	1	31,39	31,39	0,00%	0,00
AAB	2	0,00	31,39	7,74%	2,43
ETA	3	6,56	37,95	6,30%	2,39
RAP	4	0,00	37,95	3,23%	1,22
EAT	5	24,20	62,15	0,00%	0,00
REL	6	0,00	62,15	0,00%	0,00
RDA	7	0,00	62,15	55,00%	34,18

Nota: $DbT_{d,i}$ (despesa diagnosticada base total com energia elétrica), $Vb_{p,d,i}$, (volume diagnosticado base perdido de água) e $VbT_{d,i}$ (volume diagnosticado base total de água) e $IFbv_i$ (*impacto financeiro por perdas de volumes*).

Na sequência, é calculado, por meio da Equação (55), o *impacto financeiro por consumo excessivo* ($IFbc_i$) e nesse caso é utilizada a *despesa base total com energia elétrica* ($DbT_{d,i}$), porém com os valores locais, conforme a Tabela 33.

Tabela 33: etapa 5 – impactos financeiros pelas quantidades consumidas de energia elétrica em excesso por volumes de água não perdidos no SAA-1.

Avaliação	Id.	$DbT_{d,i}$ (m ³ /mês)	$\frac{Ebpc_{d,i}}{EbT_{d,i}}$ (%)	$IFbc_i$ (\$/mês)
EAB	1	31,39	-18,57%	5,83
AAB	2	0,00	0,00%	0,00
ETA	3	6,56	-32,16%	2,11
RAP	4	0,00	0,00%	0,00
EAT	5	24,20	-20,00%	4,84
REL	6	0,00	0,00%	0,00
RDA	7	0,00	0,00%	0,00

Nota: $DbT_{d,i}$ (despesa diagnosticada base total com energia elétrica), $Ebpc_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base perdida por excesso), $EbT_{d,i}$ (energia elétrica diagnosticada base total consumida) e $IFbc_i$ (impacto financeiro base por consumo excessivo).

Finalmente, utilizando a Equação (56), é possível calcular o *impacto financeiro total por perdas hidroenergéticas*, que é apresentado na Tabela 34, juntamente com o *impacto financeiro total por perdas hidroenergéticas* acumulado e o valor global do impacto financeiro em percentual.

Tabela 34: impacto financeiro das perdas hidroenergéticas no SAA- 1.

Avaliação	Id.	$IFbv_i$ (\$/mês)	$IFbc_i$ (\$/mês) _i	$IFbt_i$ (\$/mês)	$\sum IFbt_i$ (\$/mês)	IFb_i (%)
EAB	1	0,00	-5,83	-5,83	-5,83	-18,57%
AAB	2	-2,43	0,00	-2,43	-8,26	-26,31%
ETA	3	-2,39	-2,11	-4,50	-12,76	-33,62%
RAP	4	-1,22	0,00	-1,22	-13,98	-36,84%
EAT	5	0,00	-4,84	-4,84	-18,82	-30,29%
REL	6	0,00	0,00	0,00	-18,82	-30,29%
RDA	7	-34,18	0,00	-34,18	-53,01	-85,29%

Nota: $IFbc_i$ (impacto financeiro base por consumo excessivo), $IFbv_i$ (impacto financeiro por perdas de volumes), $IFbt_i$ (impacto financeiro base total) e IFb_i (impacto financeiro base total acumulado).

Por fim, outro ponto importante ressaltado é que todos os valores apresentados para o SAA-1 real devem ser colocados para comparação com os valores do SAA-1 referência, pois dessa forma fica visível o distanciamento entre ambos. A referida comparação possibilita, então, a tomada de decisão referente a ações corretivas de curto, de médio e de longo prazo para melhoria do desempenho hidroenergético do SAA no âmbito sistêmico. As melhorias tornam o SAA mais sustentável do ponto de vista, social (melhoria na qualidade do serviço prestado), ambiental (diminuição dos impactos negativos diretos ou indiretos da cadeia de produção, processamento e distribuição de água sobre meio ambiente) e econômico (redução das despesas e potencialização de lucros).

4.1.3 Implementação da metodologia de avaliação de desempenho hidroenergético em software

A princípio, a ideia era apenas desenvolver metodologia para cálculo de perdas de água e de energia elétrica, bem como para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA. Todavia, o eminente receio de que esses avanços fossem considerados pelo setor do saneamento como ferramenta apenas teórica e, dessa forma, não resultasse em soluções práticas com ampla utilização. Sendo assim, criou-se ferramenta computacional que traduzisse a mencionada metodologia em simplicidade, agilidade e confiabilidade.

Para orientar a criação do software foi utilizada *Extreme Programming* que é uma metodologia de desenvolvimento de projetos de software conhecida como metodologia ágil, fato que reduziu o processo de refatoração referentes a requisitos relacionados à interface e à usabilidade.

No processo de desenvolvimento foram identificados muitos requisitos para o software, dos quais uma parcela foi considerada imprescindível e outra foi descartada por não resultar em soluções efetivas diante das necessidades dos usuários. Nesse sentido, diferentemente do que ocorre nas empresas de projeto de software, não foi necessário consolidar relatório de especificação de requisitos, sendo os mesmos apresentados ao longo do texto.

O objetivo do software é realizar avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, de forma fácil e com capacidade de gerar conjunto de informações sintetizadas em relatórios quantitativos e qualitativos para orientar a tomada de decisão de analistas operacionais, táticos e estratégicos do setor de saneamento. Para isso, a criação de ambiente computacional amigável foi premissa importante verificada no processo de desenvolvimento, principalmente, para proporcionar a rápida adaptação e fácil utilização da ferramenta por qualquer profissional do setor de saneamento.

O produto final é um software com capacidade de sobrepujar-se a problemas como quadro limitado de pessoal capacitado para realizar cálculos de perdas hidroenergéticas e avaliação de desempenho hidroenergético. Essas importantes atividades têm sido preteridas em detrimento de atividades operacionais, principalmente, ligadas à manutenção de infraestrutura.

Nesse sentido, levando em consideração a ampla utilização do pacote MS *Office*, o software foi desenvolvido em planilha de *Excel* e customizado com uso do *Visual Basic for Applications*. Foi necessária a criação de comandos personalizados por meio de botões, lista de itens e caixas de marcação para boa navegabilidade no ambiente computacional. O desenvolvimento do software no ambiente do *Excel* proporcionou, ainda, aproveitar a tecnologia *touch screen* de monitores, que combinada à ferramenta de *zoom* resultou em interface flexível e, portanto, humanizada com resoluções adaptáveis ao gosto do usuário.

Logo, surgiu a primeira restrição do software desenvolvido, pois o mesmo só poderá ser utilizado em máquinas onde o pacote *Office* foi previamente instalado e na versão *Excel* 2010 ou superior para confiabilidade de desempenho das funções criadas. Além disso, é importante ressaltar as configurações mínimas de máquinas para utilização do software que, no caso, são as mesmas informadas para a instalação do pacote Office 2010, no caso, processador de 500 MHz, 256 MB de memória RAM, 3.0 GB de espaço disponível em disco rígido, monitor com resolução de 1024x768. No entanto, é importante verificar essa orientação para versões mais recentes.

Na versão *beta* do software, a ausência de banco de dados específico foi suprimida pela potencialidade do uso das nuvens de dados *on line* que possibilitam armazenar qualquer informação necessária para software ou informação gerada pelo mesmo. Dessa forma, ficou claro ao longo do desenvolvimento que existiria dependência de conexão à internet para acesso a arquivos de banco de dados de diagnóstico de SAA e de simulação de SAA necessários para a metodologia.

Além disso, foi identificada necessidade de divisão do software desenvolvido em três ambientes distintos, separando as funções relacionadas à sistematização de dados brutos das funções relacionadas à avaliação do SAA propriamente dita:

- *Módulo de arquivos*: responsável por criar, por meio de comando do usuário, cópia em branco de arquivos para sistematização de dados brutos e por criar cópias em branco de arquivos para avaliação;

- *Módulo de sistematização*: responsável por sistematizar dados brutos de volumes de água e de consumo de energia elétrica, aplicando técnicas de estatística descritiva básica e de controle estatístico de processo, resultando em único valor de interesse de volumes de água ou de consumo de energia elétrica de única unidade de SAA (Manual no ANEXO B);

- *Módulo de avaliação*: responsável pela realização de todas as ações definidas na metodologia para avaliação simultânea de desempenho hidroenergético das unidades, das etapas e dos sistemas, limitando-se à capacidade de cadastro de unidades do mesmo (Manual no ANEXO C).

O módulo de avaliação foi concebido com capacidade de receber cadastro de até 500 unidades de SAA, ou seja, nele pode conter dados, por exemplo, de até 50 sistemas com 10 unidades cada ou 100 sistemas com 10 unidades cada, obedecendo sempre à regra de linhas de volumes de água e consumos de energia elétrica estabelecida na metodologia proposta (*linha hidroenergética*).

Foi possível desenvolver funcionalidade no módulo de avaliação para cadastrar dados de volumes de água e de consumo de energia elétrica por meio da importação direta desses valores a partir dos arquivos dos módulos de sistematização. Além disso, foi programada no módulo de avaliação a exibição de janelas informativas e de janelas de alertas a cada ação importante ao longo do uso do software desenvolvido.

Em relação transferência e arquivamento de resultados, foi desenvolvida no módulo de sistematização funcionalidade que permite a exportação de gráficos de comportamento de séries temporais com estatísticas descritivas básicas, exportação de cartas de controle para volumes de água e para consumos de energia elétrica, bem como criação de relatório de sistematização.

Um dos pontos chaves na concepção do módulo de avaliação foi programar funcionalidade que permite classificação dos desempenhos hidroenergéticos por meio de cores apresentados em formato *dashboard*, facilitando, então, a identificação visual de resultados de unidades, de etapas e de sistemas que requerem imediata atenção por performances aquém do esperado.

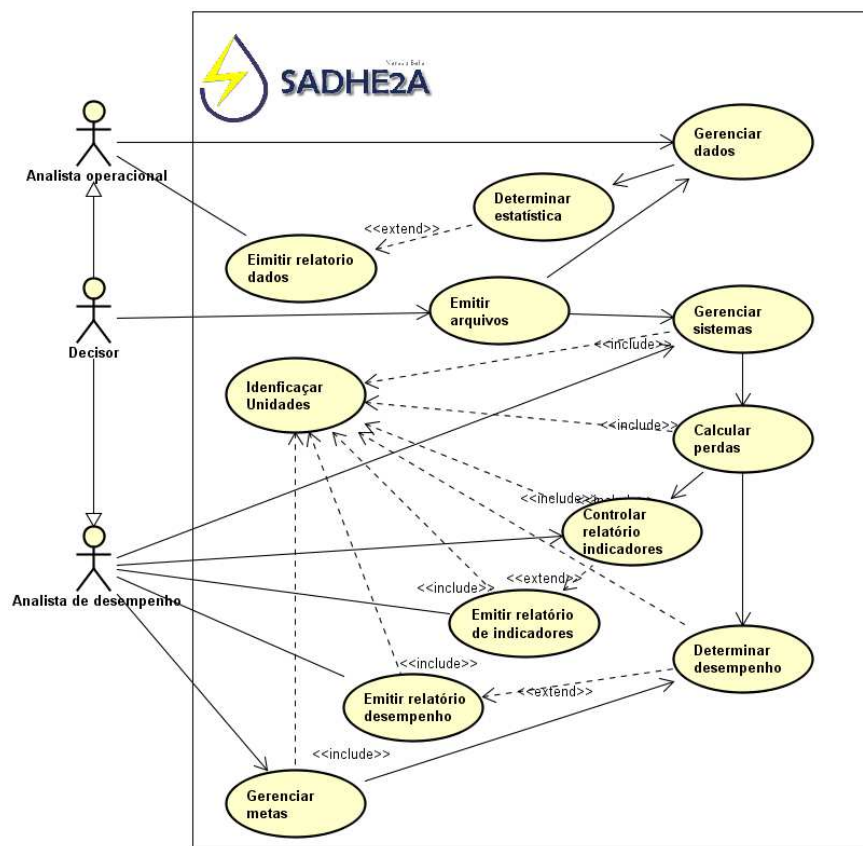
Além disso, funcionalidades que permitem a exportação de gráficos de volumes de água, de consumos de energia elétrica, bem como de indicadores hidroenergéticos, além de relatório tipo *dashboard* com valores de perdas de água, perdas de consumo de energia elétrica bem como avaliação de desempenho hidroenergético de todas as unidades, etapas e sistemas cadastrados foi desenvolvido para o módulo de avaliação.

Foram criados para os módulos de sistematização e de avaliação campos específicos para cadastro de informações de identificação dos usuários que têm responsabilidade técnica pelos relatórios gerados, as quais devem constar em qualquer relatório expresso pelo programa.

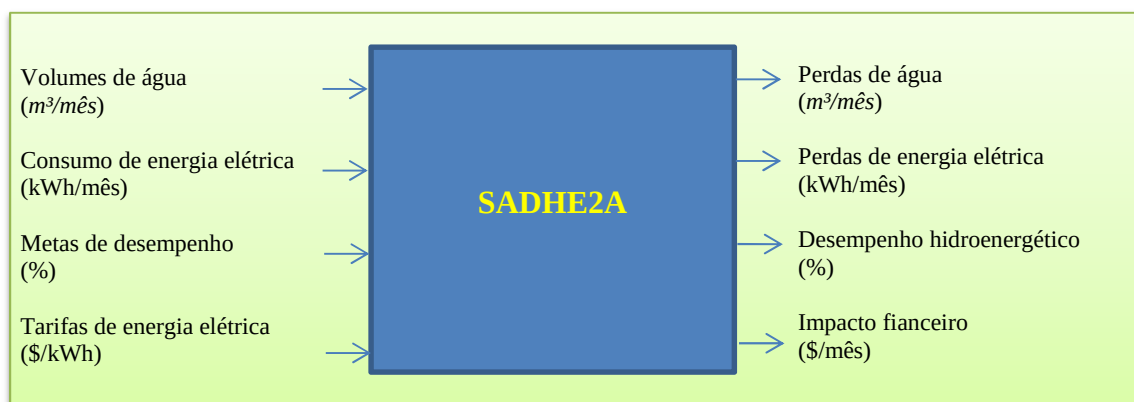
Por fim, visando consolidar o software desenvolvido, o qual implementa a metodologia desenvolvida, foi imperioso definir uma identidade ao mesmo e, dessa forma, foi batizado como **SADHE2A**, pronunciado “sádi 2 A”, que é a abreviação de “Sistema para Avaliação de Desempenho Hidroenergético de Abastecimento de Água”.

As funcionalidades, consolidadas ao longo do desenvolvimento do **SADHE2A v. Beta**, são apresentadas no diagrama de caso de uso, feito com a ferramenta *Astah Community 7.0.0* e é observado na Figura 76a, onde existem três principais atores: *decisor*, *analista operacional* e *analista de desempenho*. Na Figura 76b é apresentado o fluxo de dados.

Figura 76: diagrama de casos de uso para **SADHE2A v. Beta** e fluxo de dados.
a)



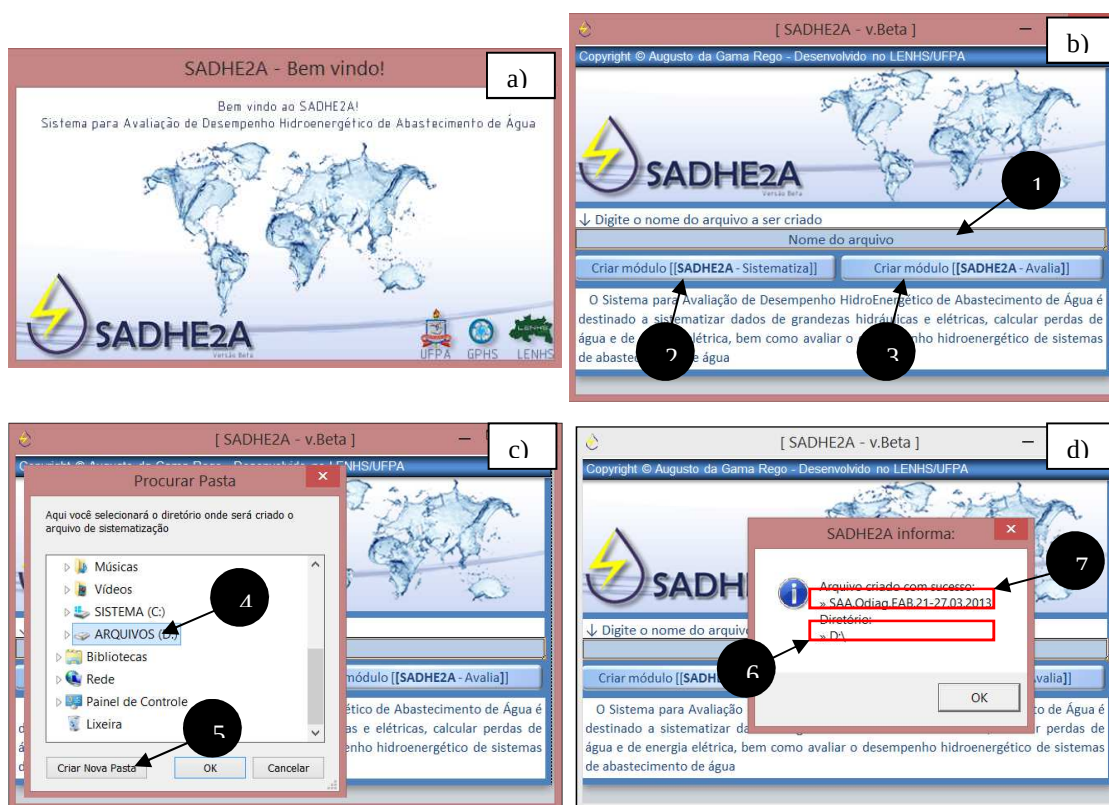
b)



4.1.3.1. Módulo de Arquivos do SADHE2A

Na primeira utilização do **SADHE2A v. Beta**, uma janela de boas vindas, observada na Figura 77a, é apresentada por 7 segundos com o nome e logotipo do software. Depois disso, é apresentado módulo de arquivos, observado na Figura 77b, cuja interface possui campo indicado por “1” para digitação de sequência alfanumérica que dará nome ao arquivo a ser criado. A solicitação da criação do módulo de sistematização é feita apertando o botão identificado por “2” e a do módulo de avaliação apertando o botão indicado por “3”. Feita a solicitação de criação, surge janela para identificação de diretório, observada na Figura 77c, na qual é possível selecionar pasta em lista indicada por “4” ou criar nova pasta no botão indicado por “5”. Depois de confirmada criação do arquivo, surge janela com seu diretório e nome, indicados respectivamente por “6” e “7” na Figura 77d.

Figura 77: a) tela de boas vindas do **SADHE2A v. Beta**; b) criação de arquivos; c) diretório de arquivos; d) mensagem de confirmação de arquivos criados.



4.1.3.2. Módulo de sistematização do SADHE2A

Ao abrir o módulo de sistematização, batizado como **SADHE2A - sistematiza**, é apresentada interface de acordo com a Figura 78, a qual foi dividida em quatro áreas, cada uma com botão específico para mostra-la e ocultá-la, indicados por “1”, no caso: “cabeçalho”, “área de gráfico”, “estatística básica” e “dados hidroenergéticos”, conforme é apresentada na Figura 79.

Figura 78: **SADHE2A – sistematiza** – interface e botões para controles de acesso.



Figura 79: **SADHE2A – sistematiza** – visão geral.



4.1.3.3. Módulo de sistematização do SADHE2A

Ao abrir o módulo de avaliação, batizado como **SADHE2A - avalia**, é apresentada a interface de acordo com a Figura 80, a qual apresenta texto de informação sobre o programa, indicado por “1”, e o botão para iniciar o programa, indicado por “2”.

Figura 80: **SADHE2A – avalia** – Interface da tela de boas vindas.



Após apertar o botão iniciar, a interface principal do **SADHE2A – avalia** é apresentada, a qual contém barra de ferramentas, indicada por “1”, e área de trabalho e visualização de resultados, indicada por “2”.

Figura 81: **SADHE2A – avalia** – Tela de cadastro do usuário.

Período de avaliação ↓		Período de referência para avaliação ↓	
01/06/2015	30/06/2015	01/10/2014	31/10/2014
Início (dd/mm/aaaa)	Final (dd/mm/aaaa)	Início (dd/mm/aaaa)	Final (dd/mm/aaaa)

Avançando telas no **SADHE2A – avalia** que serão mostradas no Anexo C da Tese (nas quais são cadastrados os dados necessários) são apresentados resultados das perdas de água para cada unidade, para cada etapa e para cada SAA cadastrado, nas medidas $m^3/mês$ (área indicada por “1”) e % (área indicada por “2”), conforme Figura 82. A avaliação propriamente dita é apresentada em *Dashboard* na área indicada por “3”, obedecendo a código de cores e classes estipuladas na tela anterior. Vale observar que o botão para impressão de relatório está ativado nessa tela em específico, conforme indicação “4”, ou seja, é possível imprimir o relatório do desempenho hidroenergético dos sistemas cadastrados, o que é feito por meio da janela de configuração de impressão verificada na Figura 82.

Figura 82: **SADHE2A – avalia** – *Dashboard* com avaliação do desempenho hidroenergético para volumes de água para o SAA-1.

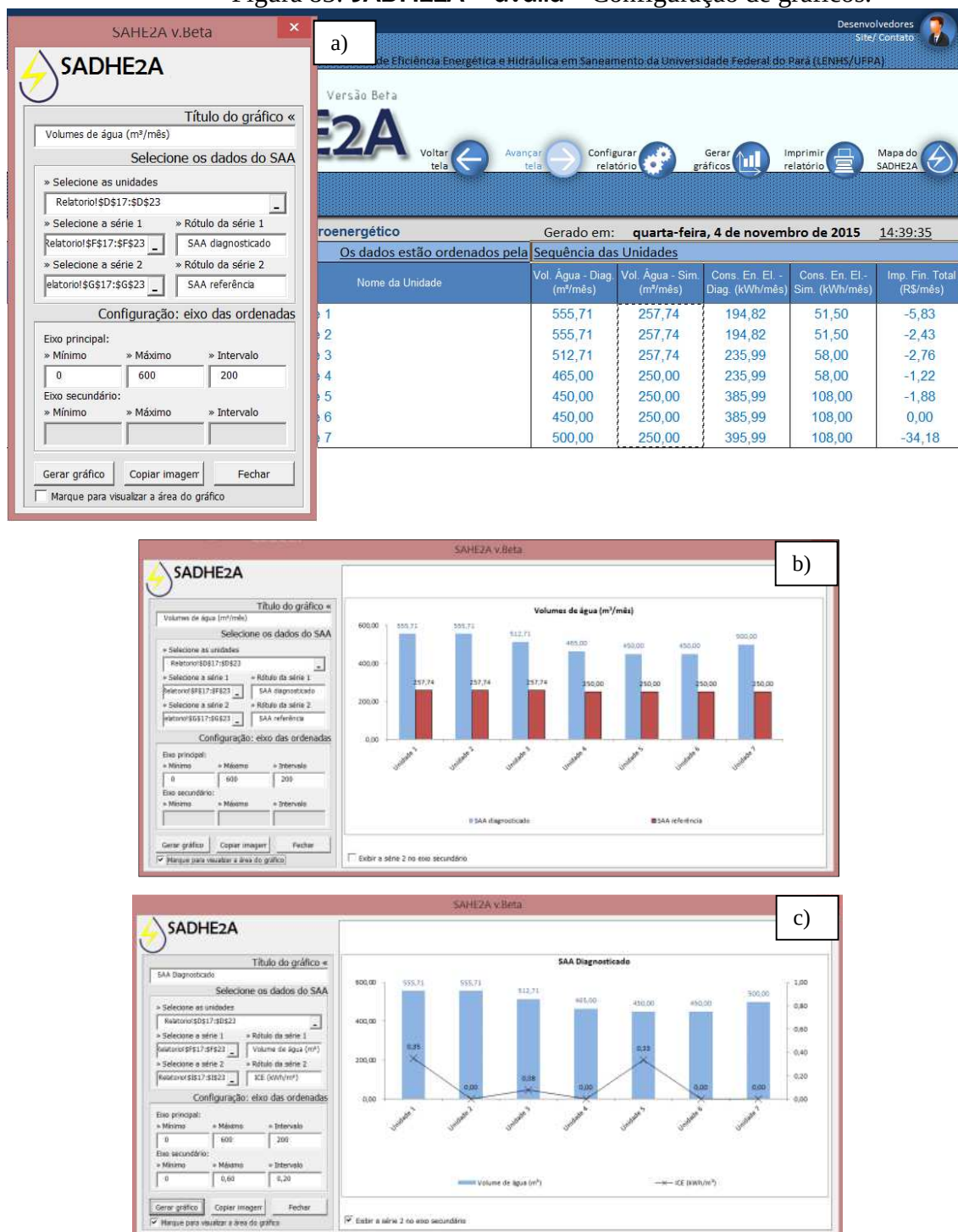


Da mesma forma ocorre com os valores de consumos de energia elétrica tanto do SAA diagnosticado quanto do SAA referência. No caso, ao longo das telas do **SADHE2A – avalia** serão inseridos os dados necessários e no final serão apresentados os valores calculados de perdas de energia elétrica nas unidades, nas etapas e no SAA como um todo. Além disso, também é apresentado *dashboard* com classificação das perdas de energia elétrica no SAA avaliado.

Por fim, em tela específica de relatórios, ao apertar o botão “gerar gráfico” surge janela na qual são configuradas as opções dos gráficos resultantes da avaliação de desempenho hidroenergético de cada SAA (Figura 83a) que poderão ser gerados e exportados da mesma forma que os gráficos do módulo **SADHE2A – sistematiza**.

Dentre as opções de gráficos é possível destacar a funcionalidade de especificar gráficos com duas variáveis no mesmo eixo (Figura 83b) ou em dois eixos distintos (Figura 83c), o que facilita a visualização de informações com grandezas muito distantes.

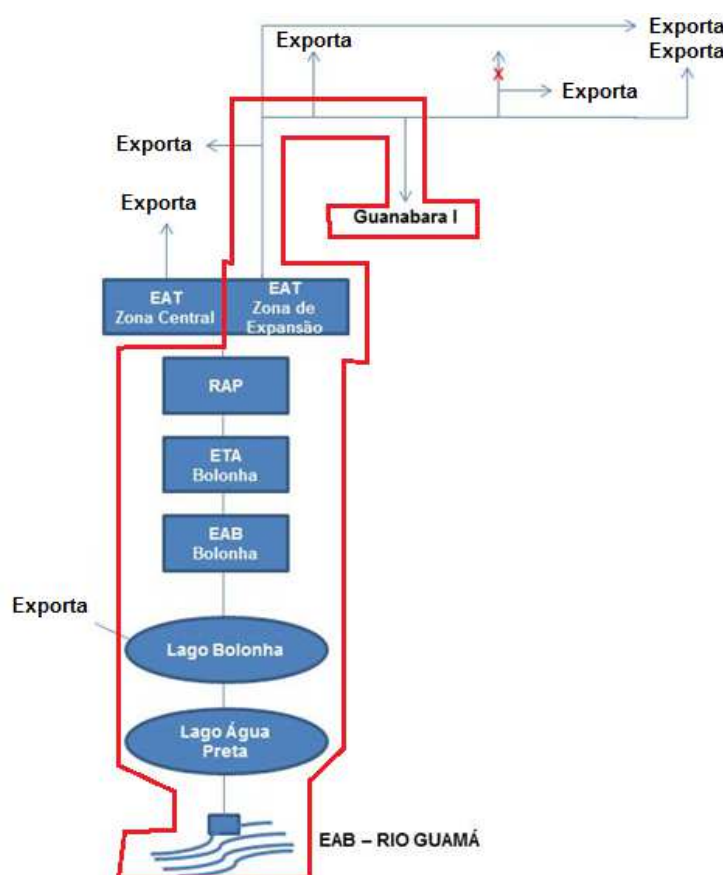
Figura 83: SADHE2A – avalia – Configuração de gráficos.



4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA GUANABARA

O sistema a ser utilizado para a aplicação da metodologia desenvolvida, como mencionado na seção 3.2.1, será o SAA Guamá/Bolonha/ZE/Guanabara ou, simplesmente, SAA Guanabara, do qual é apresentada a *linha hidroenergética* na Figura 84. Vale ressaltar que qualquer outra saída de volumes de água para setores que não seja para o mencionado será considerada exportação.

Figura 84: distribuição da água captada no Rio Guamá.

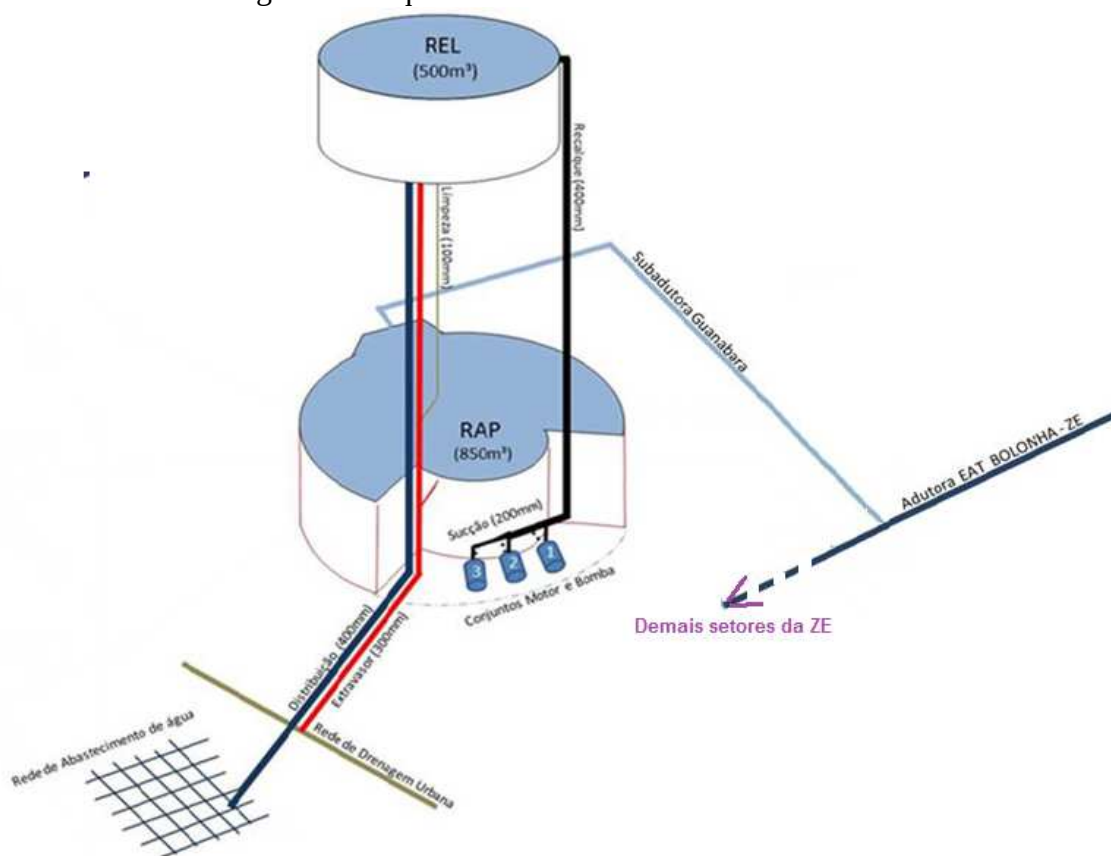


O setor de distribuição Guanabara, cujo projeto executivo data de 1996, possui população atendida para final de plano de 27.250 habitantes, com demanda calculada de 4.087,50 m^3/dia , com vazão máxima diária de 56,77 l/s (204.37 m^3/h) e vazão máxima horária de 85,16 l/s (306,57 m^3/h) (horizonte de projeto de 20 anos, ou

seja, até 2016). Dentre os parâmetros utilizados no projeto executivo estão: consumo *per capita* de 150 l/hab.dia, coeficiente de variação da demanda no dia de maior consumo (K_1) igual a 1,2 e o coeficiente de variação da demanda na hora de maior consumo (K_2) igual a 1,2 (PARÁ, 1998).

As unidades que compõe o setor Guanabara, apresentado na Figura 85, são: subadutora de ferro fundido dúctil 300 mm com 1.188 m de comprimento que é conectada à adutora; EAT Bolonha ZE – Cidade Nova; reservatório apoiado (RAP) de 850 m³ de volume; EAT Guanabara, com três conjuntos motor bomba, em sistema de operação 2+1; reservatório elevado (REL) com 500 m³ de volume; e rede de distribuição de água.

Figura 85: esquema ilustrativo do setor Guanabara.



a) Subadutora Guanabara

A subadutora de ferro fundido dúctil de 300 mm de diâmetro, 1.188 m de extensão está conectada na adutora da EAT Bolonha/ZC, tendo registro de derivação instalado para realização de medições de vazão, observado na Fotografia 1, e registro de manobra manual para controlar a vazão afluyente ao reservatório apoiado observado na Fotografia 2.

Fotografia 1: subadutora Guanabara.



Fotografia 2: registro da subadutora.



b) Reservatório Apoiado (RAP)

O reservatório apoiado de concreto armado, observado na Fotografia 3, tem formato circular com 850 m³ de volume útil, altura total de 4,3 metros, altura útil de projeto de 3,8 metros e tubulação para extravasar o volume excedente instalada no nível máximo de água. Volume de entrada é controlado por manobra de registro na saída da subadutora, observada na Fotografia 4. As cotas do reservatório apoiado são observadas na Figura 86 e são relacionadas na Tabela 35.

Fotografia 3: reservatório apoiado.



Fotografia 4: registro da subadutora.



Figura 86: esquema do Reservatório Apoiado.

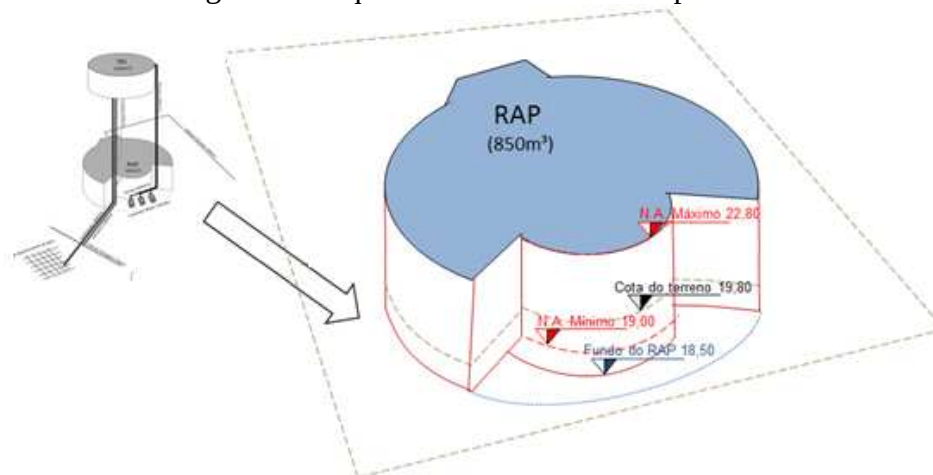


Tabela 35: cotas do Reservatório Apoiado.

Local	Cota (m)
Nível de Extravasamento	22,80
Nível máximo de água	22,80
Terreno	19,80
Nível mínimo de água	19,00
Fundo do RAP	18,50

Fonte: Pará, 1998.

c) Estação Elevatória de Água Tratada (EAT)

A EAT do setor Guanabara utiliza três conjuntos motor e bomba, observado na Fotografia 5, alimentados com energia do Centro de Comando de Motores (CCM), indicado na Fotografia 6, para recalcar água do reservatório apoiado para o reservatório elevado.

Fotografia 5: CMBs e barrilete.

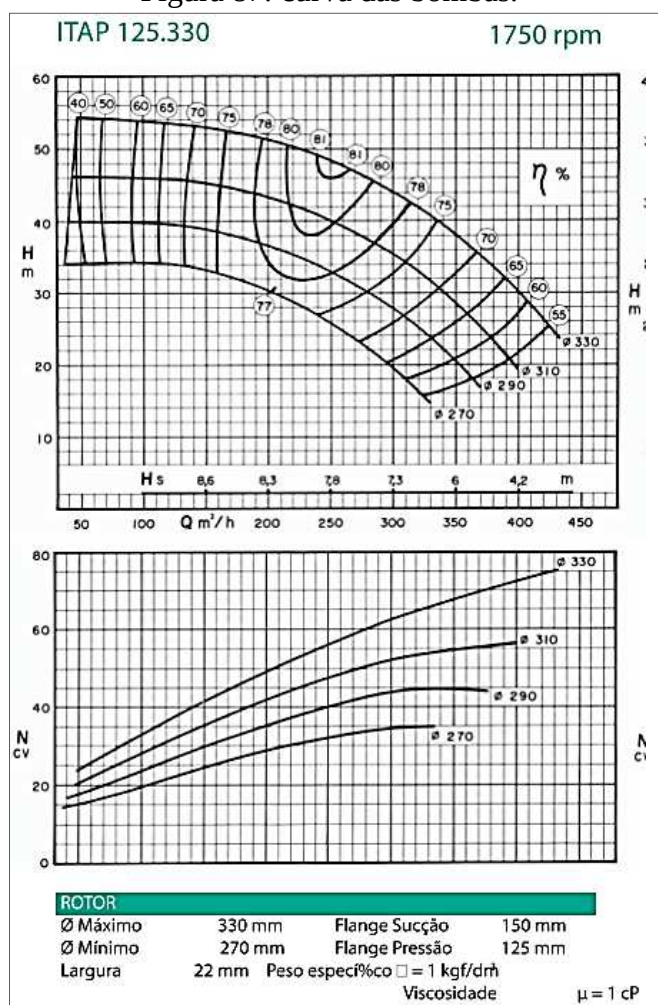


Fotografia 6: CCM ao fundo.



Os motores dos CMBs são de todos de indução trifásicos da WEG, com 60 cv de potência, com rotação a 1.775 RPM, com tensões nominais de operação de 220/440 V e com correntes nominais de operação de 14,8/8,6 A. As bombas são da marca IMBIL, o modelo é ITAP e a família é 125-330 1.750 rpm, observado na Figura 87. As placas de identificação são mostradas na Fotografia 7, Fotografia 8 e Fotografia 9 e as informações relacionadas na Tabela 36.

Figura 87: curva das bombas.



Fotografia 7: placa de motor (CMB1).



Fotografia 8: placa de motor (CMB2).



Fotografia 9: placa de motor (CMB3).



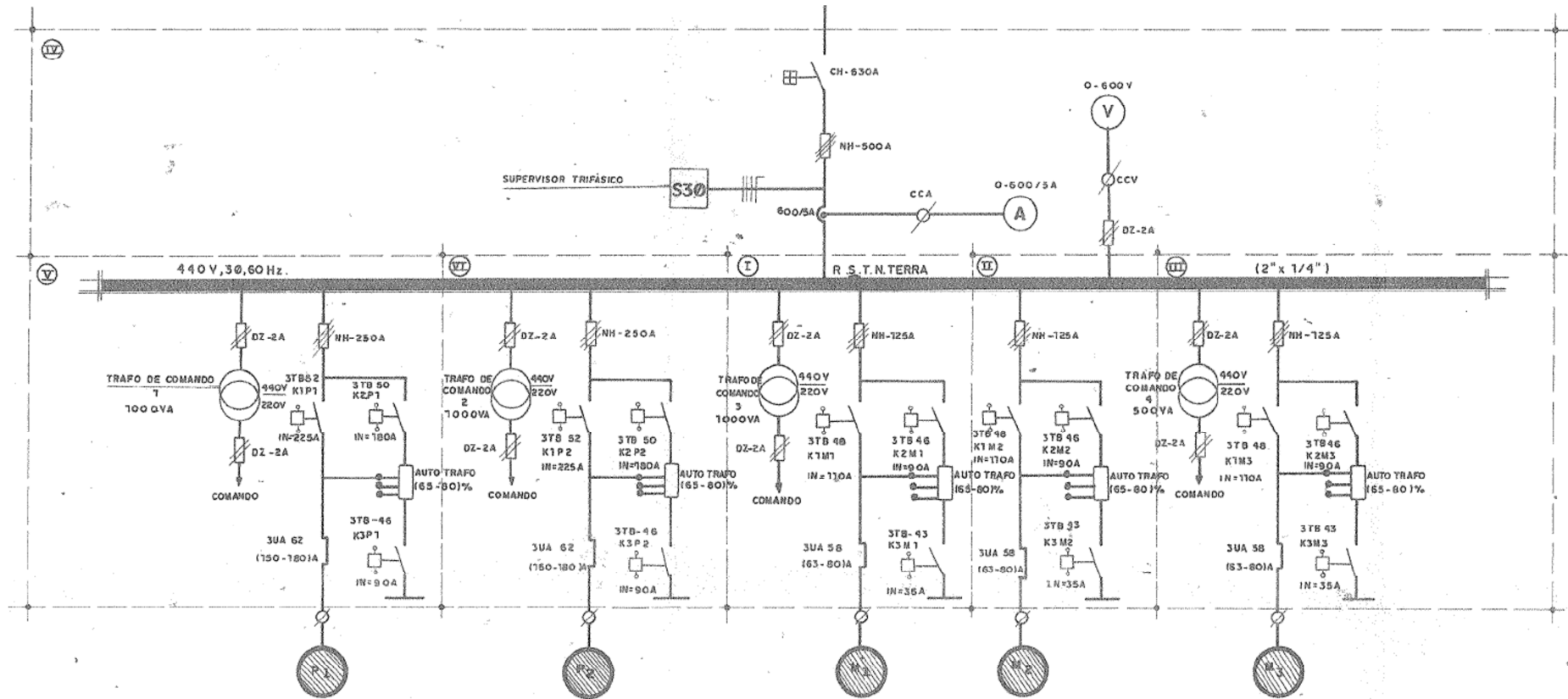
Tabela 36: dados das placas de identificação dos motores elétricos.

Dados	Motor 1	Motor 2	Motor 3
Potência (CV)	60	60	60
Tensão nominal (V)	440	440	440
Corrente Nominal (A)	72	70	74
Fator de Serviço	1,0	1,0	1,0
Velocidade Nominal (RPM)	1.780	1.775	1.775

As instalações elétricas da EAT Guanabara são alimentadas por média tensão (13.8 kV), sendo rebaixada dentro do setor para baixa tensão nos níveis de 440/254V e 220/127V, sendo que 440/254V é o nível de tensão de alimentação dos CMBs.

O esquema de ligação dos três CMB da EAT do setor Guanabara pode ser observado pelo diagrama unifilar mostrado na Figura 88, no caso, os arranjos da alimentação do CBM1, CBM2 e CBM3 são indicados por I, II e III no barramento de 440V e é executado em painéis blindados cujo conjunto é chamado de centro de controle de motores (CCM).

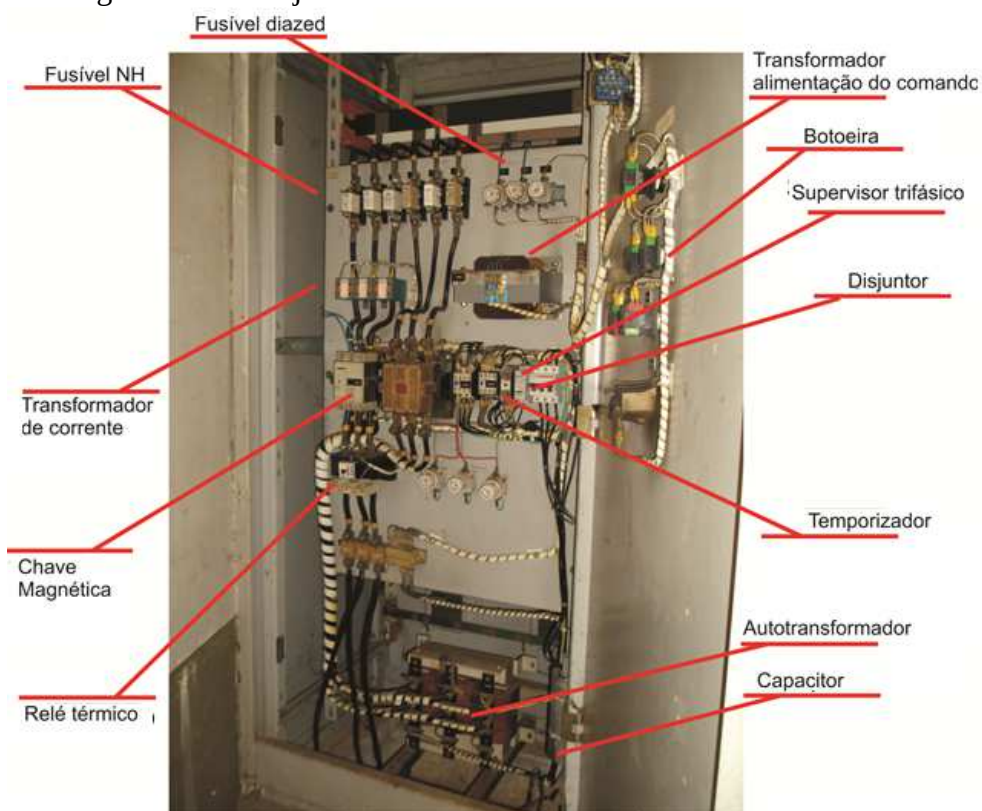
Figura 88: diagrama Unifilar do CCM.



Fonte: Pará, 1998.

A Fotografia 10 apresenta o arranjo físico existente no período da pesquisa em um dos painéis do CCM para acionamento de um dos motores dos CMB, o qual é o mesmo para todos os outros da EAT. O CCM que comanda os motores possui painéis frontais com indicação da corrente elétrica, através de amperímetros de ponteiro, em cada uma das fases de cada um dos motores elétricos (Fotografia 11).

Fotografia 10: arranjo físico do acionamento de motor elétrico de CMB.



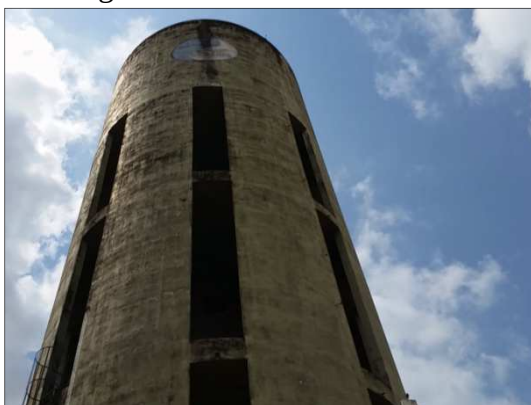
Fotografia 11: painel frontal do CCM do comando dos CMB 1, 2 e 3, indicados por B1, B2 e B3.



d) Reservatório Elevado (REL)

O reservatório elevado de concreto armado é circular, conforme observado na Fotografia 12, de capacidade de 500 m³, altura útil de 7,0 metros e com tubulação de 300 mm para extravasar o volume excedente instalada no nível máximo de água. A tubulação de saída do REL é de FoFo 400 mm de diâmetro, com registro instalado no mesmo compartimento dos CMB, observado na Fotografia 13. As cotas do reservatório elevado são observadas na Figura 89 e estão relacionadas na Tabela 37.

Fotografia 12: reservatório elevado.



Fotografia 13: registro de controle.



Figura 89: esquema do reservatório elevado do Setor Guanabara.

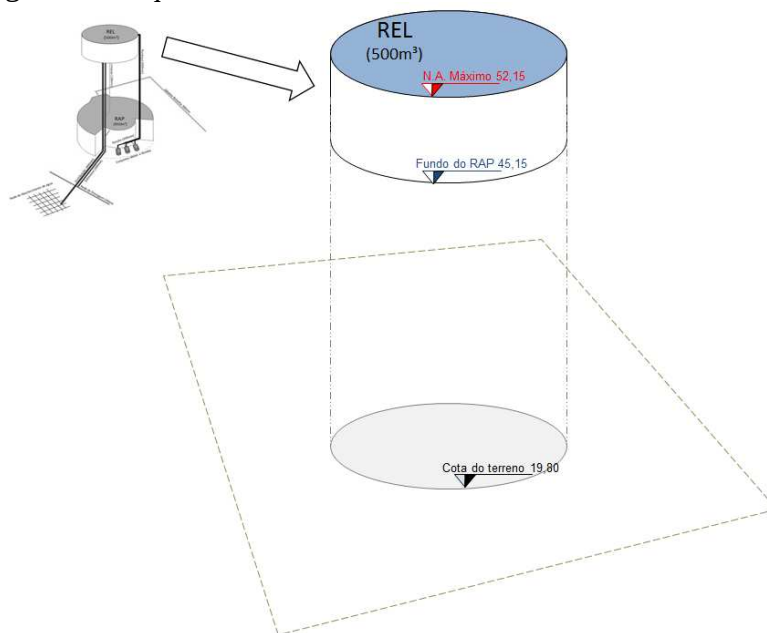


Tabela 37: cotas do Reservatório Elevado.

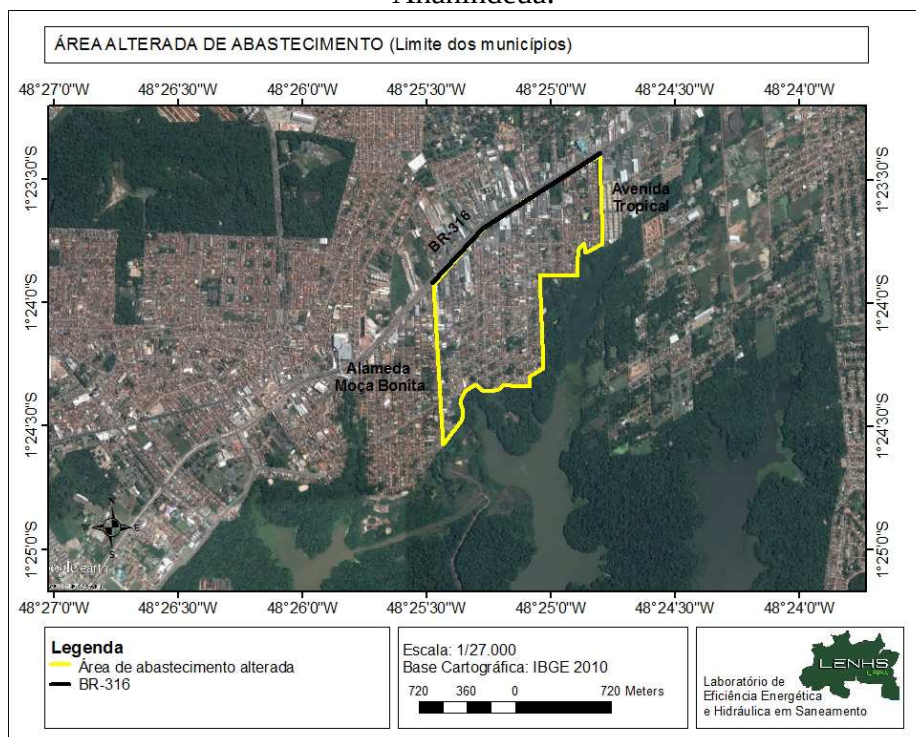
Local	Cota
Nível de Extravasamento	52,15
Nível máximo de água	52,15
Nível mínimo de água	45,15
Fundo do RE	45,15
Terreno	19,80

Fonte: Pará, 1998.

e) Rede de Distribuição de Água Potável (RDA)

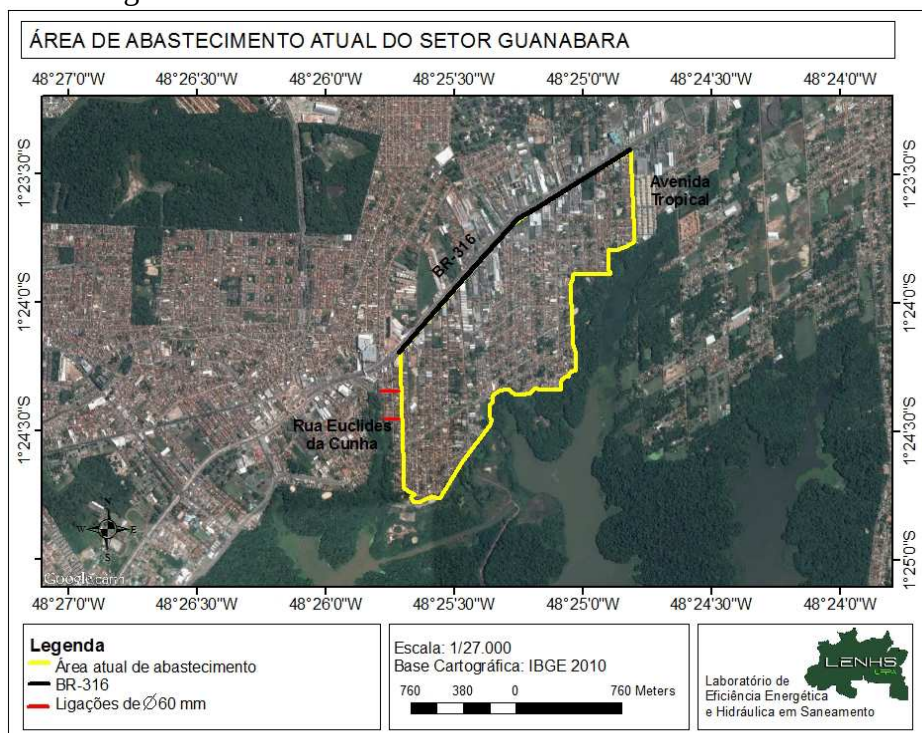
A rede de distribuição de água teve área de abrangência modificada duas vezes em relação ao projeto executivo do Setor Guanabara. A primeira alteração ocorreu por razões administrativas, sendo a área de abastecimento de água potável reduzida pela transferência do limite da Passagem Haidee para a Alameda Moça Bonita, divisa entre os municípios Belém e Ananindeua. Os demais limites foram mantidos, conforme pode ser visto na Figura 90.

Figura 90: área de abastecimento alterada para o limite de Municípios Belém e Ananindeua.



Na segunda alteração foi aumentada a área de abastecimento do setor Guanabara, sendo transferido o limite da Alameda Moça Bonita para a Rua Euclides da Cunha, a qual é a área de abastecimento atual, conforme Figura 91.

Figura 91: área de abastecimento atual do Setor Guanabara.



Atualmente, a rede de distribuição não é setorizada no setor Guanabara, possibilitando que parte do volume de água distribuído passe dos seus limites geográficos. Atualmente, estão instaladas 1.436 ligações ativas no setor Guanabara, o que corresponde a 1.864 economias, conforme pode ser observado nas Tabela 38.

Tabela 38: ligações e economias de água por categoria no setor Guanabara.

Ligações	Ativas	Inativas	Factíveis	Potenciais	Subtotal
Residenciais	1.380	1.431	1.371	173	4.355
Comerciais	43	67	136	5	251
Industriais	2	8	8	0	18
Públicas	11	0	2	2	15
Total	1.436	1.506	1.517	180	4.639

Fonte: COSANPA (2014).

Além disso, de acordo com técnicos da UN-BR, cerca de 700 economias da área adjacente gerenciada pela UN-NORTE são atendidas com água proveniente do Setor Guanabara, em razão da falta de setorização da rede de distribuição de água do setor Guanabara.

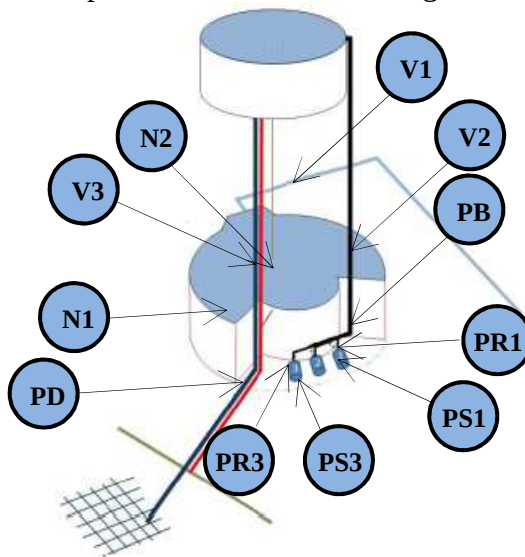
4.2.1 Diagnóstico hidroenergético do SAA Guanabara.

Na sequência será realizado o diagnóstico do SAA Guanabara com objetivo de levantar dados de volumes de água e consumos de energia elétrica, bem como oportunidades para melhorias operacionais, as quais serão simuladas posteriormente no *Epanet 2.0*.

4.2.1.1. Instalação e programação de equipamentos de monitoramento

Na instalação de equipamentos para a aquisição de dados de parâmetros hidráulicos (vazão, pressão e nível) e elétricos (corrente e tensão) foram selecionados os pontos mostrados na Figura 92.

Figura 92: localização dos pontos de monitoramento grandezas hidráulicas e elétricas.



Legenda:

V1, V2 e V3: Vazão subadutora, bombeamento e distribuição;

AE1 e AE3: Parâmetros elétricos no CMB1 e CMB3

PS1, PR1 e PS3 e PR3: Pressão na sucção e recalque do CMB 1 e do CMB 3

PB: Pressão após o barrilete

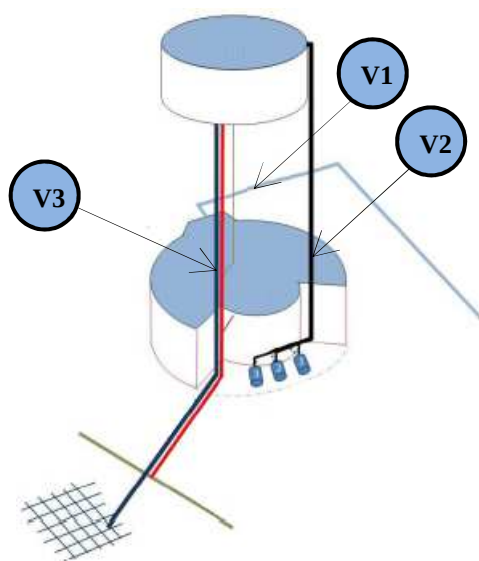
PR: Pressão na rede de distribuição;

N1 e N2: Nível de reservação no RAP e no REL

a) Monitoramento de vazão

Foram selecionados três pontos para medição de vazão no setor Guanabara, no caso: na subadutora de chegada (ponto V1), na tubulação de recalque para o reservatório elevado (ponto V2) e na tubulação de saída do reservatório elevado para a rede de distribuição de água (ponto V3), os quais são expostos na Figura 93 e os equipamentos utilizados são relacionados no Quadro 3:

Figura 93: pontos de monitoramento de vazão.



Quadro 3: legenda dos pontos de monitoramento de vazão.

ID do ponto	Descrição do ponto	Equipamento instalado
V1	Subadutora	Pitometria
V2	Recalque para REL	Medidor Ultrassônico
V3	Descida para a RDA	Medidor Ultrassônico

Vale ressaltar, que o ponto V1 já existia no local e era utilizado pela COSANPA para medição de vazão. Os outros dois pontos foram definidos para o desenvolvimento da pesquisa, sendo analisadas as condições para instalação e para manutenção dos referidos equipamentos, tais como: a segurança da equipe de instalação, o acesso a pontos de alimentação de energia elétrica para os equipamentos. Segue detalhamento da instalação dos referidos pontos:

i) Ponto V1 - Subadutora de chegada: localizado em caixa de concreto com tampa para a proteção de equipamentos, onde fora utilizada máquina Muller para perfuração de tubulação de ferro fundido dúctil com 300 mm de diâmetro e instalação registro de derivação, a fim de realizar medição por meio de pitometria, conforme Fotografia 14;

ii) Ponto V2 - Tubulação de recalque para o REL: localizado no segundo pavimento do REL, em tubulação de ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento, com diâmetro nominal de 400 mm e espessura total de 9,6 mm, conforme Fotografia 15;

iii) Ponto V3 - Tubulação de distribuição de água do REL: localizado no segundo pavimento do REL, na tubulação de ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento, observada na Fotografia 16, com diâmetro nominal de 400 mm e espessura total de aproximadamente 9,8 mm, tendo acesso por escada tipo marinheiro, conforme Fotografia 17.

Fotografia 14: subadutora Guanabara.



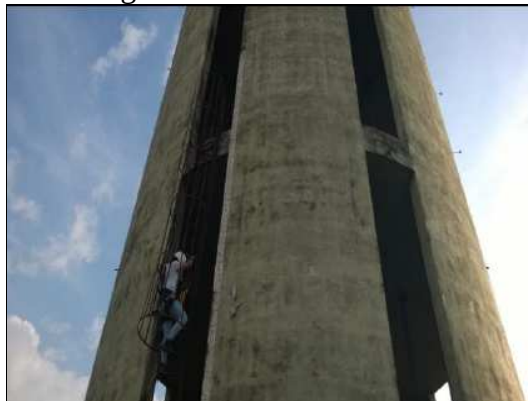
Fotografia 15: vazão no bombeamento.



Fotografia 16: vazão distribuída.



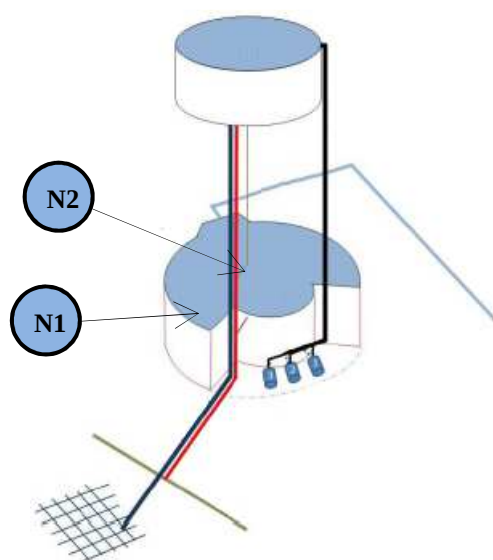
Fotografia 17: acesso à V2 e V3.



b) Monitoramento de nível

Realizado nos reservatórios apoiado e elevado, a atividade utilizou a estrutura de medição de nível já existente da COSANPA nos seguintes pontos: laje superior do RAP (ponto N1) e tubulação de descarga do reservatório elevado (ponto N2), conforme mostrados na Figura 94, sendo que os equipamentos utilizados foram relacionados no Quadro 4 e na sequência o detalhamento da instalação dos referidos pontos.

Figura 94: pontos de monitoramento de nível na EAT Guanabara I



Quadro 4: legenda dos pontos de monitoramento de nível.

ID do ponto	Descrição do ponto	Equipamento instalado
N1	Laje superior do RAP	Sensor de nível ultrassônico
N2	Tubulação de Descarga	Sensor de pressão piezoresistivo

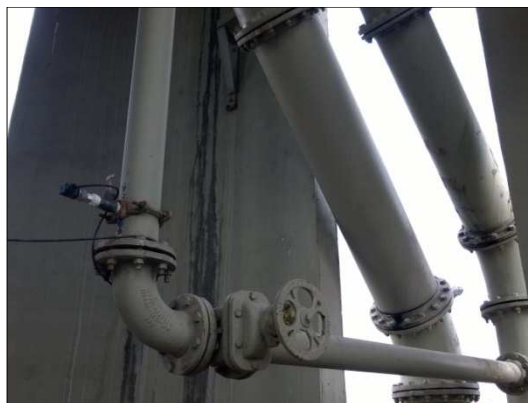
i) Ponto N1 – Nível de reservação do RAP: ponto de monitoramento existente e utilizado pela COSANPA, sendo aproveitado para a pesquisa. O ponto de medição de nível do RAP localiza-se na laje superior do mesmo, conforme Fotografia 18;

ii) Ponto N2 – Nível de reservação do REL: ponto de monitoramento existente e utilizado pela COSANPA, sendo aproveitado para a pesquisa. O ponto de medição de nível do REL localiza-se na tubução de descarga, conforme Fotografia 19.

Fotografia 18: N1 na laje do RAP.



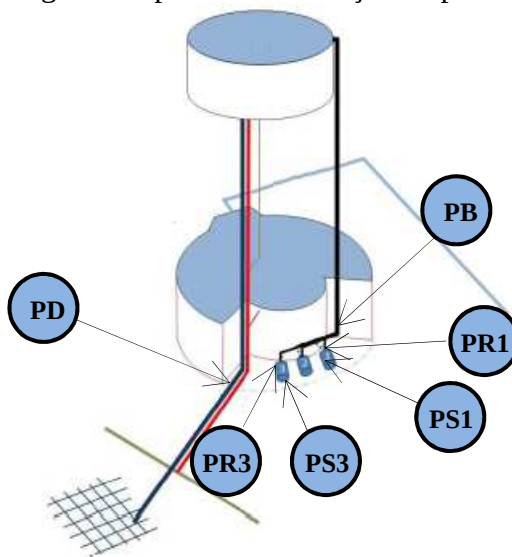
Fotografia 19: N2 na descarga de fundo do REL.



c) Monitoramento de pressão

Foram selecionados os seguintes pontos: na tomada de pressão de sucção do CMB1 (ponto PS1) e na tomada de pressão de recalque do CMB1 (ponto PR1), na tomada de pressão de sucção do CMB3 (ponto PS3) e na tomada de pressão de recalque do CMB3 (ponto PR3), após o barrilete da EAT (ponto PB) e, por fim, na tubulação de distribuição de água do REL, após o registro de controle de vazão (ponto PD). Os referidos pontos de monitoramento são apresentados na Figura 95, os equipamentos utilizados são relacionados no Quadro 5 e na sequência o detalhamento da instalação dos equipamentos:

Figura 95: pontos de medição de pressão.



Quadro 5: legenda dos pontos de monitoramento de pressão.

ID do ponto	Descrição do ponto		Equipamento instalado
PS1	CMB1	Suc.	Sensor de pressão piezoresistivo
PR1		Rec.	Sensor de pressão piezoresistivo
PS3	CMB3	Suc.	Sensor de pressão piezoresistivo
PR3		Rec.	Sensor de pressão piezoresistivo
PB	Barrilete		Sensor de pressão piezoresistivo
PD	Distribuição		Sensor de pressão piezoresistivo

i) Ponto PS1 e ponto PR1 – Respectivamente, pressões de sucção e de recalque do CMB1: instalados no ponto de tomada de pressão de sucção e no ponto de tomada de pressão de recalque do CMB1, conforme mostrado na Fotografia 20. Nesses pontos houve grande dificuldade para retirada dos bujões (parafusos que dão acesso à rosca na carcaça da bomba), pois os mesmos nunca haviam sido retirados desde a aquisição dos CMB;

ii) Ponto PS3 e ponto PR3 – Respectivamente, pressões de sucção e de recalque do CMB3: instalados no ponto de tomada de pressão de sucção e no ponto de tomada de pressão de recalque do CMB3, conforme mostrado na Fotografia 21. Nesses pontos houve grande dificuldade para retirada dos bujões (parafusos que dão acesso à rosca na carcaça da bomba), pois os mesmos nunca haviam sido retirados desde a aquisição dos CMB;

Fotografia 20: PR1 e PS1 no CMB1.



Fotografia 21: PR3 e PS3 no CMB3.



iii) Ponto PB – Pressão após o barrilete: foi necessário utilização de mquina Muller para perfuração de tubulação de ferro fundido de 300 mm (realizada por equipe da COSANPA) para instalação de medição de pressão após o barrilete da EAT, conforme mostrado na Fotografia 22.

Fotografia 22: PB no barrilete.



iv) Ponto PD – Pressão de distribuição: foi utilizado ponto de medição de pressão já existente e utilizado pela COSANPA na tubulação de ferro fundido de 300 mm de descida do REL, após o registro de gaveta que é manobrado para controle da vazão distribuída para o setor Guanabara, conforme pode ser visualizado na Fotografia 23;

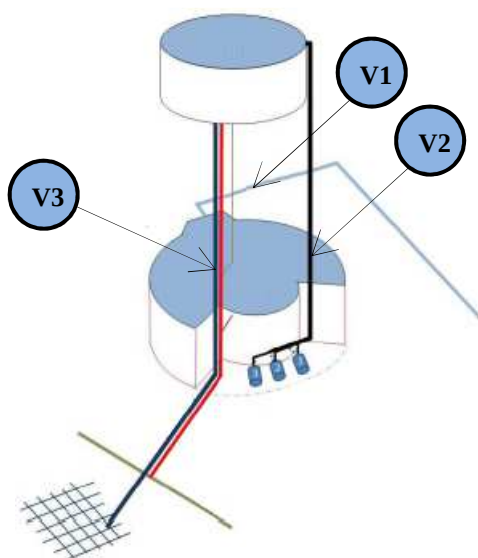
Fotografia 23: PD na tubulação de descida do REL para RDA e após registro.



d) Monitoramento de grandezas elétricas:

A atividade foi realizada por pessoal especializado do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS/UFPA). Foram instalados dois analisadores de qualidade de energia no quadro de baixa tensão que alimenta os motores elétricos da EAT Guanabara, de acordo com o apresentado na Figura 96, sendo que os equipamentos utilizados são relacionados no Quadro 6 e na sequência o detalhamento da instalação dos pontos:

Figura 96: localização dos pontos de monitoramento de parâmetros elétricos.



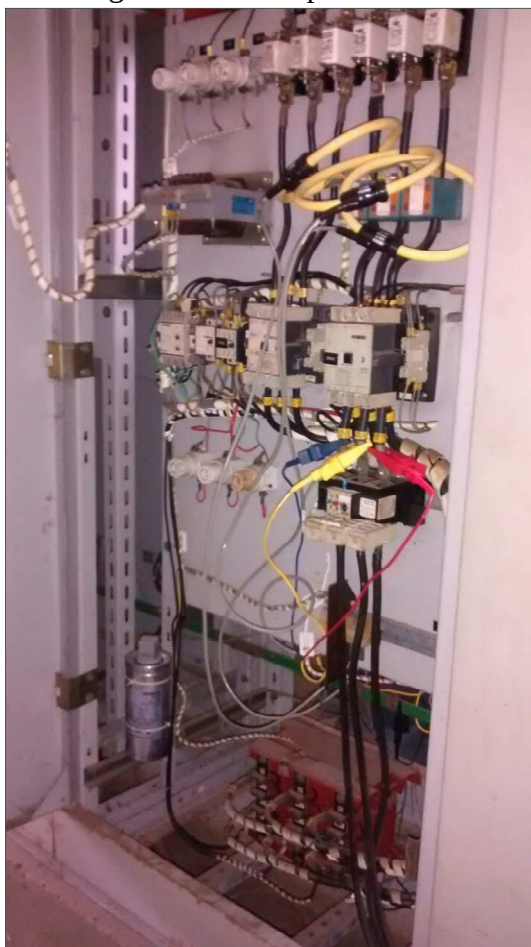
Quadro 6: pontos de monitoramento de parâmetros elétricos.

ID do ponto	Descrição do ponto	Equipamento instalado
AE1	CMB1	Analisador de qualidade de energia
AE2	CMB3	Analisador de qualidade de energia

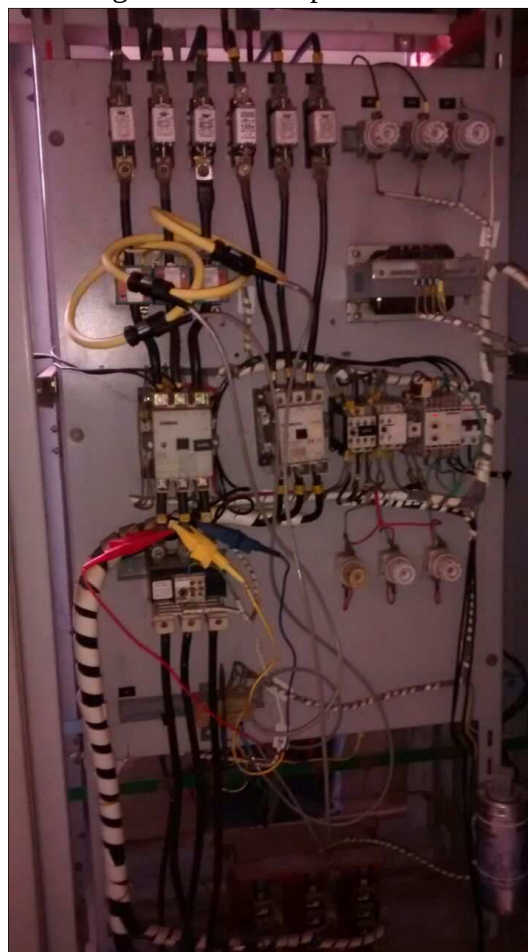
i) Ponto AE1 – Grandezas elétricas no CMB1: foi instalado equipamento analisador de energia no quadro elétrico do CMB1. As garras flexíveis para aquisitar dados de corrente foram posicionadas ao redor dos cabos elétricos das fases A, B e C, após os fusíveis e antes dos transformadores de corrente (TC). As pontas tipo jagaré para aquisitar dados de tensão foram posicionadas após a chave magnética, presas aos respectivos parafusos do relé térmico para as fases A, B e C. Na Fotografia 24, é mostrado como foram instaladas as garras de tensão e as pontas de corrente.

ii) Ponto AE3 – Grandezas elétricas no CMB3: foi instalado equipamento analisador de energia no quadro elétrico do CMB3. As garras flexíveis para aquisitar dados de corrente foram posicionadas ao redor dos cabos elétricos das fases A, B e C, após os fusíveis e antes dos transformadores de corrente (TC). As pontas tipo jagaré para aquisitar dados de tensão foram posicionadas após a chave magnética, presas aos respectivos parafusos do relé térmico para as fases A, B e C. Fotografia 25, é mostrado como foram instaladas as garras de tensão e as pontas de corrente.

Fotografia 24: AE1 para o CMB1.



Fotografia 25: AE3 para o CMB3.



Após a instalação dos equipamentos, foi realizada a medição simultânea das variáveis hidráulicas e das elétricas nas unidades do setor Guanabara, sendo importante ressaltar que no Anexo D da Tese, são apresentados os certificados de calibração dos equipamentos utilizados na pesquisa.

A aquisição de dados diz respeito ao registro realizado, dos valores das grandezas hidráulicas e das elétricas, pelos equipamentos de monitoramento e a coleta diz respeito à retirada desses dados dos bancos de memória dos equipamentos.

Assim, depois de instalados os equipamentos de monitoramento, houve a necessidade de configurar quais grandezas hidráulicas e elétricas deveriam ser registradas na aquisição de dados e como ocorreria a aquisição (intervalo de tempo de aquisição e medidas).

Dessa forma, a aquisição de dados relativos aos parâmetros hidráulicos e elétricos no setor Guanabara foi realizado de forma contínua no período de 17 a 24 de Outubro de 2014, totalizando 168 horas. Esse período é chave para a aplicação da metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA, pois nele estão contidas variações importantes relacionadas aos finais de semanas, horas noturnas etc. e foi desenvolvida da seguinte forma:

- *Vazão volumétrica instantânea de água*: no ponto V1 (vazão na subadutora) a atividade foi realizada em conjunto com a equipe da COSANPA, sendo que a aquisição de dados foi programada a cada minuto na medida “l/s” (litros por segundo). Nos pontos V2 (vazão de bombeamento) e V3 (vazão distribuída), foi necessário identificar a espessura da tubulação, a qual foi medida com medidor de espessura ultrassônico, para que os equipamentos fossem programados corretamente. Nesses pontos, os equipamentos foram configurados para aquisitar dados a cada minuto na medida “l/s” (litros por segundo). Os dados relativos ao ponto V1 foram repassados pela COSANPA em bloco de notas e a retirada dos dados referentes aos pontos V2 e V3 foi efetuada via cabo USB em computadores PC e/ou Notebooks do Laboratório de Simulação do LENHS/UFPA, sendo que os arquivos gerados foram em bloco de notas.

- *Níveis de Água dos reservatórios*: As configurações dos equipamentos dos pontos N1 (nível de água do RAP) e N2 (nível de água do REL) foram realizadas pela equipe da COSANPA, sendo que a aquisição foi programada a cada seis minutos na medida “m” (metros), sendo os dados registrados em *data logger* interno. Os dados foram repassados pela COSANPA, em arquivos de planilha de Excel;

- *Pressão*: A configuração do ponto PD (pressão de distribuição) foi realizada em conjunto com a equipe COSANPA, com aquisição programada a cada 6 minutos na medida “mca” (metros de coluna de água) e os dados foram repassados pela empresa em arquivos bloco de notas. As configurações dos equipamentos dos demais pontos foram realizadas em conjunto pelas equipes da UFPA e da COSANPA, sendo que a aquisição foi programada a cada minuto na unidade “mca” (metros de coluna de água) e os dados foram repassados pela COSANPA em arquivo bloco de notas;

- *Corrente elétrica*: A configuração dos equipamentos foi realizada pela equipe do LENHS/UFPA, com aquisição de dados programada a cada minuto na unidade “A” (amperes), sendo que a obtenção de dados em arquivo de bloco de notas foi realizada por meio de computador portátil diretamente conectado ao *buffer* do medidor de qualidade de energia através de porta serial RS 232.

- *Tensão elétrica*: A configuração dos equipamentos foi realizada pela equipe da LENHS/UFPA, com aquisição de dados programada a cada minuto na unidade “V” (Volts), sendo que a obtenção de dados em arquivo de bloco de notas foi realizada por meio de computador portátil diretamente conectado ao *buffer* do medidor de qualidade de energia através de porta serial RS 232.

- *Potência Ativa*: A configuração dos equipamentos foi realizada pela equipe do LENHS/UFPA, com aquisição de dados realizada de maneira indireta pela programação do analisador de qualidade de energia a partir dos dados de corrente elétrica e tensão elétrica. Os dados de potência ativa foram registrados a cada minuto na unidade “W” (Watt), sendo que a obtenção de dados em arquivo de bloco de notas foi realizada por meio de computador portátil diretamente conectado ao *buffer* do medidor de qualidade de energia através de porta serial RS 232.

Para a sistematização dos dados referentes à aquisição dos valores das grandezas hidráulicas e elétricas, foi o **SADHE2A – sistematiza**, sendo que no caso dos dados de vazão e potência ativa, os arquivos de vazão (l/s) e potência ativa (kW) foram importados pelo **SADHE2A – avalia** para posterior avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Guanabara e no caso do restante foram utilizados também para análise da operação do referido SAA.

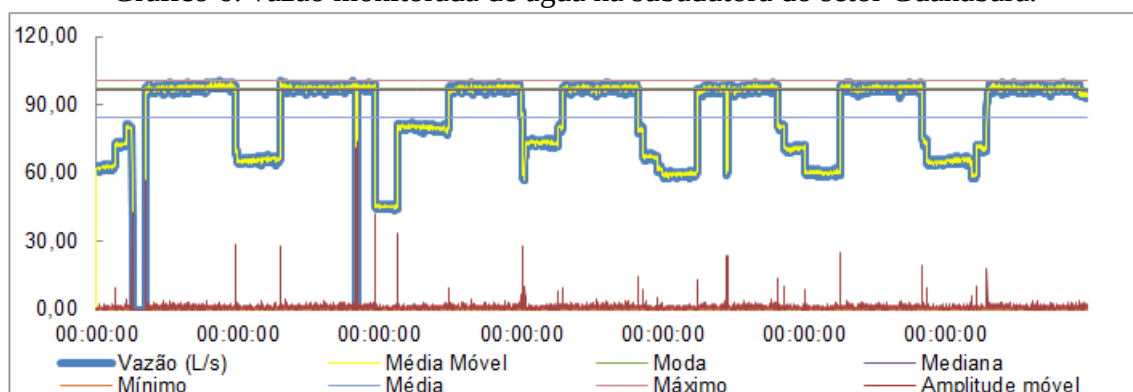
4.2.1.2. Comportamento das grandezas hidráulicas e elétricas

Na sequência serão analisados os comportamentos registrados para cada grandeza hidráulica e elétrica resultante de cada ponto de monitoramento instalado no setor Guanabara, vale ressaltar que o foco principal nesse momento é apenas descrever o comportamento das grandezas hidráulicas e das grandezas elétricas, bem como identificar possíveis problemas operacionais.

a) Vazões de água diagnosticadas no setor Guanabara

Analisando o comportamento da vazão de água na subadutora do setor Guanabara, no Gráfico 6, o qual foi gerado no **SADHE2A – sistematiza**, são notórias, ao longo da operação da mesma, constantes manobras do registro próximo ao RAP para controle do volume de água afluyente no setor. Esse fato é comprovado, quando observado o desenvolvimento dos valores da amplitude móvel, que apresenta vários picos ao longo dos registros.

Gráfico 6: vazão monitorada de água na subadutora do setor Guanabara.



Além disso, ao longo do monitoramento o valor máximo da vazão de água medida foi de 100,70 l/s, o valor mínimo de 0 l/s, sendo a vazão média na subadutora foi 84,16 l/s, bem como a moda foi 97,10 l/s e a mediana foi de 96,40 l/s.

Sobre esses valores é importante mencionar que na ordem decrescente está o valor da mediana, da moda e da média, o que indica que há maior concentração de dados para valores acima da média. Esse fato ocorre, justamente pelo fato das manobras provavelmente executadas no decorrer da operação do SAA. Vale mencionar que o valor que melhor representa a operação da subadutora do setor Guanabara é a mediana, o que pode ser verificado, inclusive, no Gráfico 6.

Nesse caso, a média não representa a realidade do comportamento da vazão na subadutora, pois é observado que em dois momentos, mais especificamente nos dois primeiros dias do decorrer da semana houve paralização na sua operação. A vazão nula possivelmente foi causada por interrupção no fornecimento de água da unidade a jusante do setor Guanabara ou por questões operacionais do setor.

Para verificar incompatibilidades entre os resultados dos volumes diários monitorados foi elaborada a Tabela 39 com os valores calculados pelo **SADHE2A – sistematiza**. São apresentados, ainda, o Gráfico 7 e o Gráfico 8, gerados também no **SADHE2A – sistematiza**, com as cartas de controle de média móvel e de amplitude móvel e neles é possível verificar que os volumes diários de água estão dentro dos limites de controle e, portanto, os dados do monitoramento de vazão na subadutora podem ser utilizados para o cálculo do volume mensal para a referida unidade.

Tabela 39: volumes diários de água na subadutora, médias móveis e amplitude móvel.

Subadutora	Volume (m³/dia)	Média Móvel	Amplitude móvel
15/out	6.940,42	–	–
16/out	7.377,45	7.158,94	437,03
17/out	7.280,15	7.328,80	97,3
18/out	7.347,39	7.313,77	67,24
19/out	7.191,59	7.269,49	155,8
20/out	7.153,75	7.172,67	37,85
21/out	7.611,60	7.382,67	457,85
Média	7.271,76	7.271,06	208,85

Gráfico 7: carta de controle de média móvel para volumes diários de água na subadutora do setor Guanabara e limites superior (LSC), médio (LMC) e inferior (LIC).

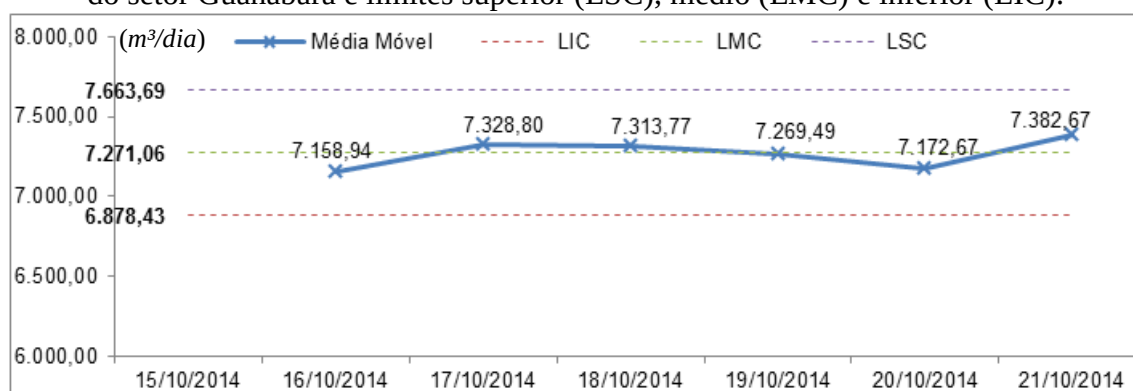
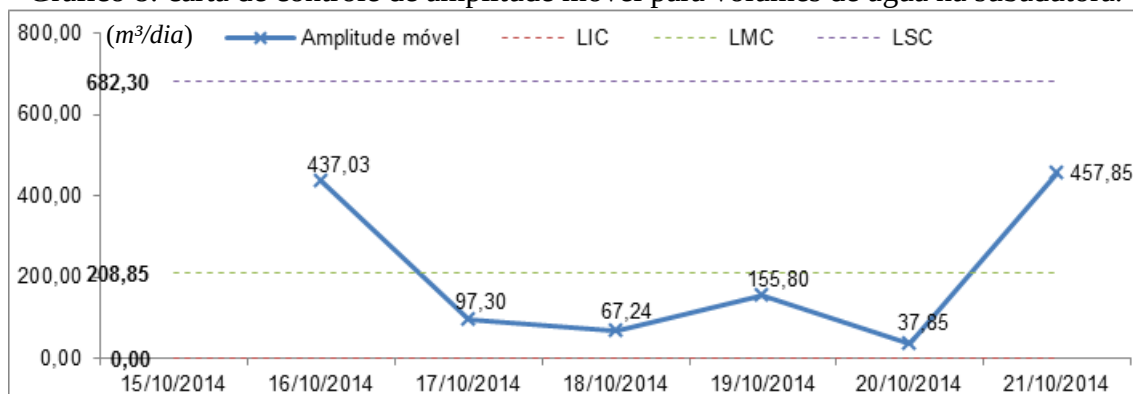
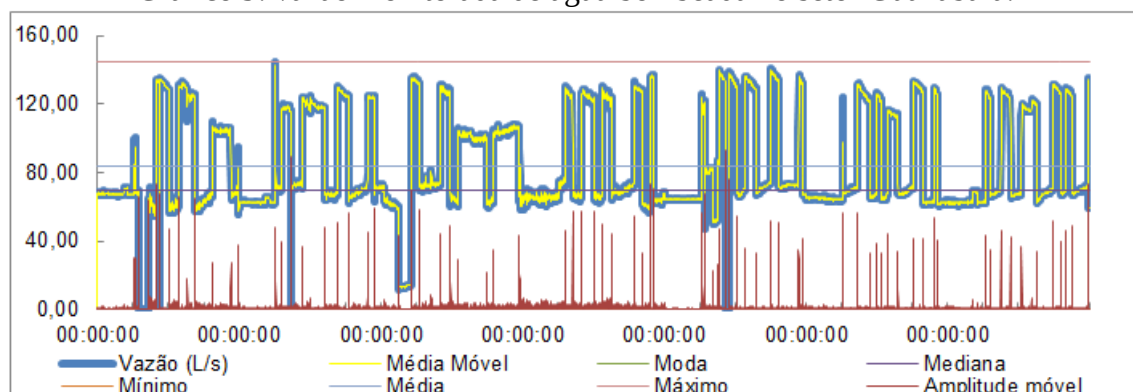


Gráfico 8: carta de controle de amplitude móvel para volumes de água na subadutora.



Observando o comportamento da vazão bombeada na EAT Guanabara, apresentada no Gráfico 9, são verificados vários picos de amplitude móvel de distintas magnitudes o que implica que os mesmos não são somente causas de acionamentos e desligamento dos CMBs.

Gráfico 9: vazão monitorada de água bombeada no setor Guanabara.



No decorrer do bombeamento de água na EAT Guanabara, o valor máximo medido de vazão de água foi de 144,49 l/s e o valor mínimo 0 l/s, sendo a vazão média de bombeamento igual a 83,60 l/s, a moda igual a 0 l/s e a mediana igual a 69,20 l/s. Nesse caso, na ordem decrescente estão a média, a mediana e a moda o que implica na maior concentração dos dados na posição abaixo da média, visivelmente próximos à mediana, logo existe conjunto reduzido de valores elevados de dados que fazem com que a média seja muito superior a mediana encontrada. Fato constatado quando se identifica a operação constante de um CMB e entrada em alguns momentos ao longo do dia do segundo CMB, conforme Gráfico 9.

Dessa forma, provavelmente, os dados não estão normalmente distribuídos, diferentemente dos volumes diários totalizados, os quais são apresentados na Tabela 40 e que foram utilizados nas cartas de controle do Gráfico 10 e do Gráfico 11, apontando positivamente para utilização dos dados do monitoramento para o cálculo do volume mensal bombeado na EAT Guanabara.

Tabela 40: volumes diários bombeados de água, médias móveis e amplitude móvel.

Bombeamento	Volume (m ³ /dia)	Média Móvel	Amplitude móvel
15/out	6.758,97		
16/out	7.453,77	7.106,37	694,8
17/out	7.252,33	7.353,05	201,44
18/out	7.246,30	7.249,31	6,04
19/out	7.465,11	7.355,70	218,81
20/out	7.085,73	7.275,42	379,37
21/out	7.301,10	7.193,42	215,37
Média	7.223,33	7.255,55	285,97

Gráfico 10: carta de controle de média móvel para volumes na subadutora.

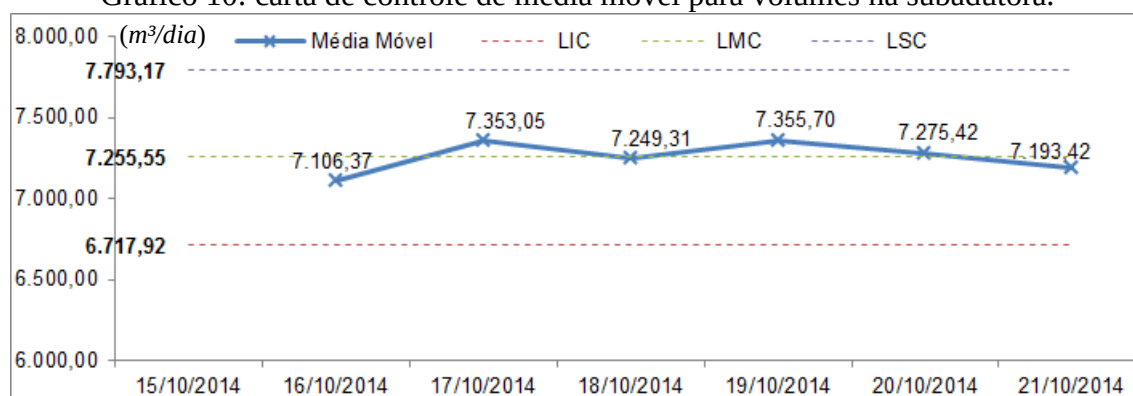
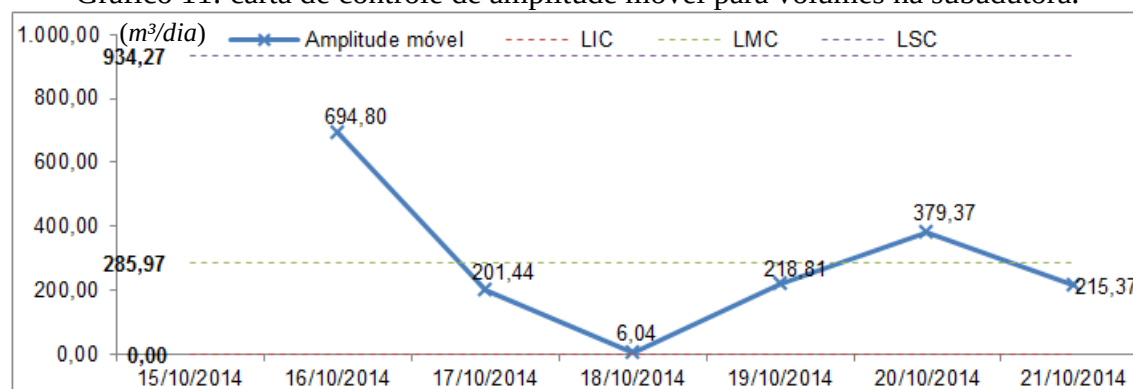
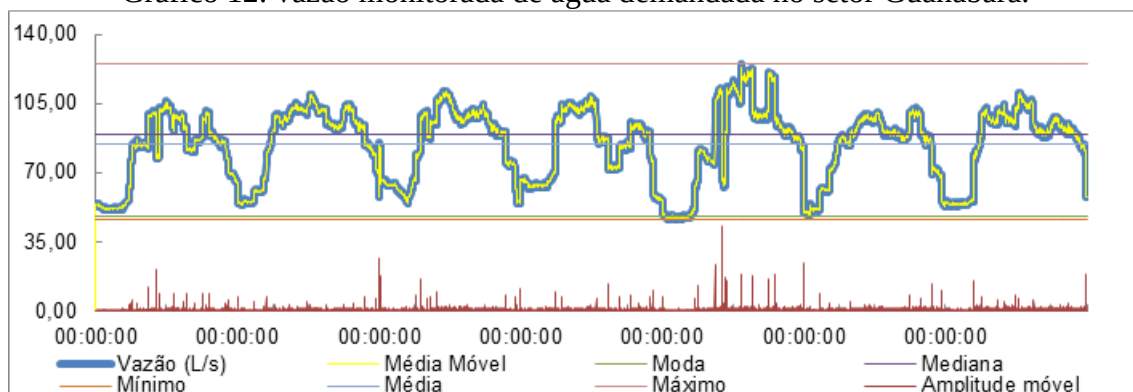


Gráfico 11: carta de controle de amplitude móvel para volumes na subadutora.



No caso, da vazão distribuída, a mesma deveria sofrer influência apenas da demanda de água no setor e nesse caso não deveria apresentar picos consideráveis de amplitudes móveis, como observado no Gráfico 12, que podem ser indicativos de manobra no registro que controla a vazão distribuída de água. Porém, vale ressaltar que foi visualmente identificado padrão para o comportamento da demanda de água..

Gráfico 12: vazão monitorada de água demandada no setor Guanabara.



Ainda sobre a vazão distribuída, o valor máximo medido foi 124,83 l/s e o valor mínimo 46,23 l/s, além disso, o valor médio foi 84,32 l/s, a moda foi 47,63 l/s e a mediana 89,51 l/s. Nesse caso, houve relativa proximidade entre média e mediana, o que pode indicar comportamento que se assemelha a uma distribuição normal, mesmo considerando o valor da moda consideravelmente inferior.

Em relação aos volumes diários, observados na Tabela 41, os mesmos se encontram dentro dos limites de controle, conforme Gráfico 13 e Gráfico 14, logo os dados do monitoramento poderão ser utilizados para o cálculo do volume mensa distribuído de água distribuído.

Tabela 41: volumes diários distribuídos de água, médias móveis e amplitude móvel.

Distribuição	Volume (m³/dia)	Média Móvel	Amplitude móvel
15/out	6.890,98		
16/out	7.596,84	7.243,91	705,86
17/out	7.380,38	7.488,61	216,46
18/out	7.184,23	7.282,30	196,16
19/out	7.407,15	7.295,69	222,92
20/out	7.069,57	7.238,36	337,57
21/out	7.465,77	7.267,67	396,19
Média	7.284,99	7.302,76	345,86

Gráfico 13: carta de controle de média móvel para volumes distribuídos.

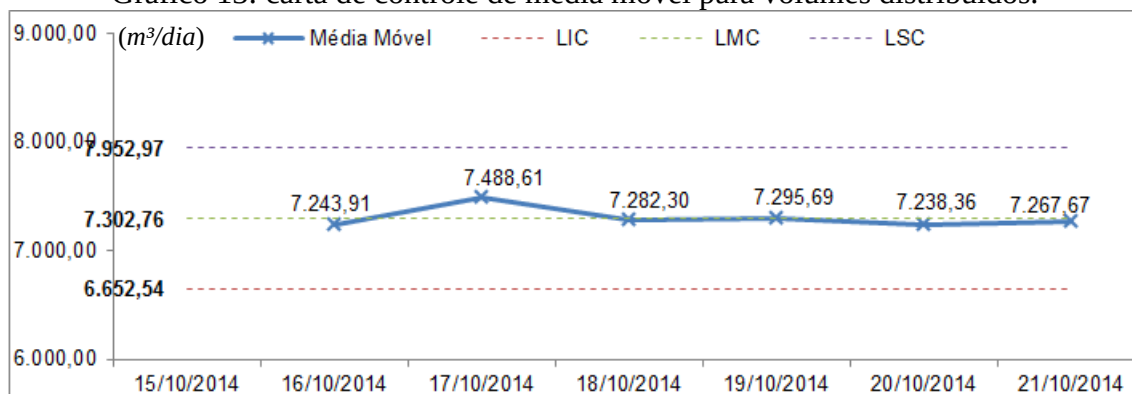
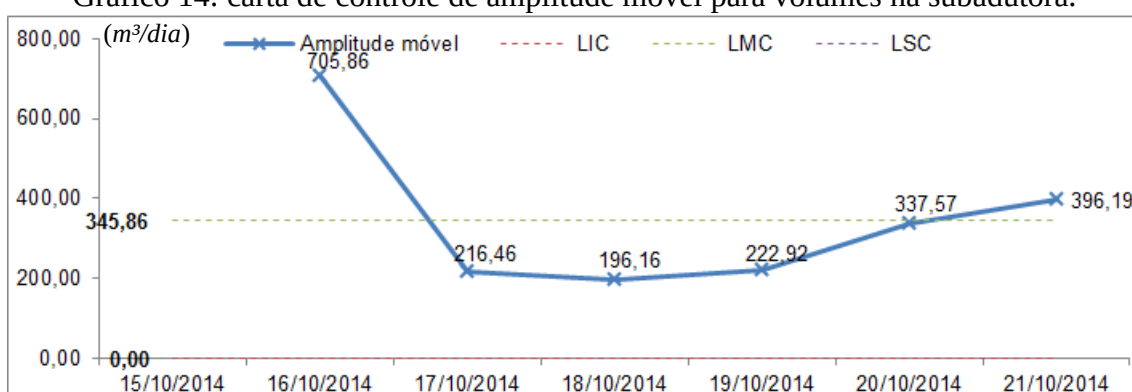


Gráfico 14: carta de controle de amplitude móvel para volumes na subadutora.



Para finalizar a análise dos resultados do monitoramento de vazão, é imprescindível reafirmar que as cartas de controle estatístico de processo de média móvel e amplitude móvel indicam que os volumes diários medidos estão todos dentro dos limites.

Portanto, os dados registrados dos comportamentos minuto a minuto de cada ponto de medição podem ser utilizados pelo **SADHE2A – sistematiza** para quantificar os volumes mensais de água visando avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Guanabara.

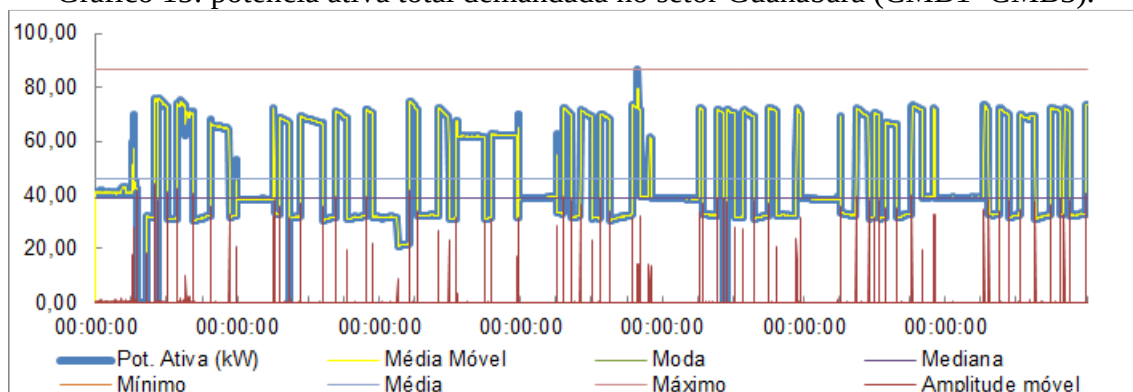
Caso as variações observadas nas cartas de controle fossem suficientes para extrapolar os limites, os resultados do monitoramento precisariam de novos dados para análise, pois, provavelmente, os referidos resultados não representariam a variação normal diária de volumes de água, ou seja, não seriam representativos da descrever a operação do SAA Guanabara.

b) Potência elétrica ativa demandada diagnosticada no setor Guanabara

Quanto ao monitoramento da potência elétrica ativa total demandada no setor Guanabara, observa-se o comportamento bastante aleatório de acinamentos e desligamentos dos CMBs, ou seja, não é identificada imediatamente a rotina de operação no setor Guanabara.

Vale observar no Gráfico 15 o comportamento da amplitude móvel da potência ativa total, que possui vários picos que, no entanto, não possuem também o padrão esperado de intensidades aproximadas, porém o fato é menos perceptível que nos gráficos de vazão bombeada. Essa variação da intensidade dos picos de amplitude móvel vai de encontro, inclusive, com a característica dos motores elétricos, pois os mesmos possuem potências iguais.

Gráfico 15: potência ativa total demandada no setor Guanabara (CMB1+CMB3).



No decorrer do bombeamento de água na EAT Guanabara, o valor máximo medido de potência elétrica ativa total demandada foi de 86,46 kW e o mínimo 0 kW, sendo a média igual a 45,93 kW, a moda igual a 0 kW e a mediana igual a 38,65 kW. Nesse caso, na ordem decrescente estão os valores da média, da mediana e da moda o que implica na maior concentração dos dados na posição abaixo da média, visivelmente próximos à mediana, logo existe conjunto reduzido de valores elevados de dados que fazem com que a média seja muito superior a mediana encontrada.

Igualmente comentado na análise dos dados de vazão bombeada, as informações do parágrafo anterior é constatada quando se identifica a operação constante de um CMB e entrada do segundo CMB ao longo dos dias de operação, conforme Gráfico 15. Dessa forma, provavelmente, os dados não estão normalmente

distribuídos, diferentemente dos consumos de energia elétrica totalizados ao dia, resultantes das potências elétricas demandadas, os quais são apresentados na Tabela 42 e que foram utilizados nas cartas de controle observadas no Gráfico 16 e no Gráfico 17, apontando positivamente para utilização dos dados de potência ativa para o cálculo do consumo de energia elétrica mensal no SAA Guanabara.

Tabela 42: consumo de energia elétrica EAT, médias móveis e amplitude móvel.

Variável	E. elétrica (kWh/dia)	Média Móvel	Amplitude móvel
15/out	3.860,98		
16/out	4.026,30	3.943,64	165,32
17/out	4.127,03	4.076,66	100,73
18/out	3.941,33	4.034,18	185,7
19/out	3.886,67	3.914,00	54,67
20/out	3.930,82	3.908,74	44,16
21/out	4.008,30	3.969,56	77,48
Média	3.968,78	3.974,46	104,67

Gráfico 16: carta de controle de média móvel para consumos diários de energia elétrica na EAT Guanabara.

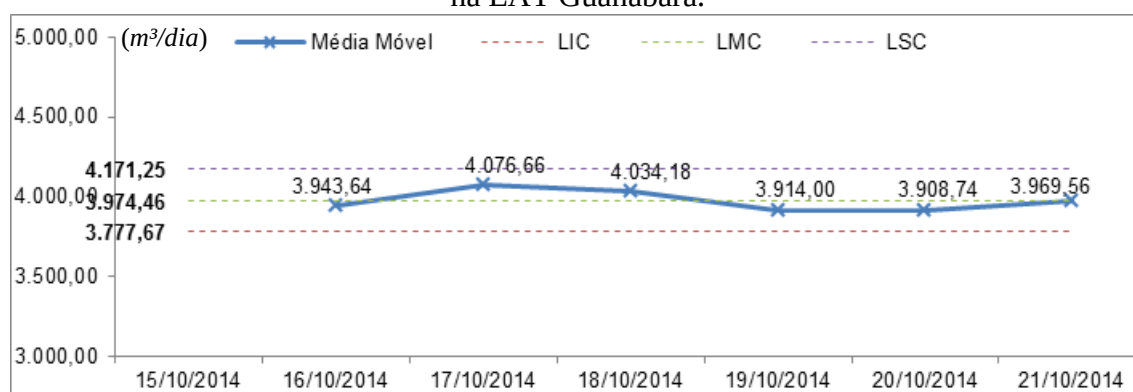
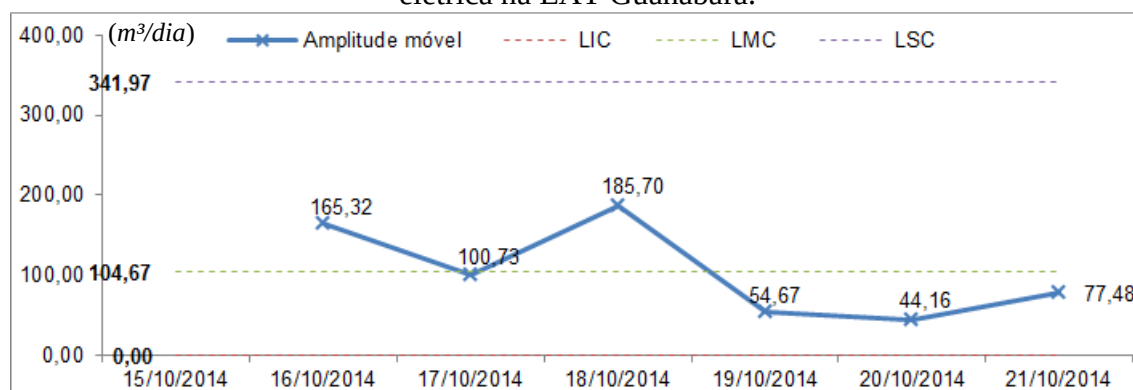


Gráfico 17: carta de controle de amplitude móvel para consumos diários de energia elétrica na EAT Guanabara.



Observando a operação específica de cada CMB no Gráfico 18 e no Gráfico 19, percebe-se que há diferenças importantes no comportamento da potência ativa demandada no setor Guanabara para bombeamento de água. O CMB1 apresenta quantidade de acionamentos e desligamentos muito superior à quantidade referente ao CMB3, logo é possível constatar que a operação no setor se baseia, principalmente, no funcionamento do CMB3.

Gráfico 18: potência ativa demandada monitorada no CMB1 do setor Guanabara.

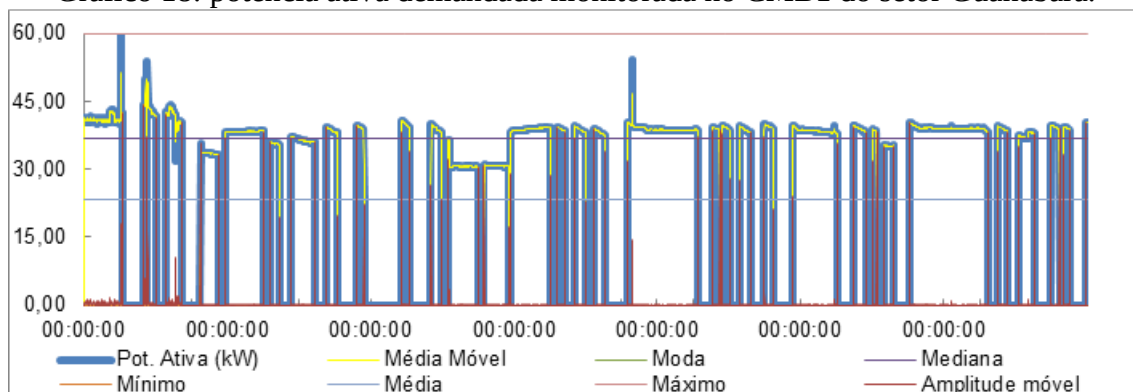
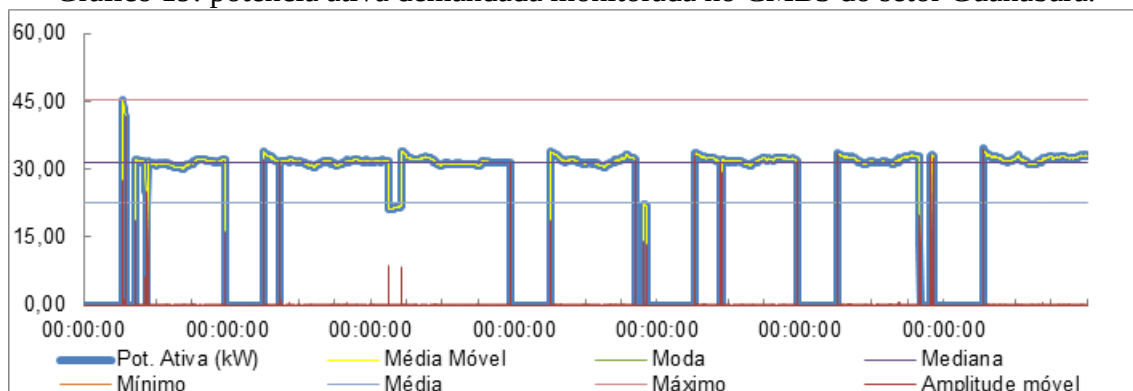


Gráfico 19: potência ativa demandada monitorada no CMB3 do setor Guanabara.

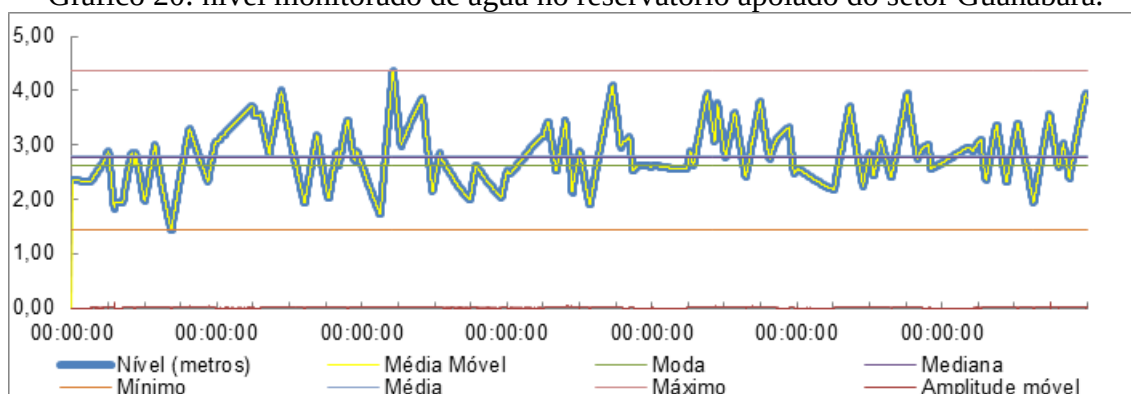


Outro ponto importante é o fato de que o CMB3 é desligado, normalmente, no período noturno e demanda potência elétrica menor que o CMB1, o que não indica a priori maior eficiência em relação ao CMB1. Além disso, considerando, ainda, as medianas das potências demandadas pelo CMB1 (38,65 kW) e, principalmente, pelo CMB3 (31,46 kW), ambas estão muito abaixo da potência nominal dos CMBs, no caso, de 60 CV (equivalente a 44,13 kW). Nesse caso, é possível que, realmente, os CMBs atuem com registro de recalque parcialmente estranguladas para diminuir vazão, operação considerada inadequada e que eleva o consumo de água, pois aumenta o tempo de funcionamento da elevatória para bombear o mesmo volume de água necessário.

c) Níveis de reservatórios diagnosticados no setor Guanabara

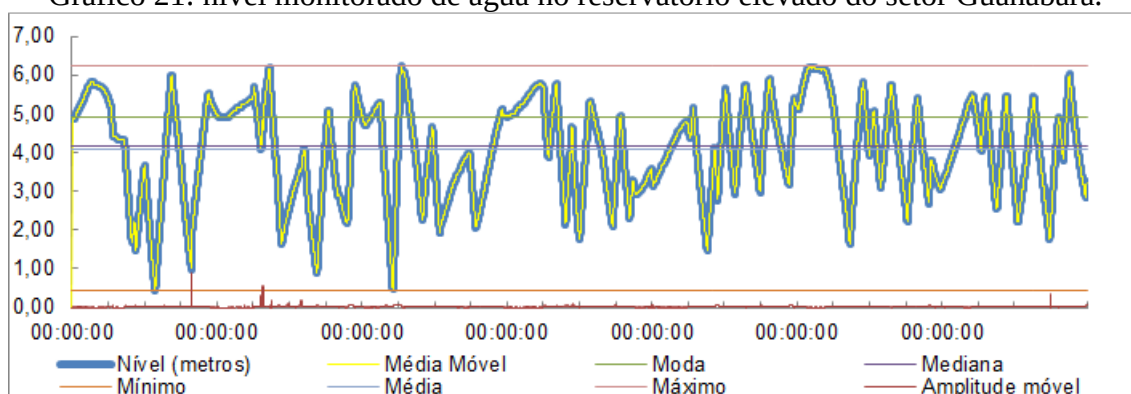
Observando o comportamento do nível de água no RAP no Gráfico 20, não foram verificados picos de amplitude móvel ao longo do monitoramento, comportamento esperado para essa grandeza hidráulica, uma vez que, normalmente, a variação de nível é uma resposta instantânea pouco sensível às mudanças operacionais em SAA. O valor máximo medido foi 4,37 m (houve extravazamento de água no RAP) e o valor mínimo 1,45 m, sendo o nível médio de água no RAP 2,81 m, a moda igual a 2,62 m e a mediana igual a 2,76 m, logo, a proximidade entre esses valores indica provável distribuição normal dos dados de nível de água, concentrados, principalmente, pouco acima da média.

Gráfico 20: nível monitorado de água no reservatório apoiado do setor Guanabara.



No caso do REL, observando o Gráfico 21 é constatada operação sem controle de níveis de reservação, não são identificados ao longo dos dados registrados no monitoramento os níveis mínimos e máximos operacionais, pois em todos os momentos em que os níveis sobem ou descem os valores não apresentam padrão.

Gráfico 21: nível monitorado de água no reservatório elevado do setor Guanabara.

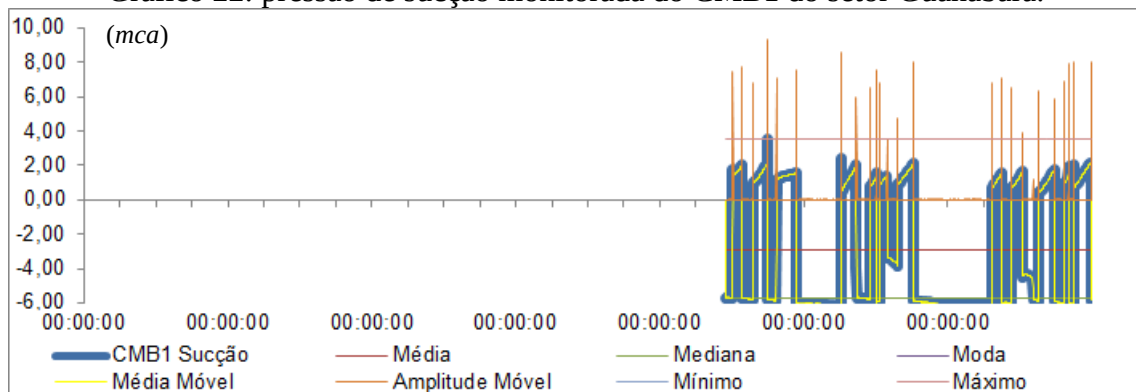


Ao longo do monitoramento de nível no REL, o valor máximo registrado foi de 6,22 m, o mínimo de 0,45 m, a média foi de 4,06 m, a moda de 4,93 m e a mediana de 4,18 m. Nesse caso, a proximidade entre os três últimos valores podem indicar provável distribuição normal dos dados registrados, os quais estão concentrados acima do valor da média. Percebe-se, então, que a operação do REL concentra-se, principalmente, em deixar os níveis de água flutuando em nível médio, o que indica o seu funcionamento como caixa de passagem.

d) Pressões diagnosticadas na estação elevatória de água do setor Guanabara

No caso do monitoramento de pressões, é interessante observar a pressão de sucção que apresenta comportamento inverso ao de todas as variáveis vista até então, pois quando o sistema está em operação os valores tendem a diminuir em relação aos valores fora de operação. Observa-se ainda grande variação entre os picos de amplitude móvel, no caso, no Gráfico 22, confirmando as manobras de registros de recalque para controle de vazão bombeada e potência, pois essas influenciam diretamente na pressão de bombeamento de sucção, fazendo com que a mesma se eleve.

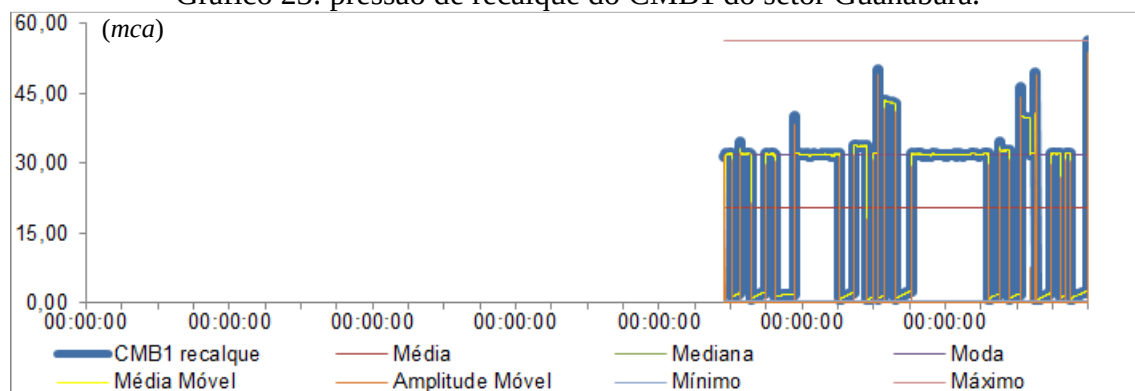
Gráfico 22: pressão de sucção monitorada do CMB1 do setor Guanabara.



O valor máximo registrado da pressão de sucção do CMB1 foi de 3,51 m, o valor mínimo foi de -6,21 m, a média foi de -2,95, a moda foi de -6,10 m e a mediana foi de -5,73 m. No caso desses valores, vale observar que a mediana e a moda estatística é bastante inferior ao valor da média, o que indica que há grande concentração dos dados próxima a esses valores, os quais representam, portanto, a operação do equipamento.

Analisando a pressão de recalque do CMB1, no Gráfico 23, observam-se picos de pressão de recalque em alguns momentos em que o CMB1 é acionado, indicando que no referido instante o registro de controle de vazão do recalque ainda se encontrava fechado, ou seja, o equipamento é ligado na posição de *shut off*. Além disso, nos dois últimos dias, pouco após as 12:00 verifica-se patamar diferenciado da pressão de recalque, que acredita-se que esses valores estão mais próximos da operação adequada do sistema, uma vez que já foram verificados que os CMBs funcionam com os registros de recalque parcialmente fechados.

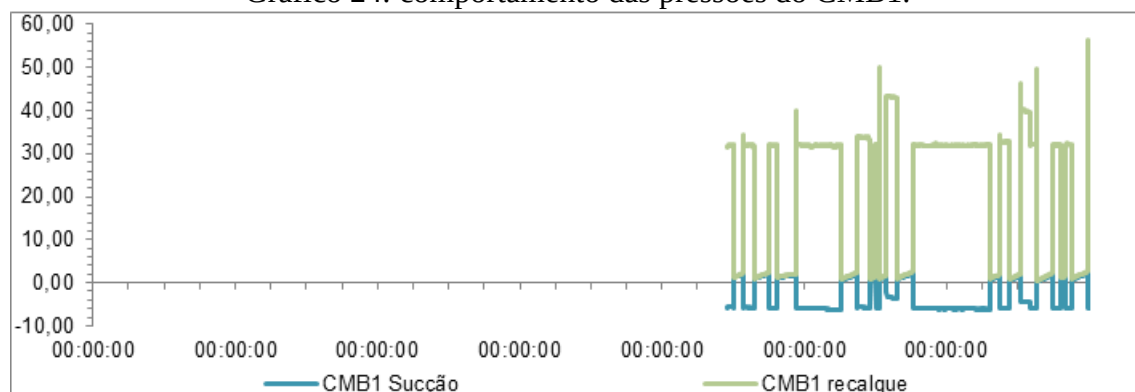
Gráfico 23: pressão de recalque do CMB1 do setor Guanabara.



O valor máximo registrado de pressão de recalque no CMB1 foi de 56,44 *mca*, o mínimo foi de 0,44 *mca*, a média de 20,46 *mca*, a moda de 31,90 *mca* e a mediana foi de 31,84 *mca*. Nesse caso, os dois últimos resultados mostram aproximadamente a pressão de recalque de operação do CMB1.

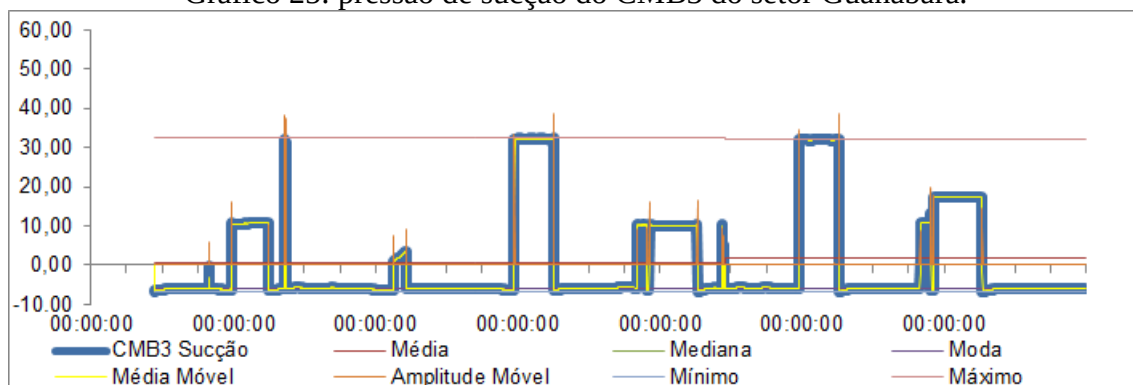
No Gráfico 24, é observado o distanciamento entre os valores sucção e o recalque, que, nesse caso representam a altura manométrica do CMB1.

Gráfico 24: comportamento das pressões do CMB1.



Em relação ao CMB3, o monitoramento de pressão de sucção apresentou valores interessantes quando o mesmo não estava em funcionamento, no caso, os registros apontaram para valores próximos de 30 *mca*, como pode ser observado em três momentos distintos no Gráfico 25. Esse comportamento é completamente inesperado para as medições no ponto de sucção do CMB3, e pode ser explicado pelo mau funcionamento da válvula de retenção do mesmo, logo essa pressão registrada em função do CMB1 quando o mesmo está operando.

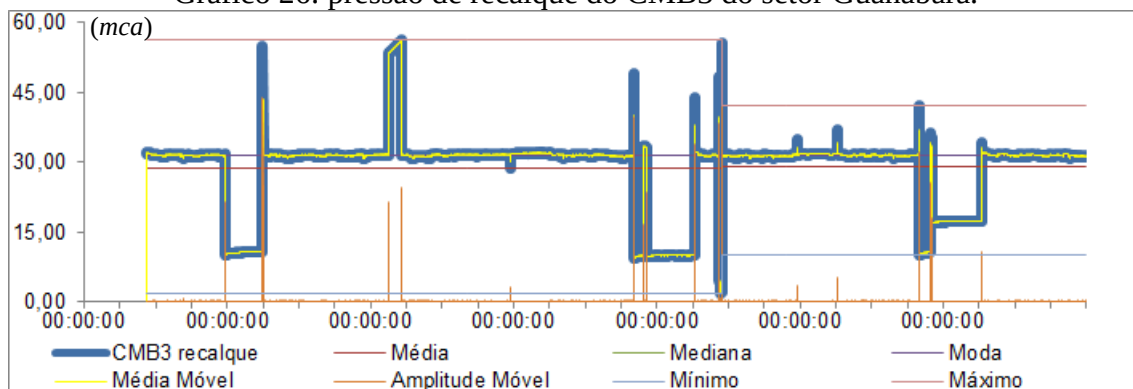
Gráfico 25: pressão de sucção do CMB3 do setor Guanabara.



O valor máximo da pressão de sucção no CMB3 foi de 32,42 *mca*, o mínimo foi de -6,73 *mca*, a média foi de 0,50 *mca* (valor encontrado muito em função da influência da má operação da válvula de retenção), a moda foi de -5,90 e a mediana foi de -5,84. No caso dos últimos dois valores, eles representam bem a pressão de sucção do CMB3 ao longo da operação.

Sobre a pressão de recalque do CMB3, observam-se diversos picos de pressão de recalque no Gráfico 26 em ao longo da operação, indicando manobra fechamento parcial do registro de controle de vazão do recalque.

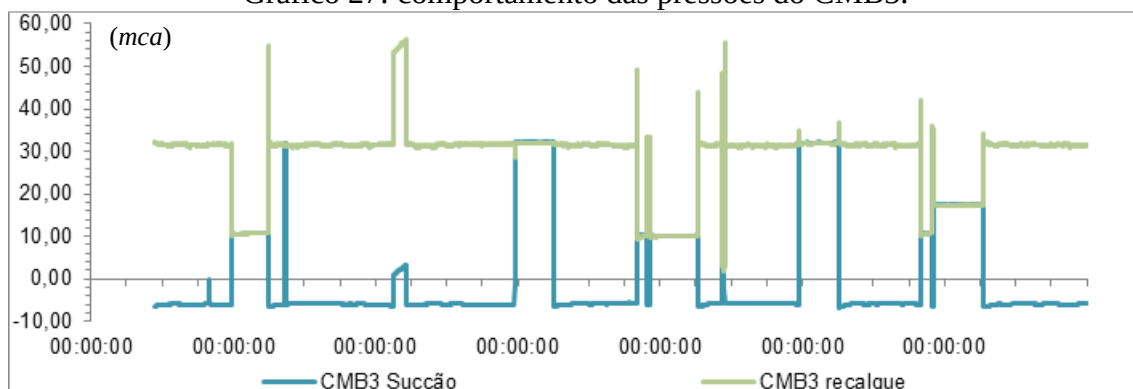
Gráfico 26: pressão de recalque do CMB3 do setor Guanabara.



O valor máximo registrado de pressão de recalque no CMB1 foi de 56,26 *mca*, o mínimo foi de 1,77 *mca*, a média de 28,67 *mca*, a moda de 31,51 *mca* e a mediana foi de 31,84 *mca*. Nesse caso, os dois últimos resultados mostram aproximadamente a pressão de recalque de operação do CMB1.

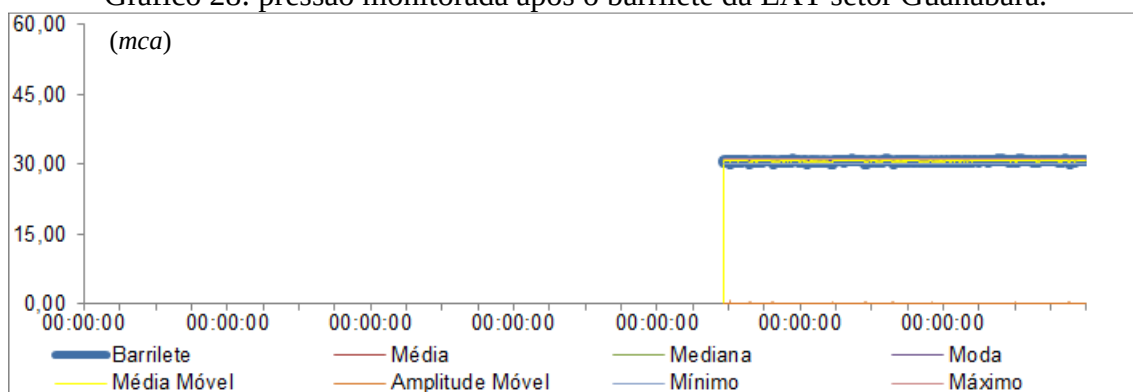
No Gráfico 27, é observado o distanciamento entre os valores sucção e o recalque, que, nesse caso representam a altura manométrica do CMB3.

Gráfico 27: comportamento das pressões do CMB3.



No caso da pressão no barrilete, no Gráfico 28 não foram observadas grandes variações o qual se encontra 2 *m* acima da cota das medições de pressão de sucção e recalque, os valores máximos e mínimos são, respectivamente, 31,40 *mca* e 30,14 *mca* e aos valores referentes a media, moda e mediana são, na ordem, 30,73 *mca*, 30,67 *mca* e 30,71 *mca*.

Gráfico 28: pressão monitorada após o barrilete da EAT setor Guanabara.



Considerando os valores das medianas das pressões de recalque, por exemplo, do CMB3, 31,84 *mca*, a mediana da pressão no barrilete de 30,71 *mca* e, ainda, o desnível geométrico de 0,50 *m* entre os pontos de medição tem-se uma aproximação do valor da perda de carga no barrilete, no caso, 0,63 *m*.

Por fim, sobre a pressão monitorada após o registro gaveta para ontrele operacional, localizada na tubulação de descida do REL²⁶ para a RDA, e sobre a pressão monitorada em ponto de consumo mais desfavorável na RDA²⁷ (localizações na Figura 97), foram identificados visualmente dois comportamentos distintos no Gráfico 29: o primeiro até o sétimo dia do período do monitoramento hidroenergético (no qual se verificam pressões muito próximas do valor mínimo de norma) e o segundo a partir do oitavo dia, no qual foi realizada pesquisa de pressão na RDA com registro de controle de vazão aberto (incomum no setor Guanabara).

Figura 97: localização do ponto de monitoramento de pressão na RDA

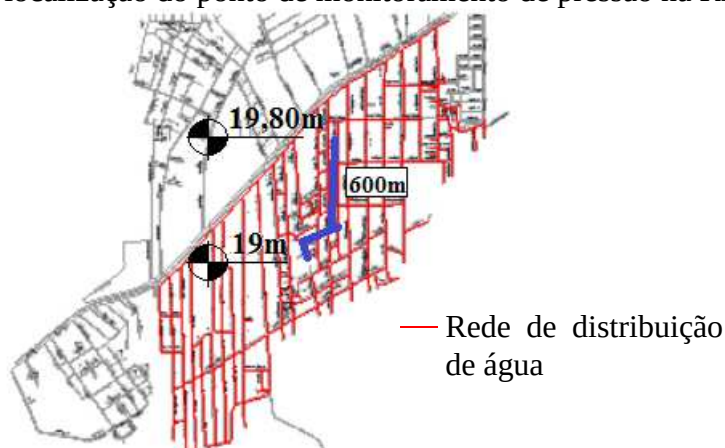
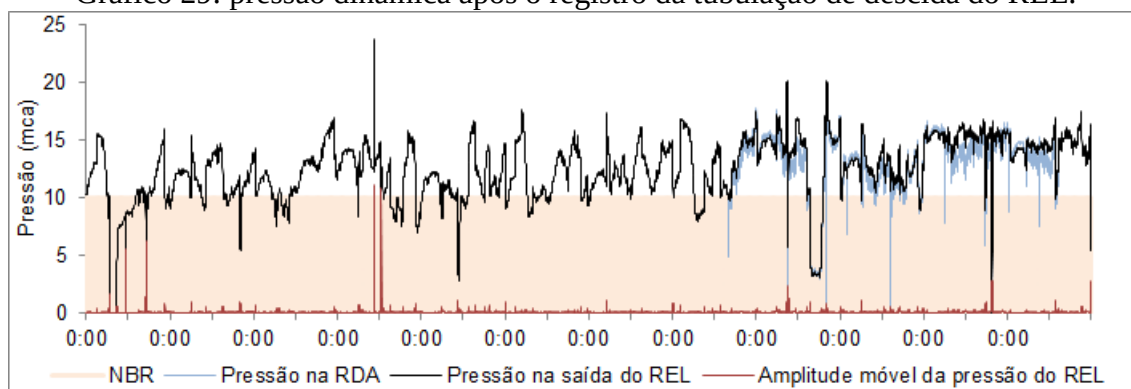


Gráfico 29: pressão dinâmica após o registro da tubulação de descida do REL.



²⁶ O período de monitoramento de pressões na saída do REL e na RDA foi de 17/10 a 28/10 para que pudessem ser feitos testes para outra pesquisa com a pressão em ponto de consumo na rede de distribuição.

²⁷ De acordo com a COSANPA

Sobre o segundo momento mencionado: é possível observar a pressão no ponto consumidor com valores abaixo da norma que em alguns momentos, principalmente em horas noturnas, inclusive chegando de 0 *mca*. A mediana calculada somente para os registros desse período foi de 14,33 *mca*, portanto, atendendo com folga a pressão mínima dinâmica de 10 *mca* exigida por norma.

Sobre o primeiro momento (com a operação normal do setor Guanabara): em diversos momentos a pressão após o registro de controle de vazão de água distribuída está abaixo do mínimo exigido, no caso, 10 *mca* para pressão dinâmica. A mediana calculada foi de 11,75 *mca*, muito próximo do limite mínimo, o que pode indicar inclusive que na RDA muitos consumidores podem não estar sendo atendidos com eficácia, no entanto, é necessária uma análise da pressão dinâmica no ponto mais desfavorável da RDA.

Além disso, foi possível verificar, ainda, picos de amplitude móvel, fato que não deveria ocorrer uma vez que a demanda de água na RDA não varia bruscamente, portanto, essa constatação é consequência provavelmente de manobras de registro para controle da vazão distribuída de água.

Por fim, serão analisados na sequência os dados levantados no monitoramento hidroenergético cruzando informações das grandezas hidráulicas e elétricas no setor Guanabara, para constatação de problemas operacionais e indicação de melhorias a serem utilizadas na simulação do SAA referência.

4.2.1.3. Análise da operação do setor Guanabara

Para a análise da operação do setor Guanabara é importante compreender o comportamento das variáveis hidráulicas e da variável elétrica, no caso, potência ativa e forma conjunta. Para isso, foram elaborados três gráficos distintos: o primeiro trata da variação da vazão de água bombeada com a potência ativa demandada dos CMBs, o segundo trata da variação da vazão de água com a variação dos níveis de reservatórios, e, por fim, o último trata da variação da potência ativa demanda nos CMBs com a variação dos níveis de reservatórios.

Quando analisados os comportamentos da vazão de água bombeada com as potências ativas demandadas por cada CMB da EAT do setor Guanabara (Gráfico 30 e Gráfico 31), é possível identificar os seguintes problemas operacionais:

i) É perceptível a existência de dois patamares bem distintos no que diz respeito à vazão de água bombeada ao longo do dia na EAT do setor Guanabara, o primeiro referente à operação de 1 CMB isolado e o segundo referente à operação de 2 CMBs em conjunto. No entanto, em vários momentos observam-se pequenos patamares intermediários, provenientes de manobras nos registros de recalque dos CMBs. Essa operação é inadequada, pois retira os equipamentos de sua faixa ideal de operação, tornando-os menos eficientes do ponto de vista hidroenergético, fato agravado pelo item “ii” a seguir;

ii) É perceptível também o revezamento entre o CMB 1 e o CMB 3, sendo que o primeiro opera, normalmente, acionado próximo às 0:00 e desligado pouco depois das 6:00, enquanto que o CMB 3 é acionado próximo às 6:00 e opera até cerca de 0:00. Em ambos os casos, o funcionamento é por período prolongado e, com agravante de que no período de 6:00 às 0:00, no qual funciona o CMB 3, o CMB 1 também é acionado como apoio para atender o aumento da demanda.

iii) Além disso, no que se refere aos valores de potência ativa é possível observar discrepância entre o CMB1 e o CMB3 e que o primeiro sempre demanda maior potência ativa que o segundo capacidades de bombeamento semelhantes. Esse fato indica provável maior eficiência do CMB3 em relação ao CMB1, no entanto em todos os dias foi verificado seu acionamento no horário de ponta da tarifação de energia elétrica, tendo como consequência considerável aumento no custo de SAA.

Gráfico 30: vazão de água x potência ativa demandada no dia 17/12/2014.

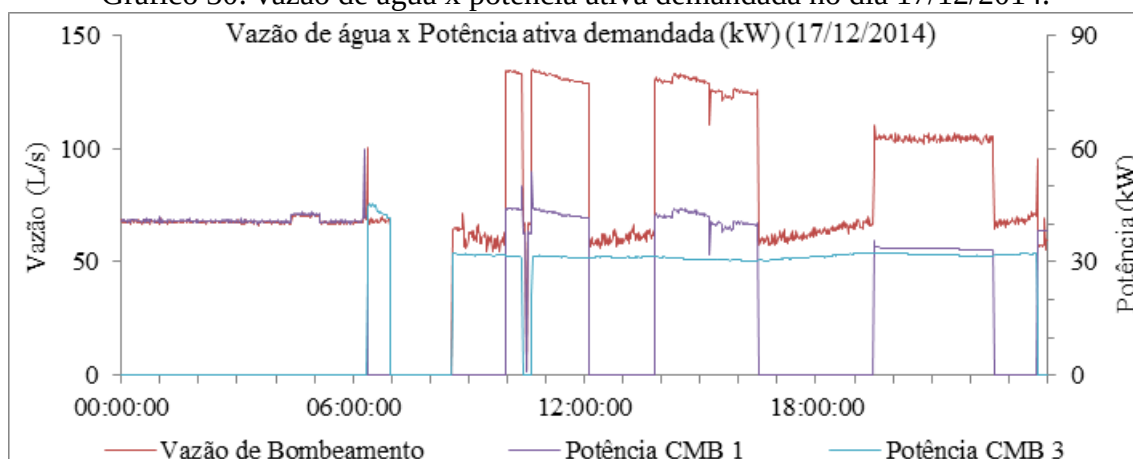
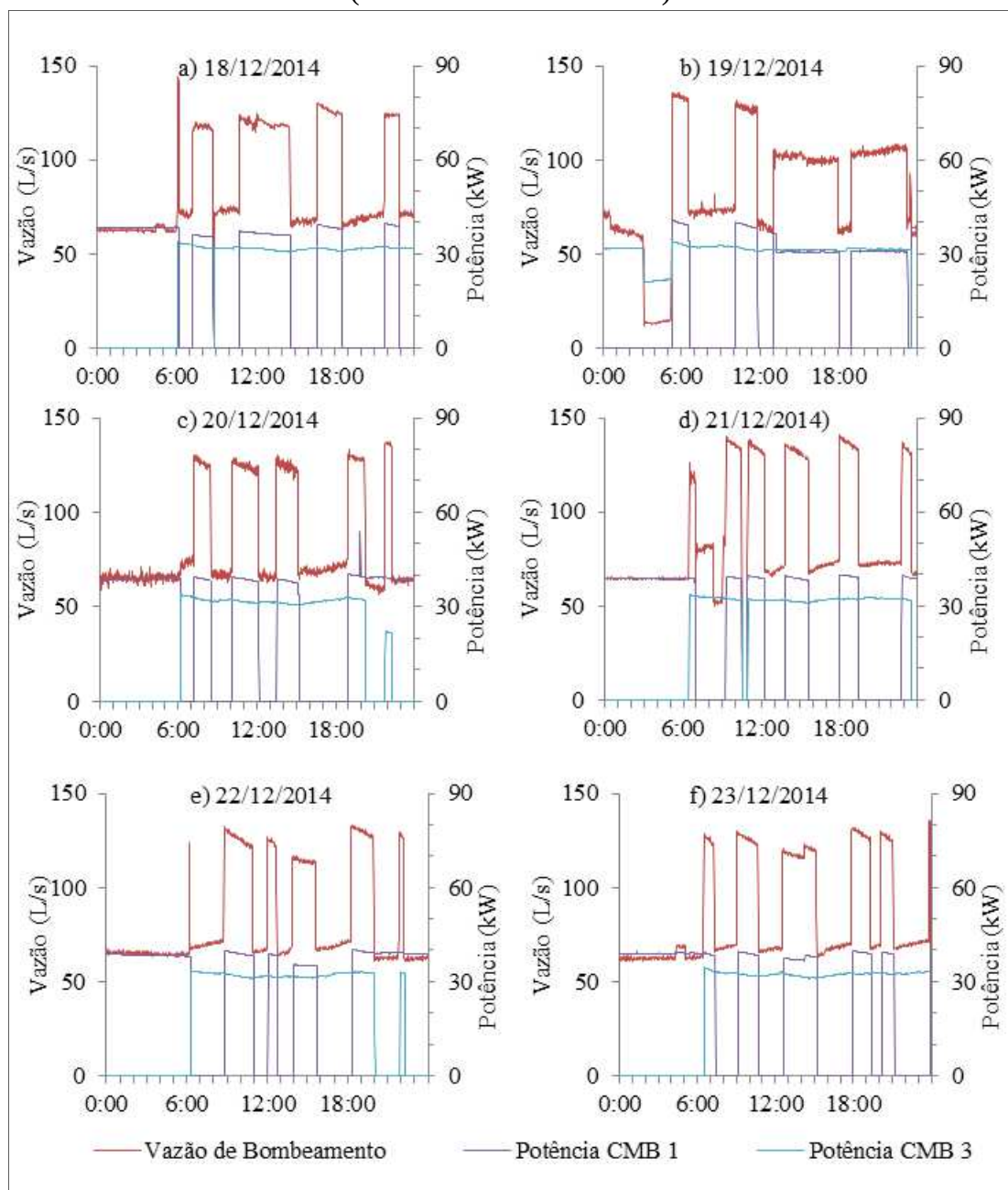
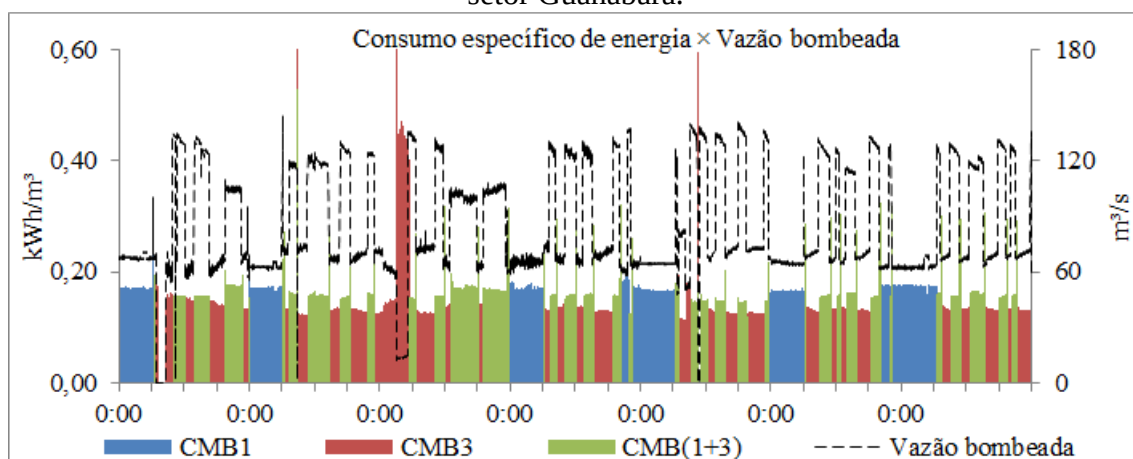


Gráfico 31: vazão de água bombeada × potência ativa demandada pelos CMB (18/12/2014 a 22/12/2014).



Para comprovar a menor eficiência do CMB1 em relação ao CMB3, foram comparados seus indicadores de consumo de energia elétrica, conforme Gráfico 32. Considerando que os modos operacionais CMB1 isolado, CMB3 isolado e CMB(1+3) e que a altura manométrica é praticamente a mesma, é possível verificar que o menor ICE é referente à operação do CMB3 isolado, logo em seguida o ICE referente à operação CMB(1+3) e, por fim, o maior é o da operação CMB1 isolado.

Gráfico 32: indicadores de consumo específico para os modos operacionais do EAT do setor Guanabara.



É importante observar alguns picos do ICE, os quais estão relacionados a manobras dos registros de gaveta no recalque dos CMBs, fato que é observável com clareza no período de 1:30 até 3:00 do terceiro dia. Nesse caso, a vazão de bombeamento diminui abruptamente e o ICE do CMB3 eleva-se próximo a $0,6 \text{ kWh/m}^3$.

Vale ressaltar, a existência de alguns picos do ICE da operação CMB (1+3), atingindo valores próximos a $0,30 \text{ kWh/m}^3$, que ocorrem sempre no desligamento do CMB de apoio devido ao fechamento total do registro recalque antes de desligamento do equipamento. A manobra visa evitar o retorno da coluna de água na tubulação de recalque, papel que seria da válvula de retenção avariada.

Para o melhor diagnóstico da operação da EAT Guanabara na sua inter-relação com as demais unidades, foram levantadas as curvas das bombas e das instalações hidráulicas da operação isolada do CMB 1 e do CMB 3, selecionando aleatoriamente conjunto de dados referentes a 30 minutos de operação. No caso, foi selecionado o período de 20:10 às 20:39 do dia 22/12/2014 para o CMB1 e de 12:20 às 12:49 do dia 21/12/2014 para o CMB3.

Para a elaboração das curvas, foram utilizadas as Equações (57), (58) e (59) que representa bem a equação de curva de bomba e curva de instalação hidráulica, bem como os valores das medianas de cada variável, os quais são apresentados na Tabela 43, juntamente com os resultados para os coeficientes a e b . O método é baseado no fato de que as curvas de bomba e do sistema hidráulico podem ser representadas por uma equação quadrática (CAMPOS AVALLEDA, 2007; NARVÁEZ, GRANADOS, BARRERA, 1999; ELETROBRÁS, 2014).

$$H = a + b \times Q^2 \quad (57)$$

$$H_S = H_0 + \left[\frac{H_N - H_0}{Q_N^2} \right] \times Q^2 \quad (58)$$

$$H_B = H_P + \left[\frac{H_N - H_0}{Q_N^2} \right] \times Q^2 \quad (59)$$

Onde:

H : altura manométrica da curva (m);

a : coeficiente linear da equação;

b : coeficiente angular da equação;

Q : vazão de bombeamento a qual se quer a altura manométrica (m³/s)

H_S : altura manométrica da curva da instalação hidráulica (m);

H_O : desnível geométrico mais desfavorável (m);

H_P : pressão de recalque com CMB em *shut-off* (m);

H_N : pressão de recalque no ponto de operação (m);

Q_N : vazão de bombeamento o ponto de operação (m³/s).

Tabela 43: dados para curvas de bombas e da instalação hidráulica.

Parcela	Instalação hidráulica	CMB1	CMB3
$H_o(mca)$	-	33,15	33.15
$H_p(mca)$	-	50,20	51.20
$H_N(mca)$	-	37,39	37.97
$Q_N(m^3/h)$	-	63,30	68,54
a	33,15	50,20	51,20
b	1.058,00	-3.196,60	-2.816,10

Observando o modelo apresentado na Figura 98 é possível identificar cada ponto de interesse para a análise das curvas geradas, quais são apresentadas no Gráfico

33. Nesse caso, “P” (interecção entre a curva da bomba e o eixo das ordenadas) é a posição da pressão das bombas em posição de *shut-off*, “N” (interecção entre a curva da bomba e a curva do sistema hidráulico) indica os pontos de operação de cada curva de bomba e “O” (interecção entre a curva do sistema hidráulico e o eixo das ordenadas) indica o desnível geométrico da instalação hidráulica.

Figura 98: pontos de interesse para levantamento de curvas de bombas.

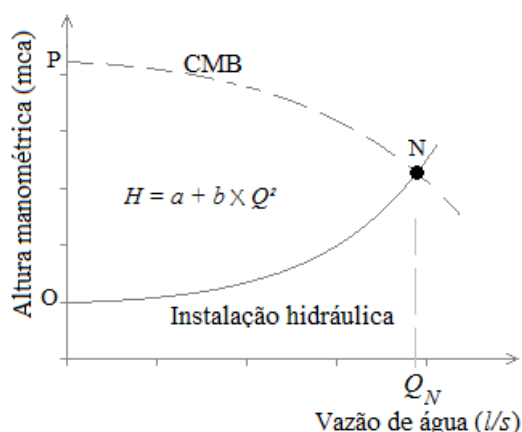


Gráfico 33: curvas das instalações hidráulicas²⁸ e curvas de bombas no setor Guanabara.

O mais importante a ser identificado é a diferença entre os pontos de operação de cada curva de bomba, onde CMB1 (considerado menos eficiente) possui capacidade de bombeamento inferior às demais curvas, principalmente, a curva de bomba do catálogo (nominal). Na Tabela 44 é apresentado o resumo do diagnóstico da EAT do setor Guanabara.

Tabela 44: resumo dos resultados do diagnóstico da EAT Guanabara.

Informações		CMB1	CMB3
Vazão (m³/s)		63,30	68,54
Pressão (mca)	Sucção	-5,94	-5,78
	Recalque	31,43	31,34
Total Head (mca)		37,97	37,39
Potência ativa (kW)		38,85	31,43
Utilização		61,50%	71,38%
kWh/m³		0,17	0,16
kWh/m³100mca		0,44	0,43

²⁸ As curvas das instalações hidráulicas para o CMB1 e para o CMB3 ficaram muito próximas e se sobrepõem no gráfico, por esse motivo foi utilizada somente a curva referente dos valores do CMB1.

Pelo exposto, por meio da análise das vazões de bombeamento e das potências ativas demandadas, bem como do comportamento do *ICE*, verifica-se que as manobras de registro de recalque dos CMBs diminuem a vazão de bombeamento e, dessa forma, causam o aumento no tempo de funcionamento dos equipamentos para elevar o mesmo volume de água ao REL. Além disso, o *ICE* aumenta, consequência do maior consumo de energia elétrica para bombear o mesmo volume de água. Essas condições operacionais fazem com que os CMBs atuem fora da faixa ideal de rendimento, portanto, demandando maior consumo de energia elétrica. Quando analisados os comportamentos das vazões de água com os níveis dos reservatórios no setor Guanabara, observados, é possível identificar os seguintes problemas operacionais:

i) Quando o nível do REL é máximo, o registro da tubulação de distribuição de água é manobrado no sentido de seu fechamento, provavelmente, algumas voltas, fato que ocorre regularmente em conjunto com acionamento do CMB de apoio da EAT. Esse fato faz com que a pressão na rede de distribuição de água se torne menor pela perda de carga localizada nesse ponto, o que prejudica o atendimento à população, principalmente, aquela que está localizada na ponta da rede (locais de menor pressão);

ii) Quando o nível do REL é mínimo, o mesmo registro é manobrado no sentido de sua abertura, provavelmente, algumas voltas, regularmente em conjunto com o acionamento do CMB de apoio da EAT. A abertura do registro faz com que a pressão na rede aumente, melhorando o serviço prestado, no entanto, torna o REL uma caixa de passagem, bem como forçando o CMB de apoio a trabalhar por mais tempo que o necessário, o que pode diminuir sua eficiência.

Figura 101: vazão de água × nível de reservatório no dia 26/12/2014.

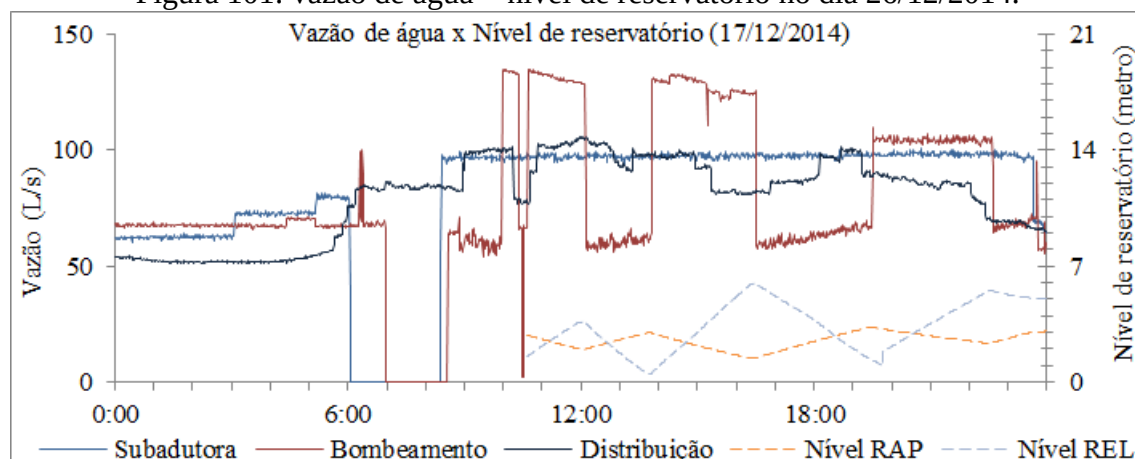
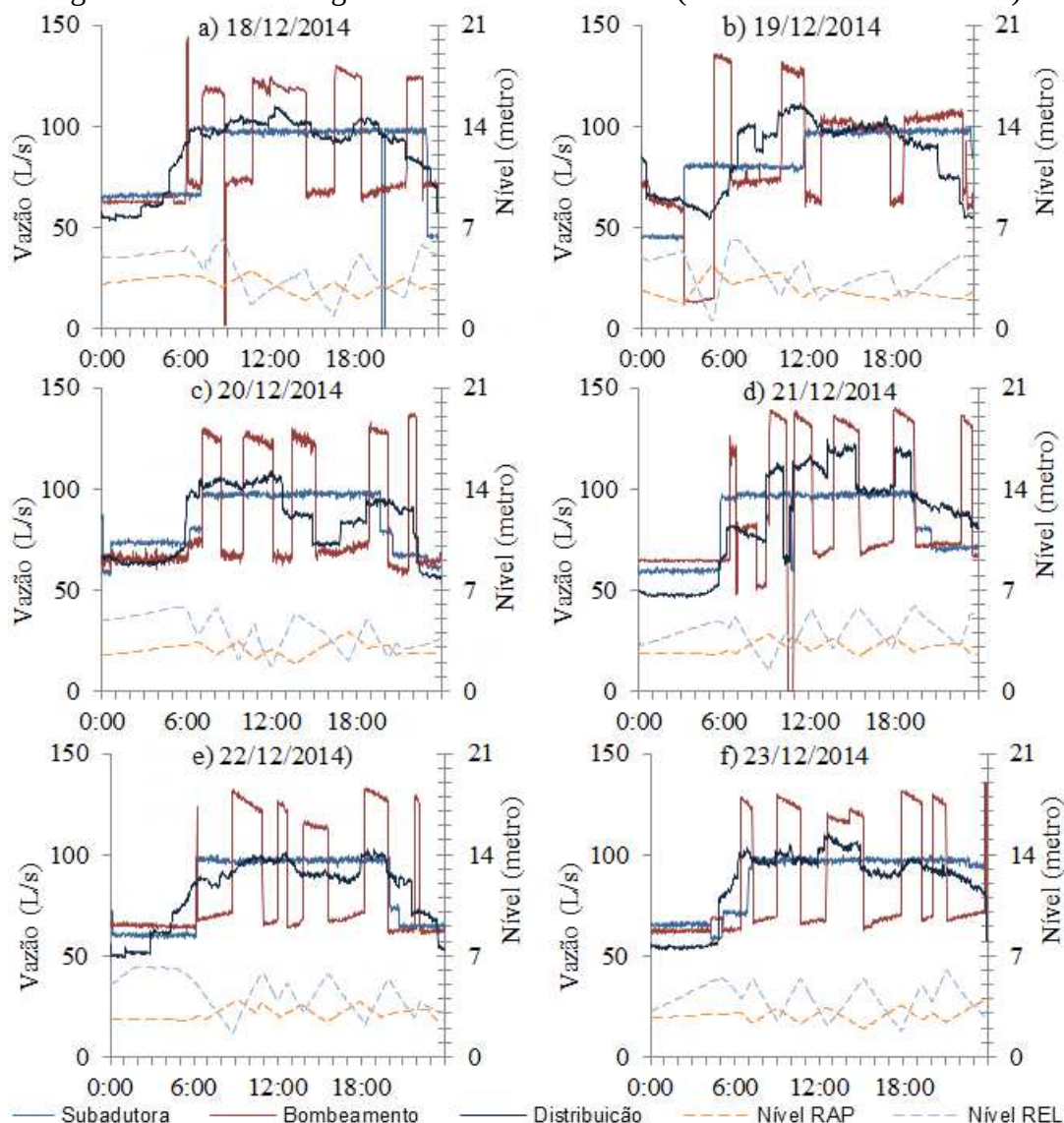


Figura 102: vazão de água × nível de reservatório (18/12/2014 a 22/12/2014).



Focando somente nos reservatórios a priori não são identificadas causas para o aumento de energia elétrica, mas sob a ótica sistêmica entende-se que a operação de níveis é função da demanda de água na rede de distribuição. Nesse caso, a operação de níveis de REL é provável consequência de elevadas perdas reais de água no setor Guanabara, que fazem com que sejam demandados volumes muito superiores ao necessário de água potável.

Logo, a partir da análise da operação resultante da inter-relação entre os reservatórios e a RDA, verifica-se a necessidade de operação de sistemas de bombeamento por mais tempo e, consequentemente, maior demanda de energia elétrica.

Por fim, a partir do diagnóstico hidroenergético do setor Guanabara, foi possível indicar as seguintes ações para melhoria do desempenho hidroenergético:

- Redução de perdas reais de água na RDA do setor, bem como do funcionamento por tempo prolongado dos equipamentos de bombeamento de água, que são causas do aumento do consumo de energia elétrica;

- Substituição das válvulas de retenção do setor, que não funcionam corretamente, fazendo com que a operação de acionamento e desligamento dos CMBs ocorra de forma inadequada, causando picos de consumo de energia elétrica, bem como colocando em risco a integridade dos mesmos;

- Mudança da rotina operacional na qual os CMBs trabalham com registros de recalque estrangulados, para diminuir o tempo de funcionamento dos mesmos, bem como diminuindo o consumo de energia elétrica por volume de água bombeado.

- Controle dos níveis de reservação, para utilização de todo o volume útil do reservatório elevado, diminuindo dessa forma o número de acionamentos e desligamentos dos CMBs, que ocorrem de forma equivocada e por isso, aumentam o consumo de energia elétrica.

4.2.2 Simulação hidroenergética da operação do SAA referência

4.2.2.4. Simulação das melhorias operacionais do Setor Guanabara no *Epanet* 2.0

O desenho das unidades do SAA Guanabara procedeu de duas formas: primeiramente, utilizando ferramenta específica de importação de dados do *AutoCad* (no caso foi utilizado *EpaCad*) para o desenho da rede de distribuição e em seguida manualmente para as demais unidades.

De acordo com o projeto do setor Guanabara a área de atendimento é apresentada na Figura 99, sendo nela desenhada sua rede de distribuição, conforme cadastro existente da COSANPA, como pode ser observado na Figura 100, com detalhe na EAT do setor Guanabara.

Figura 99: área de atendimento do setor Guanabara.

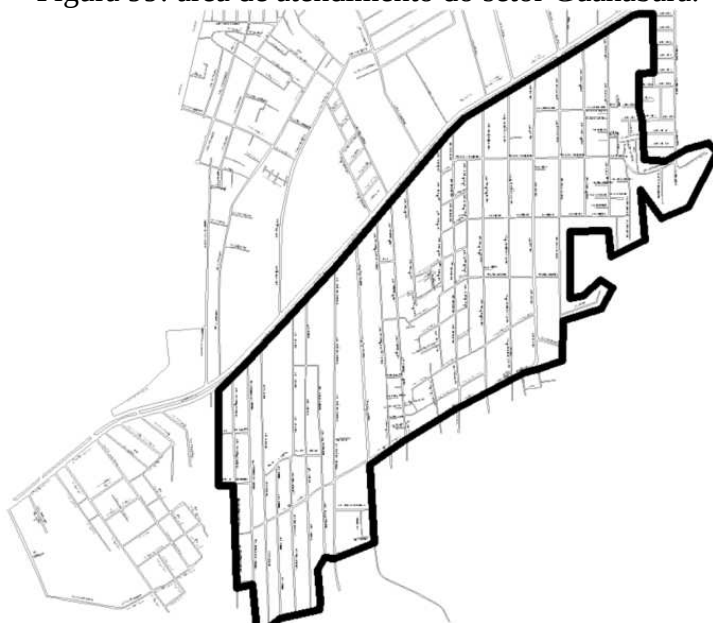
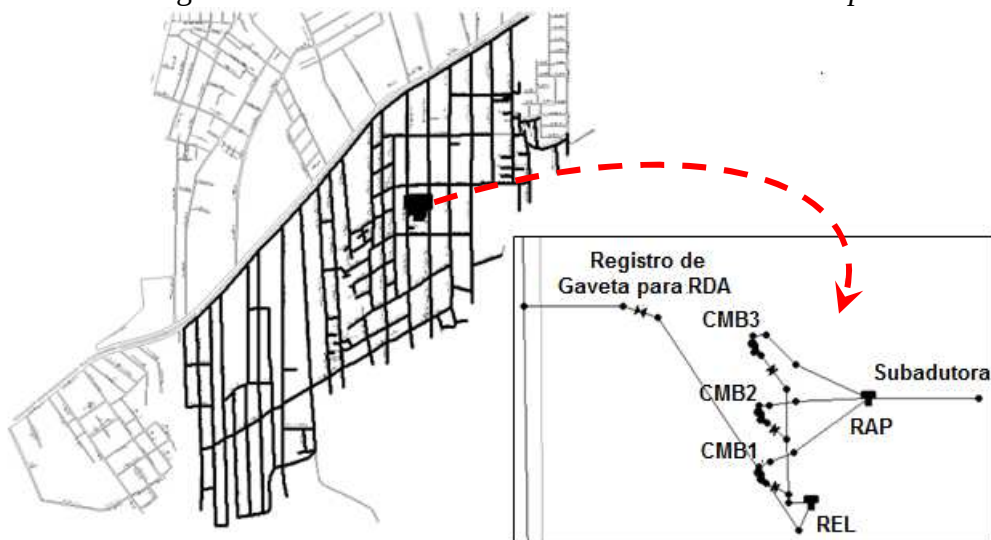


Figura 100: desenho da RDA do setor Guanabara no *Epanet 2.0*.



As primeiras informações a serem inseridas foram às cotas referentes aos nós da rede de distribuição, da EAT, dos reservatórios e da subadutora de água tratada, tudo de acordo com o cadastro da COSANPA. Vale observar que, como esperado em projetos de rede de abastecimento de água, as cotas mais elevadas estão próximas ao REL e as mais baixas estão nas margens da rede, respectivamente, próximas de 20 m e próximas de 14 m, conforme visto na Figura 101. Em seguida, foram inseridas as informações sobre os diâmetros dos trechos do setor Guanabara, de acordo com o cadastro fornecido pela COSANPA, sendo possível observar na Figura 102 que a maior parte da rede de distribuição possui diâmetros de 60 mm ou 85 mm e menor parte igual ou superior a 200 mm (no caso, 200 mm, 250 mm e 300 mm).

Figura 101: cotas dos nós do setor Guanabara no *Epanet 2.0*.

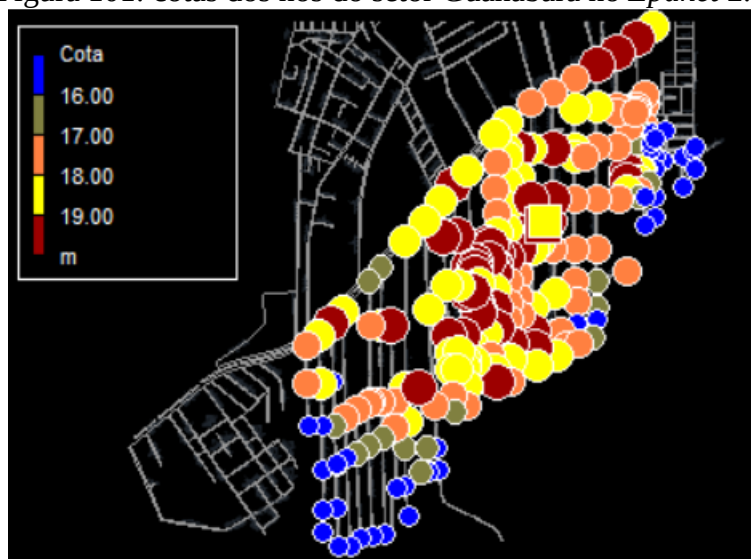


Figura 102: diâmetros dos trechos do setor Guanabara no *Epanet 2.0*.



Vale ressaltar que em relação aos comprimentos dos trechos, os mesmos foram importados junto ao desenho da RDA, sendo realizados ajustes em trechos que foram separadas em dois pelo *EpaCad* e no caso dos trechos da EAT, seus comprimentos foram inseridos manualmente. A maior parte dos trechos possui comprimento entre 300 m e 500 m, como pode ser observado na Figura 103:

Figura 103: comprimentos dos trechos do setor Guanabara no *Epanet* 2.0.



Para a simulação do SAA referência referente ao setor SAA Guanabara, foram consideradas mudanças estruturais na rede de distribuição de água do setor:

- Ponderando que, de acordo com o cadastro da COSANPA, há mais de um material de tubulações compondo a RDA do setor Guanabara, a simulação no *Epanet* 2.0 considerou toda a unidade sendo cadastrada com os mesmos diâmetros, porém em material plástico (PVC e deFoFo), no caso, com coeficiente C de Hazen –Williams igual a 140;

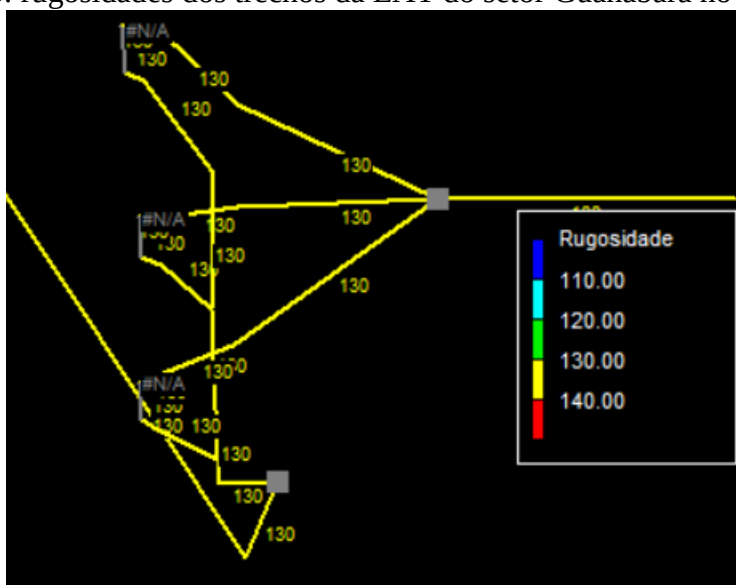
- No caso da EAT Guanabara, foram cadastrados o mesmo material encontrado no projeto, no caos, ferro fundido, com coeficiente C de Hazen-Williams igual a 130 e diâmetros, no caso, Ø 250 mm, Ø 300 mm e Ø 400 mm, verificados no atual projeto, bem como as curvas nominais dos CMB á instalados na unidade.

Dessa forma, a simulação do setor Guanabara, levou em consideração a infraestrutura em condições nominais, ou seja, novas, conforme observado na Figura 104 e na Figura 105 e, assim, espera-se que com as melhorias operacionais adotadas que o atendimento da demanda da população ocorra com pressão adequada em toda a unidade, com o menor consumo de energia elétrica.

Figura 104: rugosidades dos trechos da RDA do setor Guanabara no *Epanet* 2.0.



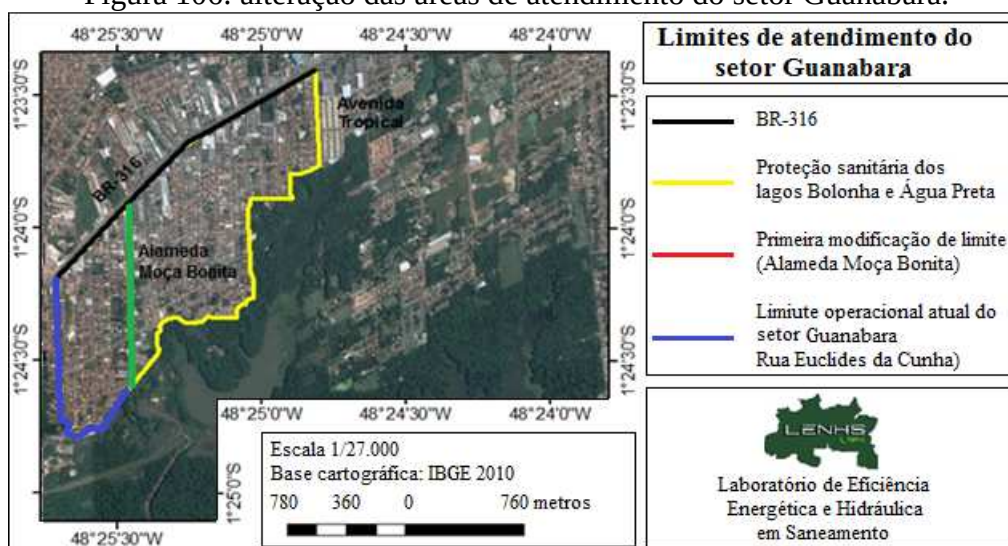
Figura 105: rugosidades dos trechos da EAT do setor Guanabara no *Epanet* 2.0.



Em relação à redução de perdas reais de água, é necessário entendimento das mudanças da área de atendimento do mesmo. Inicialmente, o projeto previa como limites para o setor Guanabara a Rodovia BR-316, a Passagem Haidee, a linha de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta e conjunto Jardim Tropical.

No entanto, a área de abrangência foi modificada duas vezes em relação ao projeto executivo: a primeira alteração ocorreu por razões administrativas, passando da Passagem Haidee para a Alameda Moça Bonita (divisa entre os municípios Belém e Ananindeua) e na segunda alteração foi aumentada a área de abastecimento do setor Guanabara, sendo transferido o limite para a Rua Euclides da Cunha, sendo esse o atual limite de abastecimento, conforme observado Figura 106.

Figura 106: alteração das áreas de atendimento do setor Guanabara.



Para a determinação do SAA referência foi considerada a área referente à primeira modificação de limite do setor para o cálculo da demanda de água no setor Guanabara, o qual possui, segundo dados da COSANPA, 4.440 economias (soma entre 1.864 ativas, 1.876 economias), excluindo, portanto, a exportação para 700 economias fora da área de atendimento, referente ao bairro vizinho da Cabanagem. Nesse sentido, a simulação considera a RDA como setorizada, resultando, portanto, em 3.740 economias.

Dessa forma, ao considerar também o valor de 4,6 habitantes por economia (PARÁ, 2004) e o consumo *per capita* de 200 l/hab.dia (valor que inclui perdas reais consideradas controladas), tem-se demanda diária de 3440,80 m³ ou 39,824 l/s,

conforme Tabela 45. Esse valor foi distribuído pelos nós da RDA do setor Guanabara, de acordo com o primeiro limite do setor Guanabara, proporcionalmente às suas áreas de influência, as quais são mostradas na Figura 107, sendo que é possível ter idéia dos valores de consumo-base em cada nó na Figura 108.

Tabela 45: dados para o calculo da demanda de água.

Dados	Valor
Economias (unidades)	3.740
Número de habitantes/Economia (hab./econ.)	4,60
Demanda per capita (l/hab.)	200,00
Demanda do setor (m ³ /dia)	3440,80
Demanda do setor (l/s)	39,82

Figura 107: áreas de influência dos nós na RDA do setor Guanabara no AutoCad.

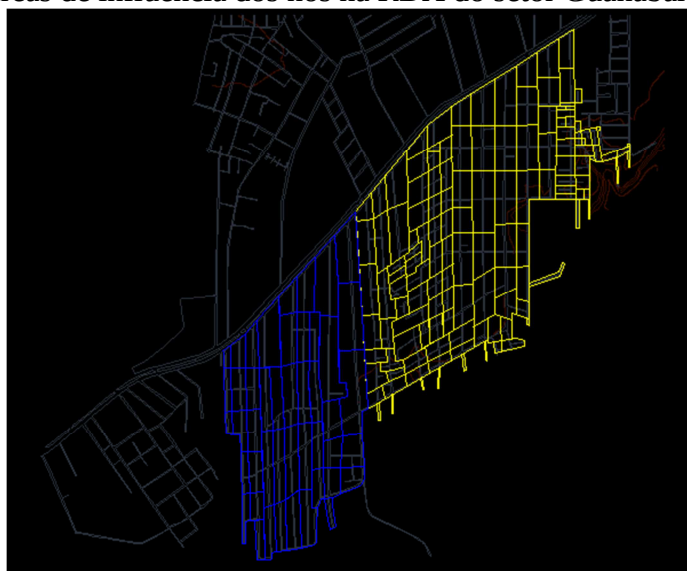
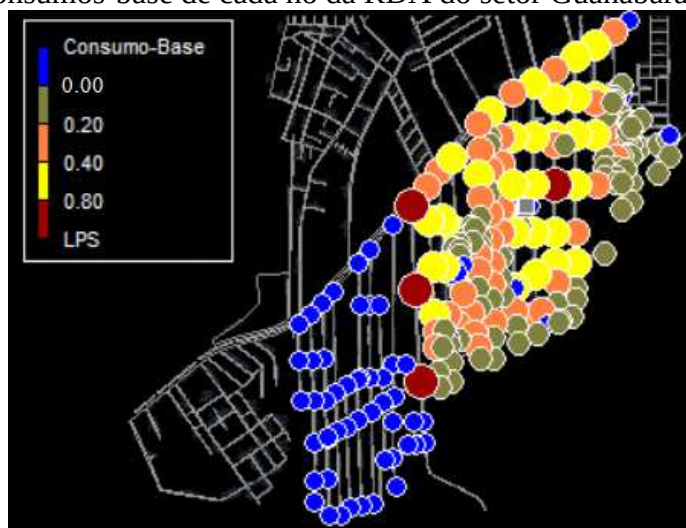


Figura 108: consumos-base de cada nó da RDA do setor Guanabara no Epanet 2.0.



Observando que a demanda calculada, no caso 39,82 l/s, não pode ser considerada constante ao longo do dia, foi necessário elaborar curva com valores de coeficiente de consumos horários para desenvolvimento do hidrograma de distribuição do setor Guanabara. Para isso seria necessário, averiguar hidrogramas de setores de distribuição semelhantes ao investigado nessa pesquisa, para determinação dos referidos coeficientes horários e estes aplicados à demanda calculada para obtenção do hidrograma, o que não foi possível.

Dessa forma, foi admitido hidrograma de distribuição, onde foram estipulados o pico de demanda entre 11:00 e 13:00 (atribuindo então coeficiente no valor de 1,5) e o horário de menor demanda às 23:00 (atribuindo o coeficiente de 0,6). Assim, utilizando a equação (60), foi possível estimar os valores horários de vazão, conforme Tabela 46.

$$Q_i = K_1 \times Q_{média} \quad (60)$$

Onde:

Q_i : é a vazão horária distribuída (l/s);

K_1 : é o coeficiente horário de demanda;

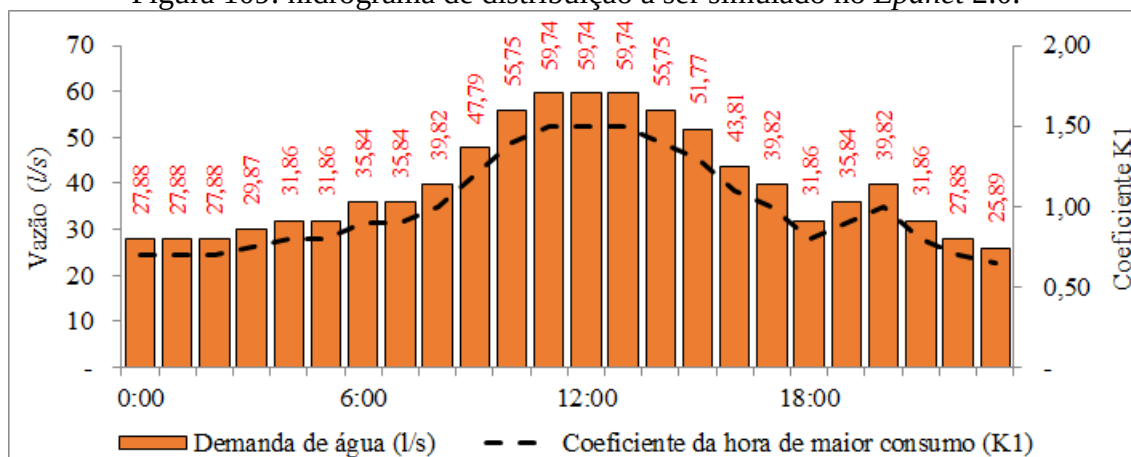
$Q_{média}$: é a vazão horária média (l/s);

Tabela 46: coeficientes horários de demanda de água e vazões horárias de água distribuídas no setor Guanabara.

Padrão de consumo	K_1	Vazão (l/s)	Padrão de consumo	K_1	Vazão (l/s)
00:00	0,70	27,88	12:00	1,50	59,74
01:00	0,70	27,88	13:00	1,50	59,74
02:00	0,70	27,88	14:00	1,40	55,75
03:00	0,75	29,87	15:00	1,30	51,77
04:00	0,80	31,86	16:00	1,10	43,81
05:00	0,80	31,86	17:00	1,00	39,82
06:00	0,90	35,84	18:00	0,80	31,86
07:00	0,90	35,84	19:00	0,90	35,84
08:00	1,00	39,82	20:00	1,00	39,82
09:00	1,20	47,79	21:00	0,80	31,86
10:00	1,40	55,75	22:00	0,70	27,88
11:00	1,50	59,74	23:00	0,65	25,89

Dessa forma, o hidrograma de distribuição no setor Guanabara se apresentou conforme Figura 109, onde a maior vazão observada foi de 59,74 l/s (para o coeficiente da hora de maior demanda de 1,5) e a menor vazão foi de 25,89 l/s (para o coeficiente da hora de menor consumo de 0,65).

Figura 109: hidrograma de distribuição a ser simulado no *Epanet 2.0*.

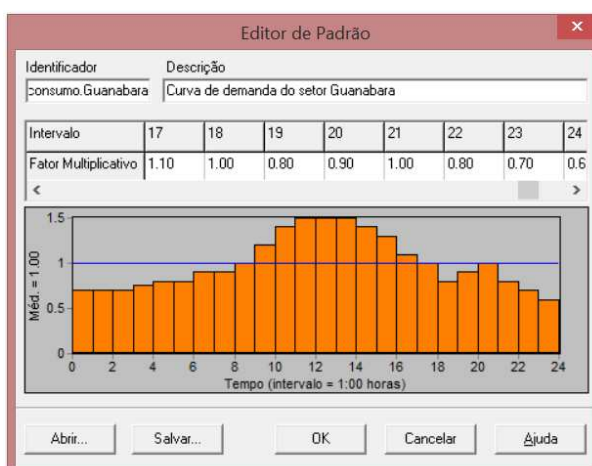
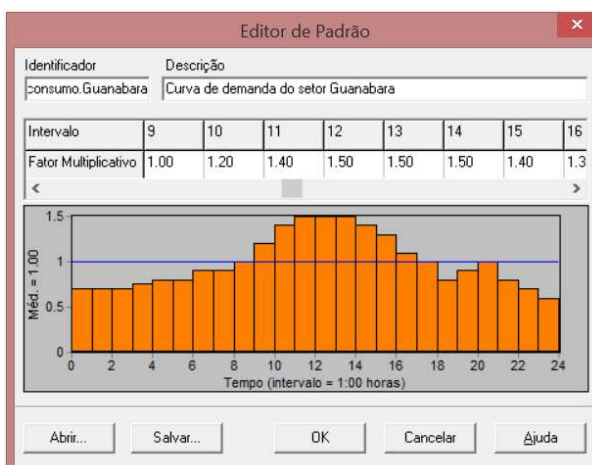
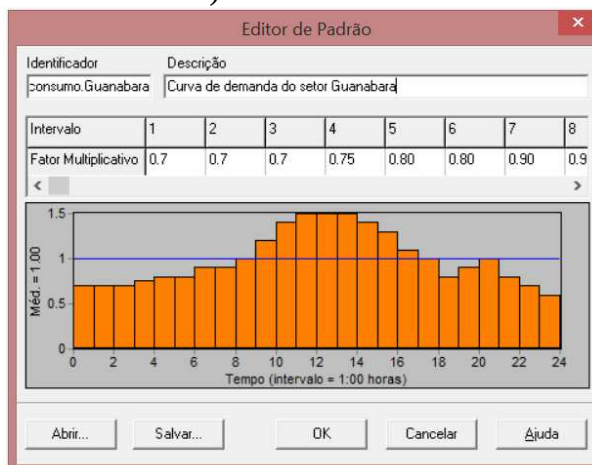


Em relação ao coeficiente do dia de maior consumo (K_2), o uso do mesmo não é interessante para o estudo em questão, pois ao se elevar a vazão diária, por exemplo, a valor de 80% da vazão diária média, os resultados do cálculo de perdas de água e de energia elétrica se tornam completamente subestimados. Isso se explica pelo fato da simulação considerar, nesse caso, uma demanda de água supervalorizada em detrimento do uso do dia de maior consumo em relação aos 364 outros dias do ano.

Nesse sentido, considerar o coeficiente do dia de maior consumo pode, inclusive, revelar a situação errônea em que os valores monitorados de volumes de água e consumo de energia elétrica sejam inferiores aos valores simulados, pois o dia de maior consumo consiste em uma situação atípica de demanda superestimada para projetos de SAA, para segurança na operação do mesmo. Logo, o ideal é que o monitoramento, inclusive, seja realizado em dias normais de consumo, para que os valores de volumes de água e consumo de energia elétrica representem com mais fidelidade à realidade do SAA.

A variação de demanda de água a ser simulada para o setor Guanabara no *Epanet 2.0* é simulada, a partir dos fatores multiplicativos, que traduzem os coeficientes horários de demanda, conforme a Figura 110:

Figura 110: fatores multiplicativos (coeficientes horários de vazão) para a variação da demanda no setor Guanabara no *Epanet 2.0*. a) da hora 1 até a hora 8; b) da hora 9 até a hora 16 e c) da hora 17 até a hora 24.



O modelo de bomba utilizado na simulação o mesmo identificado na EAT do setor Guanabara, no caso, a Bomba IMBIL - 125-330 (1750 RPM). Nesse sentido, foram identificados os valores das curvas da bomba e de rendimento no catálogo fornecido pelo fabricante para posterior cadastro no *Epanet* 2.0. Os valores da curva da bomba utilizados na simulação do SAA referência encontram-se na Tabela 47 e de rendimento na Tabela 48, assim como os respectivos cadastros na Figura 111 e na Figura 112.

Tabela 47: dados da curva “ $H \times Q$ ” da bomba IMBIL - 125-330 (1750 RPM).

Vazão (m³/s)	Carga (m)
13,80	54,50
27,70	53,80
41,60	53,00
55,60	51,40
69,40	48,20
83,30	44,00
97,20	38,00
111,10	30,00
120,80	21,80

Tabela 48: dados da curva “ $\eta \times Q$ ” da bomba IMBIL - 125-330 (1750 RPM).

Vazão	Rendimento
13,89	40,00
27,78	61,00
41,67	72,00
55,56	78,00
69,44	81,00
83,33	79,00
97,22	73,00
111,10	63,00

Figura 111: curva da bomba cadastrado no *Epanet* 2.0.

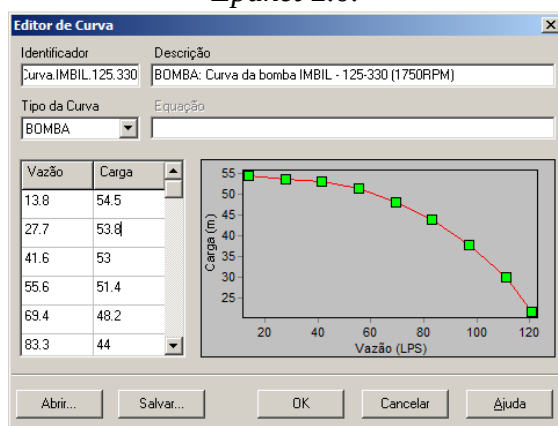
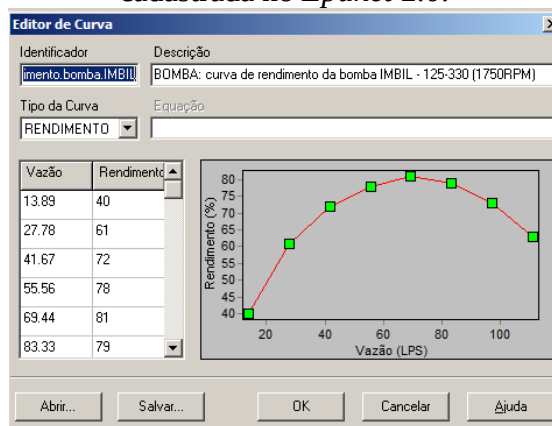


Figura 112: curva de rendimento da cadastrada no *Epanet* 2.0.



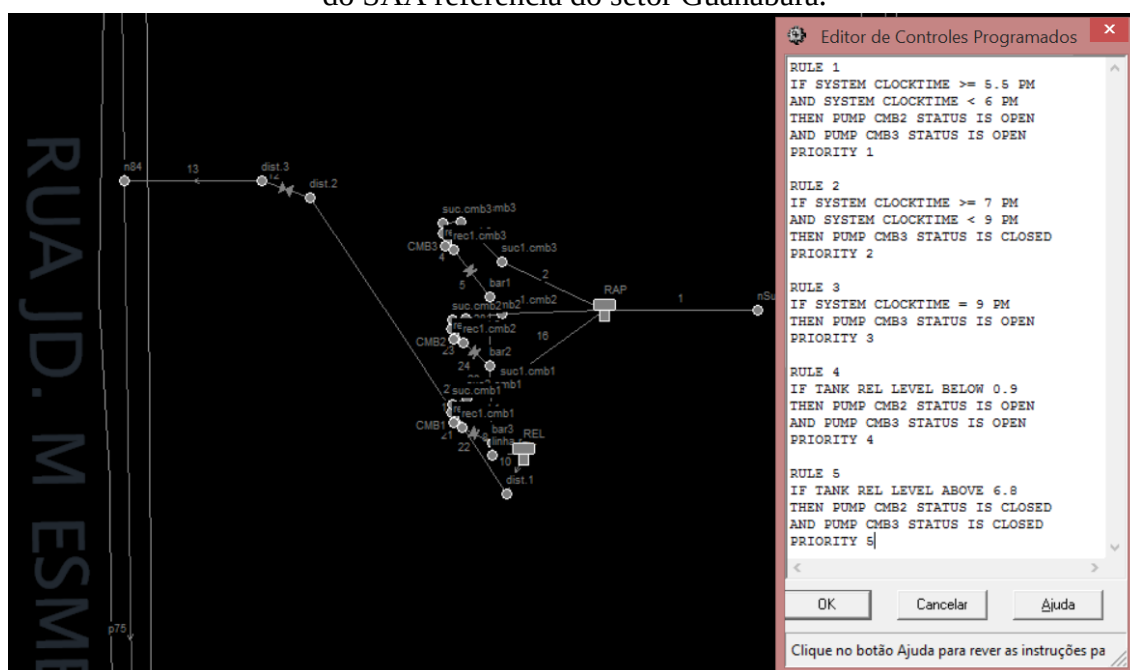
Os reservatórios (RAP e REL) do Guanabara foram representados na simulação por reservatórios de níveis variáveis (RNV's), que representam um volume de armazenamento de água de capacidade de armazenamento limitada, com volumes que podem variar ao longo da simulação. Os dados cadastrados, observados na Tabela 49, levaram em consideração as melhorias operacionais citadas na etapa de diagnóstico e, portanto, visa ocorrência de todo o volume útil do REL na simulação da operação do SAA referência.

Tabela 49: propriedades cadastradas para o RAP e REL do setor Guanabara.

Parâmetros	RNV RAP	RNV REL
Cota	18,50	45,15
Altura inicial	3,80	6,80
Altura máxima	3,80	6,80
Altura mínima	0,50	0,50
Diâmetro	16,90	9,53

Para a simulação foram utilizados controles programados estabelecendo duas regras para o acionamento e desligamento dos CMBs, relacionadas às alturas máxima e mínima dos reservatórios. No caso, foram utilizados somente os CMB2 e CMB3 na operação, ficando o CMB1 como reserva na operação do SAA referência. Na Figura 113 são apresentados os controles programados aplicados à simulação.

Figura 113: controles programados aplicados para determinação da rotina operacional do SAA referência do setor Guanabara.



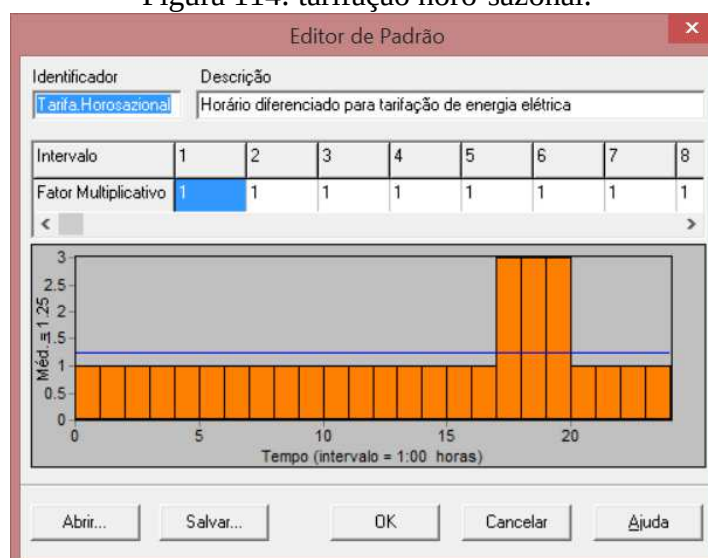
A regra 1 (“rule 1”) fez com que a EAT pouco antes do período de horário de ponta da tarifação do consumo de energia elétrica, no caso, entre 17:30 e 18:00, o CMB2 e o CMB3 fossem ligados para recuperação do volume útil do REL, possibilitando, então, a parada da EAT entre 18:00 e 21:00.

A regra 2 (“rule 2”) fez com que o CMB3 permanecesse desligado de 19:00 até 21:00, mesmo com o nível do REL chegando ao mínimo. A regra 3 (“rule 3”) fez com que no término do horário de ponta, no caso às 21:00, o CMB3 fosse acionado para a recuperação do nível do REL.

As regras 4 e 5 (“rule 4” e “rule 5”) fizeram com que os CMBs 2 e 3 fossem ligados e desligados de acordo com o nível mínimo e máximo do REL do setor Guanabara, respectivamente, 0,90 m e 6,80 m, conforme indicação da própria COSANPA para evitar tórtices e extravasamento. Sumprimindo assim os problemas operacionais de níveis de reservatórios identificados no diagnóstico hidroenergético.

Por fim, mesmo o **SADHE2A v. Beta** não possuindo, ainda, módulo específico para realizar análise tarifária para SAA²⁹, a simulação adotou o sistema horo-sazonal, diferenciando as tarifas para horário de ponta e fora de ponta. Isso foi feito apenas para futuras comparações entre despesas com energia elétrica, referentes a diferentes contratos tarifários. Na Figura 114 é apresentado o padrão cadastrado no *Epanet 2.0* para fazer a diferenciação da tarifação aplicada ao setor das 18:00 às 21:00.

Figura 114: tarifação horo-sazonal.



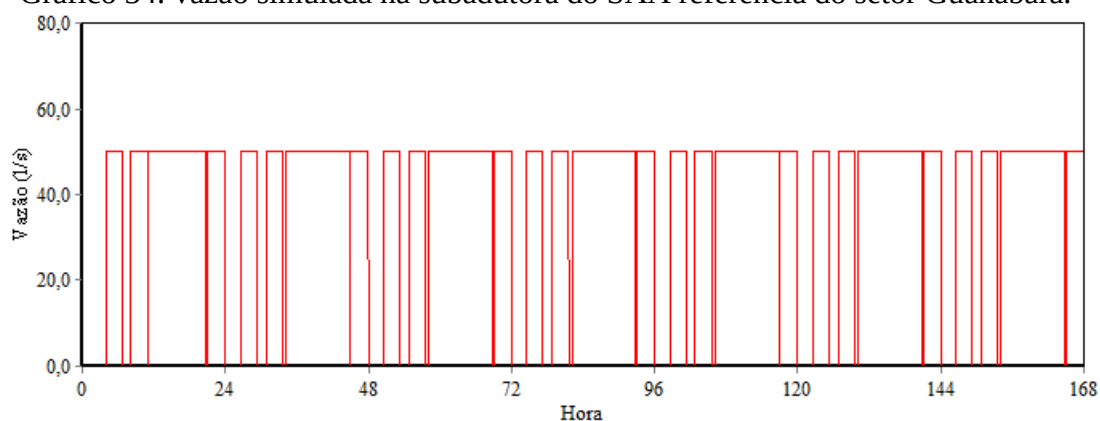
²⁹ Fato que será abordado nas recomendações para pesquisas futuras.

4.2.2.5. Comportamento das grandezas hidráulicas e elétricas no SAA referência

a) Vazões de água no SAA referência

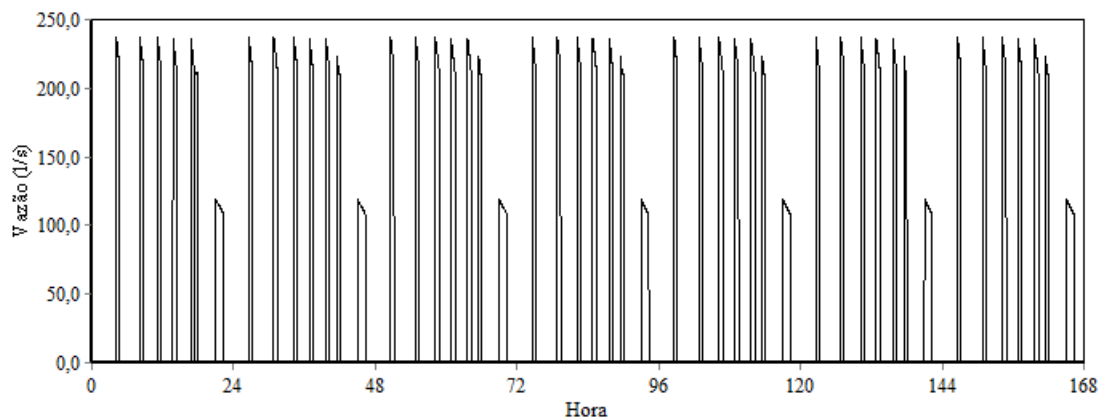
Iniciando a análise com as vazões na subadutora, são observados padrões bem definidos no SAA referência no Gráfico 34 (exportado diretamente do *Epanet 2.0*), o que não ocorria na operação do SAA diagnosticado. Vale ressaltar que os valores de vazão simulada na subadutora foram iguais a 50 l/s e, portanto, muito inferior ao valor diagnosticado de 96,40 l/s e com tempo de operação inferior, o que atendeu perfeitamente a operação do setor, graças a redução de perdas e setorização modelada no *Epanet 2.0*.

Gráfico 34: vazão simulada na subadutora do SAA referência do setor Guanabara.



No caso da vazão bombeada, cujo comportamento pode ser observado no Gráfico 36, verifica-se padrão bem definido, com 6 momentos em que a EAT funciona. Esse fato é bem distinto do diagnóstico em que a mesma operava praticamente em tempo integral ao longo das 168 horas (7 dias).

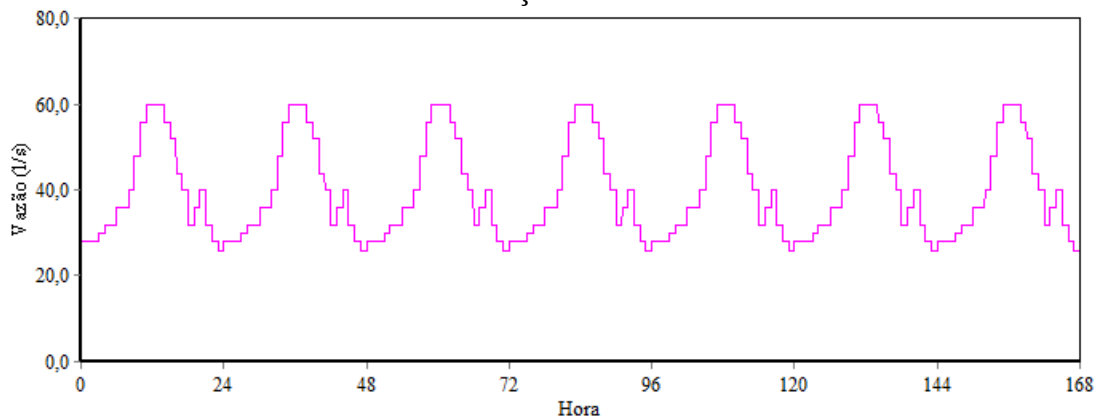
Gráfico 35: vazão simulada bombeada do SAA referência do setor Guanabara.



Vale ressaltar que as vazões simuladas do bombeamento de água também são bastante distintas dos valores do diagnóstico. Os valores da operação do SAA referência tem mediana de 225,69 l/s, o qual é superior, inclusive ao valor máximo medido no SAA diagnosticado, que é de 144,49 l/s, fato que demonstra o quão é possível diminuir o tempo de funcionamento dos CMBs.

Em se tratando da vazão de água distribuída, observada no Gráfico 36, a mesma apresenta o padrão estabelecido pelo consumo base e pela curva do padrão de consumo (fatores multiplicativos) cadastrados no *Epanet* 2.0. A vazão distribuída no pico de demanda de água foi de 59,74 l/s, equivalente a apenas 47,08% do valor máximo diagnosticado, no caso, de 124,83 l/s. Vale ressaltar que a vazão máxima distribuída é, ainda, superior 29,22% do valor mínimo diagnosticado, no caso, 46,23 l/s.

Gráfico 36: vazão simulada de distribuição do SAA referência do setor Guanabara.



b) Potência elétrica ativa demandada no SAA referência

O *Epanet* 2.0 possui a limitação de não fornecer relatório da potência demandada de cada CMB modelado do SAA e nesse caso, foi necessário recorrer a curvas características do equipamento instalado na EAT do setor Guanabara. Nesse caso, foram criadas a partir do Excel duas equações que representassem bem as curvas “ $H \times Q$ ” (curva característica de altura manométrica e vazão de água) e “ $\eta \times Q$ ” (curva característica de rendimento e vazão de água).

Os pares ordenados de altura manométrica e vazão (observados na Tabela 50) e de rendimento e vazão de água (observados na Tabela 51) cadastrados no *Epanet* 2.0 foram utilizados para gerar o Gráfico 37 e o Gráfico 38, ambos do tipo dispersão. Em seguida foram inseridas linhas de tendência do tipo polinomial de ordem 2,

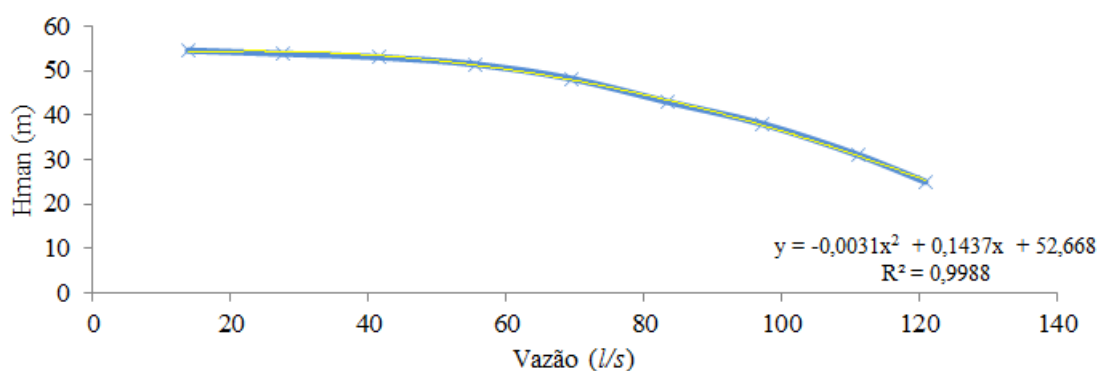
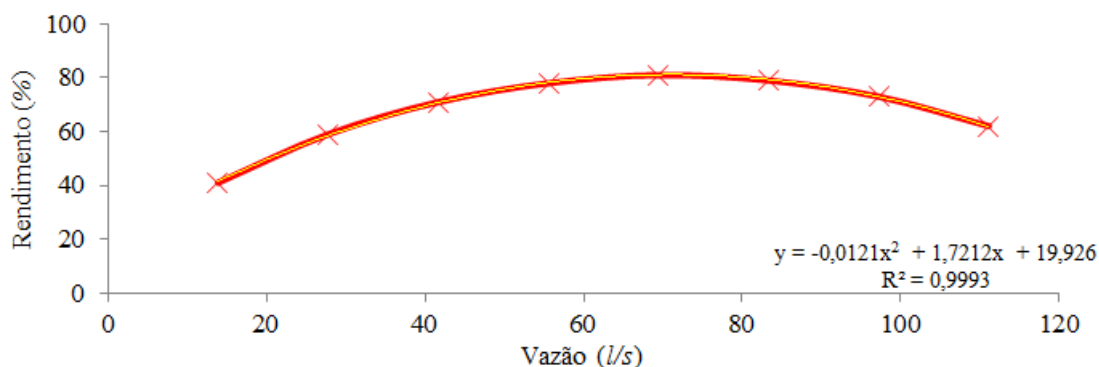
resultando na Equação para o cálculo da altura manométrica e na Equação x para o cálculo do rendimento, ambas em função da vazão bombeada.

Tabela 50: curva de “ $H \times Q$ ”.

Vazão (l/s)	Hman (m)
13,80	54,50
27,70	53,80
41,60	53,00
55,60	51,40
69,40	48,20
83,30	43,00
97,20	38,00
111,10	31,00
120,80	25,00

Tabela 51: curva “ $\eta \times Q$ ”.

Vazão (l/s)	Rendimento (%)
13,89	41,00
27,78	59,00
41,67	71,00
55,56	78,00
69,44	81,00
83,33	79,00
97,22	73,00
111,11	62,00

Gráfico 37: curva de “ $H \times Q$ ” e linha de tendência.Gráfico 38: curva “ $\eta \times Q$ ” e linha de tendência.

Utilizando as equações geradas e mostradas no Gráfico 37 e o Gráfico 38, foi possível calcular as alturas manométricas e os rendimentos para os mesmos valores de vazão definidos anteriormente na Tabela 50 e na Tabela 51 e também os erros relativos para cada faixa de valores. Os resultados são apresentados na Tabela 52 e na Tabela 53, onde são observados erros relativos variando aproximadamente $\pm 1\%$ no caso do cálculo da altura manométrica e variando entre -0,51% a 1,22% no caso do cálculo do rendimento do CMB.

Tabela 52: altura manométrica calculada com a equação obtida e valores de erro.

Vazão (l/s)	Hman (m)	Erro (%)
13,80	54,1104	-0,71%
27,70	54,3696	1,06%
41,60	53,4309	0,81%
55,60	51,2747	-0,24%
69,40	47,9599	-0,50%
83,30	43,4275	0,99%
97,20	37,6973	-0,80%
111,10	30,7691	-0,74%
120,80	25,2247	0,90%

Tabela 53: rendimento calculado com a equação obtida e valores de erro.

Vazão (l/s)	Rend. (%)	Erro (%)
13,89	41,50	1,22%
27,78	58,40	-1,01%
41,67	70,64	-0,51%
55,56	78,20	0,26%
69,44	81,10	0,12%
83,33	79,33	0,42%
97,22	72,90	-0,14%
111,11	61,79	-0,34%

Dessa forma, utilizando os dados calculados para altura manométrica e rendimento para todo o período de simulação do SAA referência, bem como a Equação (61) e as transformações de medidas necessárias, foram calculadas as potências ativas demandadas simuladas.

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{\eta_{cmb}} \quad (61)$$

Onde:

P : Potência elétrica (Watt);

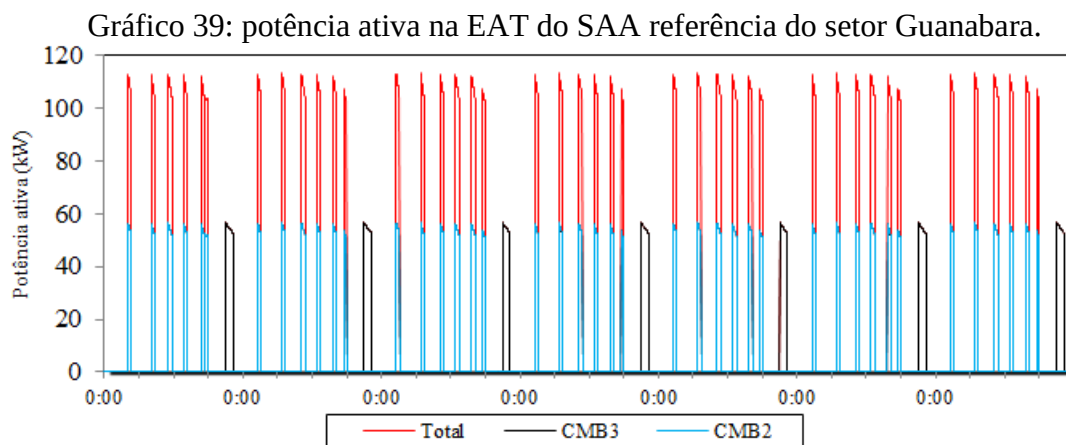
γ : peso específico do líquido (N/m^3);

Q : vazão (m^3/s);

H_{man} : altura manométrica (m).

η_{cmb} : rendimento do motor elétrico;

O comportamento da potência ativa total demandada pelo SAA referência, bem como a do CMB2 e do CMB3 são apresentadas no Gráfico 39, onde se observa também que os padrões são bem definidos e com valores muito superiores aos do SAA diagnosticado. Enquanto no monitoramento hidroenergético a mediana da potência ativa foi de 86,46 kW, na simulação da operação do SAA referência a mediana da potência demandada pelos conjuntos CMB2 e CMB3 foi de 108,38 kW, pois a operação é com sessão plena de barrilete e recalque, ou seja, não há manobra de registro para controle de vazão ou de potência demandada como ocorre no SAA diagnosticado.



Outro ponto muito importante é a operação no horário de ponta de tarifação do consumo de energia elétrica (horário da maior tarifa), na qual os CMBs não funcionam no SAA referência, conforme observado no Gráfico 40 e no Gráfico 41. Nesse caso, é possível estabelecer contrato com diferenciação de tarifa de energia elétrica o que proporciona diminuição das despesas referentes ao consumo no setor Guanabara. Vale ressaltar, ainda, que apenas o CMB3 funciona após o horário de ponta.

Gráfico 40: potência ativa demandada pelo CMB2 em um dia de operação.

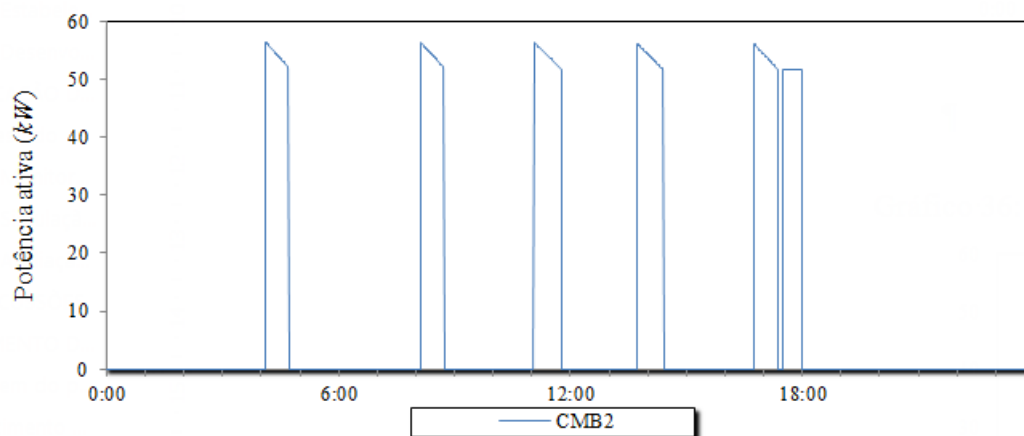
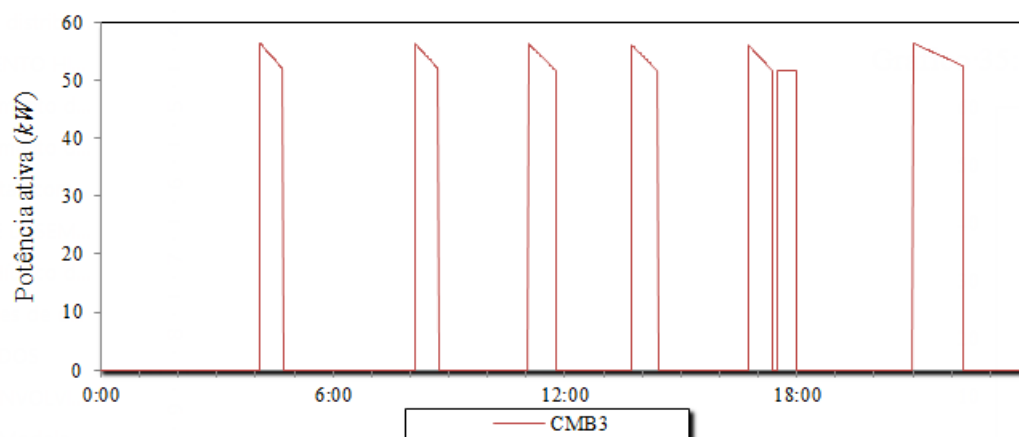
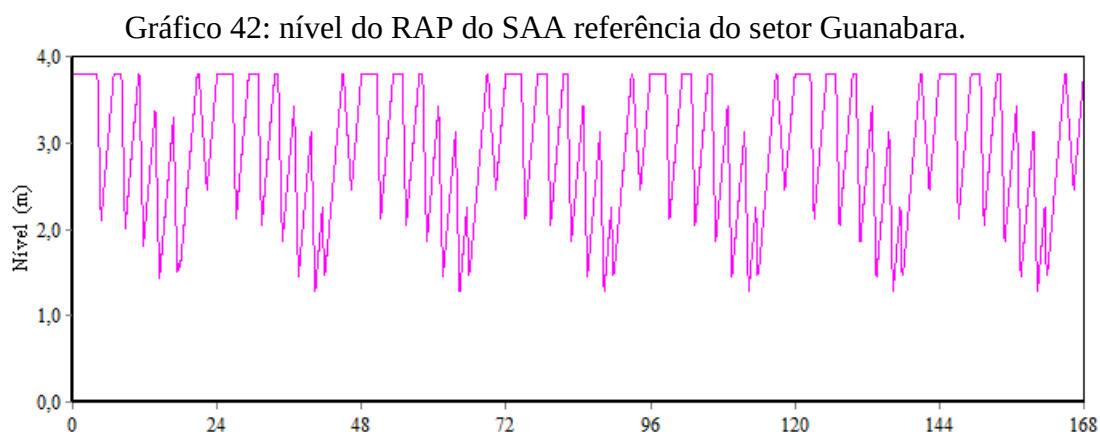


Gráfico 41: potência ativa demandada pelo CMB3 em um dia de operação.

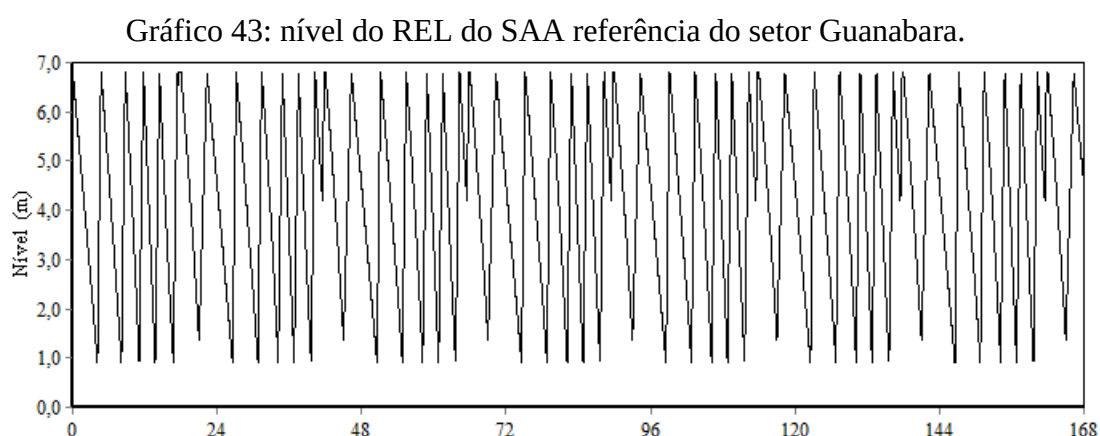


c) Níveis de água nos reservatórios do SAA referência

No caso dos níveis de reservação, o comportamento registrado no RAP e observado no Gráfico 42 apresenta padrão bem definido, inclusive com boa manutenção do nível máximo do RAP na primeira metade dos dias ao longo da simulação do SAA referência, sem extravasamento como ocorreu no SAA diagnosticado.

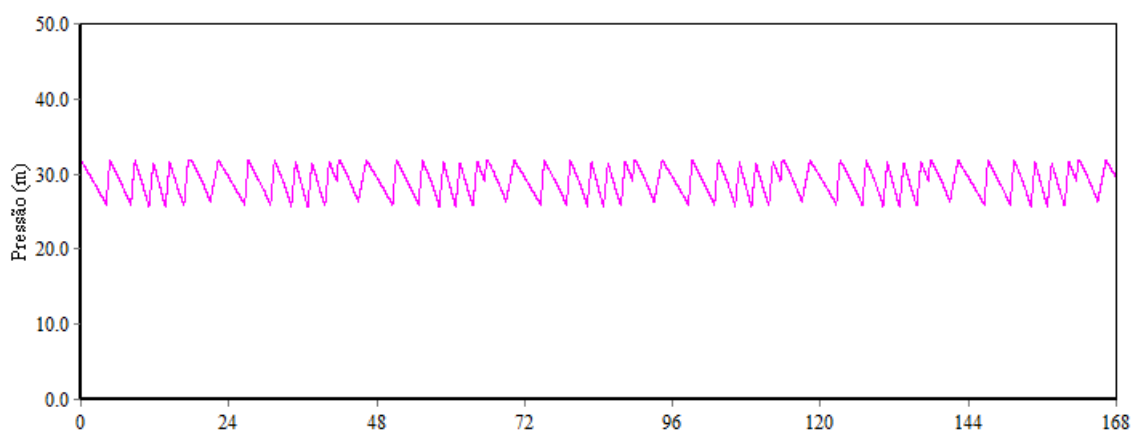


O comportamento registrado no REL e observado no Gráfico 43 também apresenta padrão bem definido e diferentemente do SAA diagnosticado, nele são identificados diversos momentos em que o nível mínimo de água é atingido, no caso, 5 vezes diariamente. O nível de água do REL no SAA referência flutuou, de acordo com o planejamento, entre o valor mínimo de 0,9 m e o valor máximo de 6,8 m, portanto, utilizando todo o volume útil de reservação, o que não ocorria no SAA diagnosticado.



Em relação ao ponto mais desfavorável na RDA do SAA referência, foi registrada a pressão mínima de 25,65 *mca*, sempre às 12:48 ao longo das 168 horas simuladas (7 dias). O referido valor é, inclusive, muito superior ao registrado no monitoramento, no caso, 11,75 *mca*, portanto, 218,29% superior à pressão no SAA diagnosticado e 256,5% superior ao valor mínimo normativo que é de 10 *mca*.

Gráfico 44: pressão no ponto mais desfavorável da RDA do SAA referência.



Por fim, será apresentado na sequência o relacionamento entre os dados das grandezas hidráulicas e elétricas levantados na simulação hidroenergética do SAA referência do setor Guanabara, para constatação das correções operacionais realizadas no mesmo.

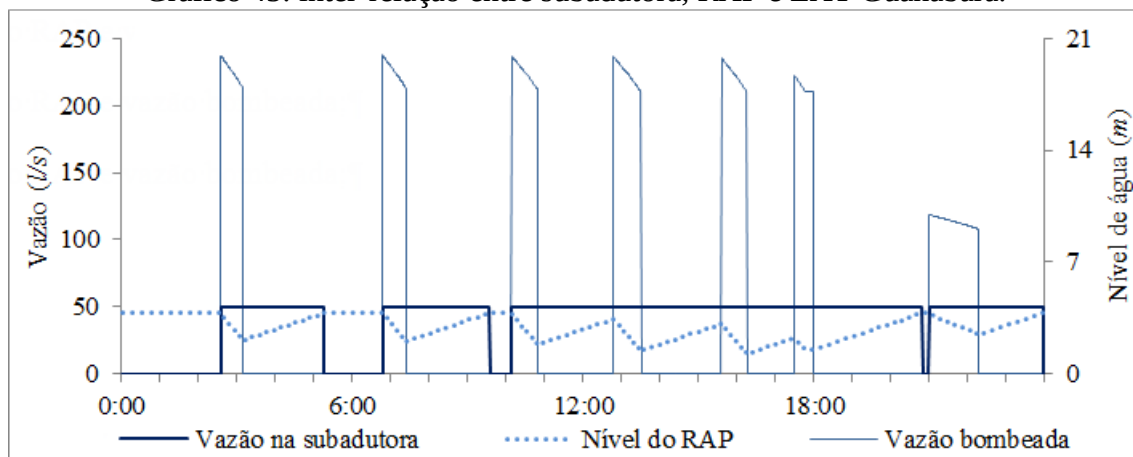
4.2.2.6. Análise da rotina operacional no SAA referência

A análise do inter-relacionamento entre as unidades do SAA referência procedeu utilizando 5 gráficos com relacionamento de dados provenientes da simulação no *Epanet 2.0*, no caso:

- Relação vazão de subadutora $\times$ nível no RAP $\times$ vazão bombeada;
- Relação nível no RAP $\times$ vazão bombeada $\times$ nível no REL;
- Relação “vazão bombeada $\times$ nível no REP $\times$ vazão distribuída”;
- Relação “nível no RAP $\times$ potência ativa total $\times$ vazão bombeada”;
- Distribuição de pressão na RDA ao longo do dia;

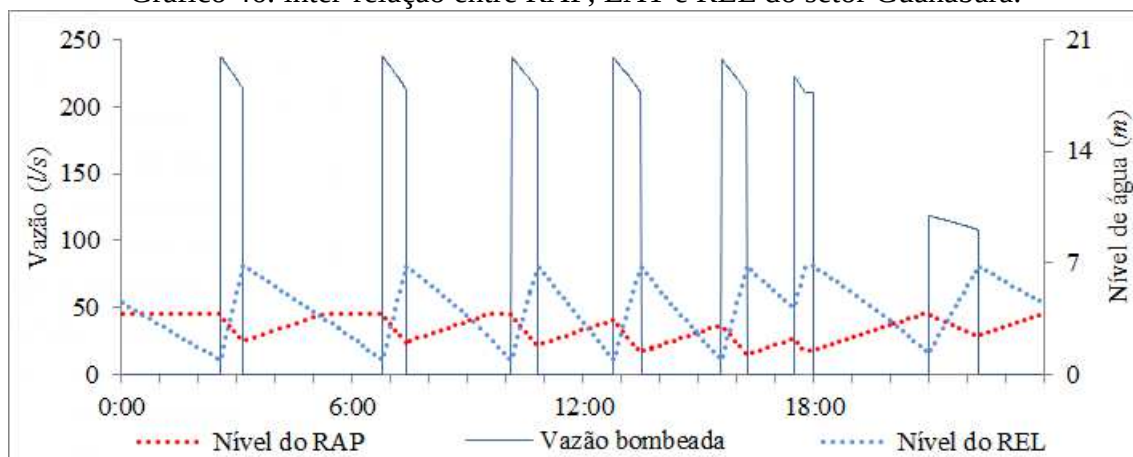
O comportamento entre a vazão de água na subadutora e o nível de água no RAP e a vazão de água bombeada: nesse caso, observa-se no Gráfico 45 a manutenção do nível máximo em três períodos distintos na primeira metade do dia que vai diminuindo na medida em que a EAT opera. Vale ressaltar que no exato momento em que a EAT inicia o primeiro, o segundo e o sétimo ciclo de operação, também é realizada abertura do registro de controle de vazão na subadutora.

Gráfico 45: inter-relação entre subadutora, RAP e EAT Guanabara.



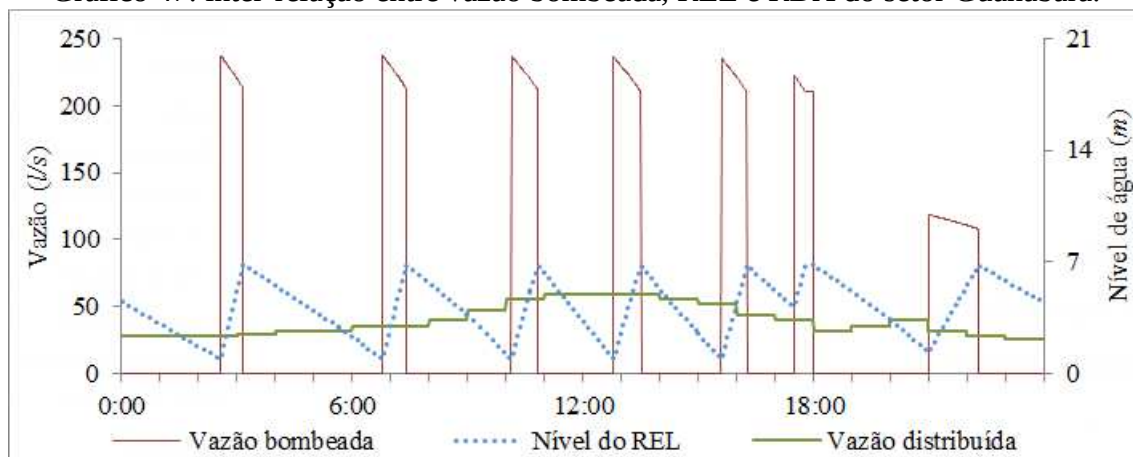
Relação entre o RAP a EAT e o REL do SAA referência: observam-se os comportamentos dos referidos níveis e vazões no Gráfico 46, sendo imprescindível ressaltar o comportamento de valores mínimos e máximos se alternam perfeitamente (fato que não ocorre no SAA diagnosticado). A excessão é no momento imediatamente anterior ao horário de ponta da tarifação de energia elétrica, pois há a necessidade de recuperação de nível para que a EAT não opere.

Gráfico 46: inter-relação entre RAP, EAT e REL do setor Guanabara.



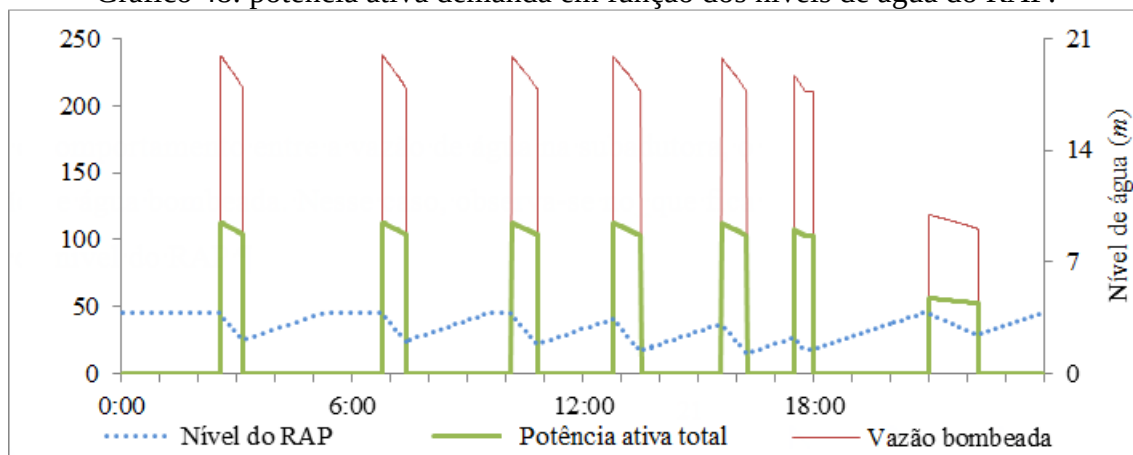
Relação entre EAT, REL e RDA do setor Guanabara: observam-se no Gráfico 47 os comportamentos de vazões e de níveis de água, dos quais é importante ressaltar a maior frequência da vazão de água bombeada nos horários de pico de demanda de água na RDA, no caso, entre 10:00 e 18:00. Além disso, a vazão de água bombeada momentos antes do horário de ponta para proporcionar a parada da EAT, isso só é possível graças à diminuição da demanda de água na RDA após 21:00.

Gráfico 47: inter-relação entre vazão bombeada, REL e RDA do setor Guanabara.



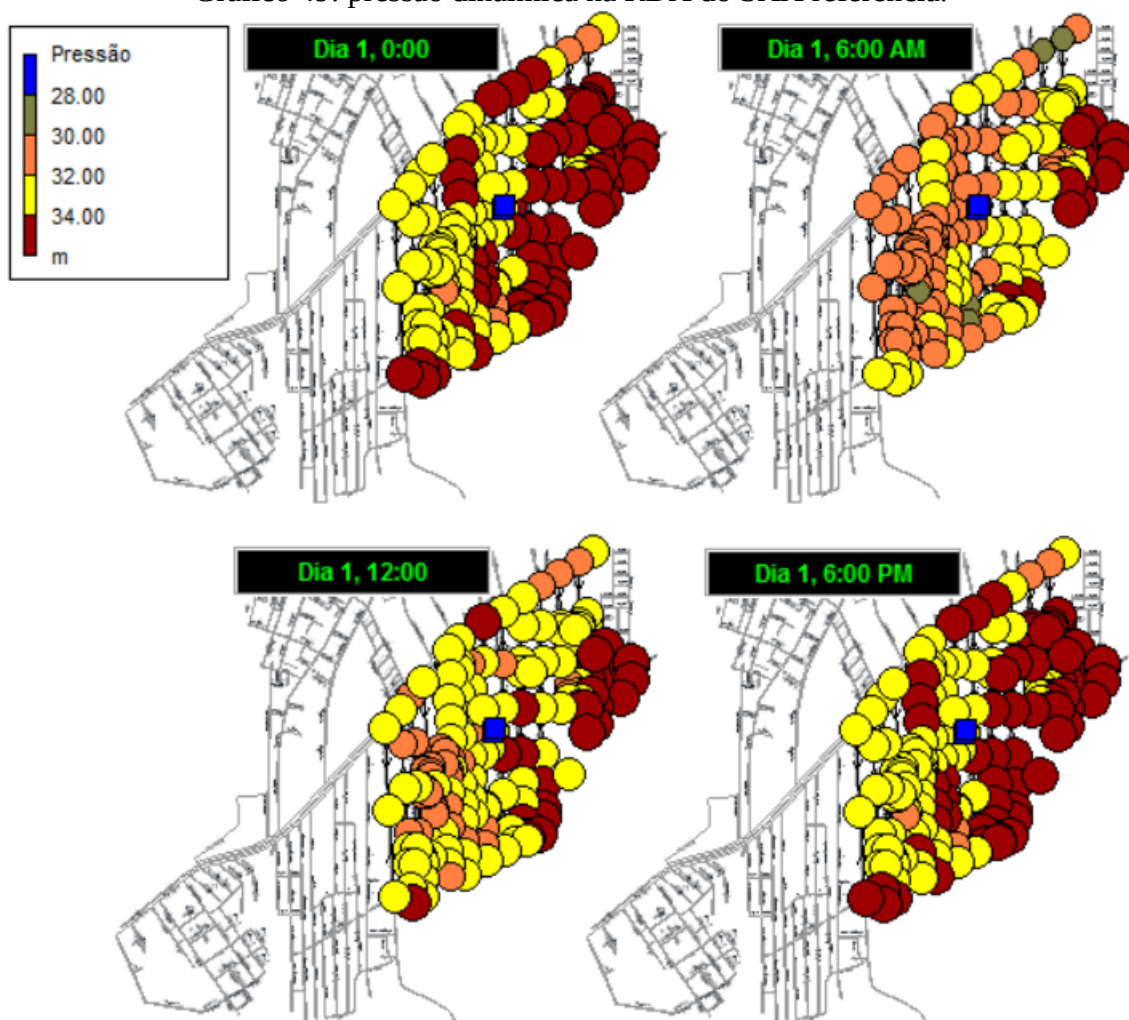
No caso da potência ativa demandada na EAT do SAA referência do setor Guanabara, cujo comportamento é observado no Gráfico 48, juntamente com a vazão bombeada e os níveis de água do RAP, é possível identificar a proporcionalidade entre esses valores. Na medida em que a EAT inicia sua operação, a vazão de bombeamento é máxima, a potência demandada é máxima e o nível de água do RAP é máximo e com o passar do tempo, a capacidade de bombeamento vai diminuindo em função da redução dos níveis de água no RAP.

Gráfico 48: potência ativa demanda em função dos níveis de água do RAP.



Toda essa operação do SAA referência, culmina na prestação de serviço de qualidade para a população, onde a pressão dinâmica de água na RDA atende em todos os momentos do dia os limites mínimo e máximo na simulação, respectivamente, 10 *mca* e 40 *mca*, conforme observado no Gráfico 49.

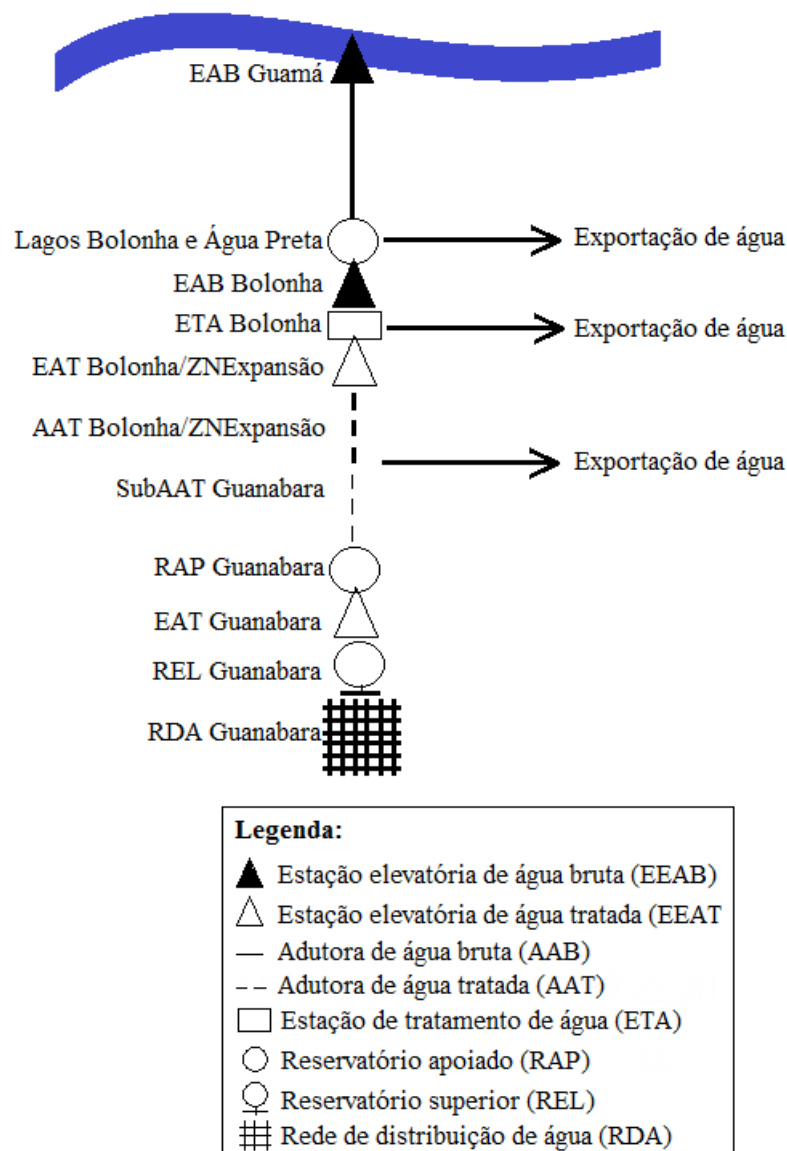
Gráfico 49: pressão dinâmica na RDA do SAA referência.



4.2.3 Avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Guanabara

A modelagem do SAA Guanabara no **SADHE2A** - **avalia** ocorreu de acordo com a sequência de unidades observados na Figura 115, onde é possível observar que ocorrem três exportações ao longo de todo o sistema ao longo da linha hidroenergética.

Figura 115: linha hidroenergética do SAA Guamá/Bolonha/Zona de expansão/Guanabara.



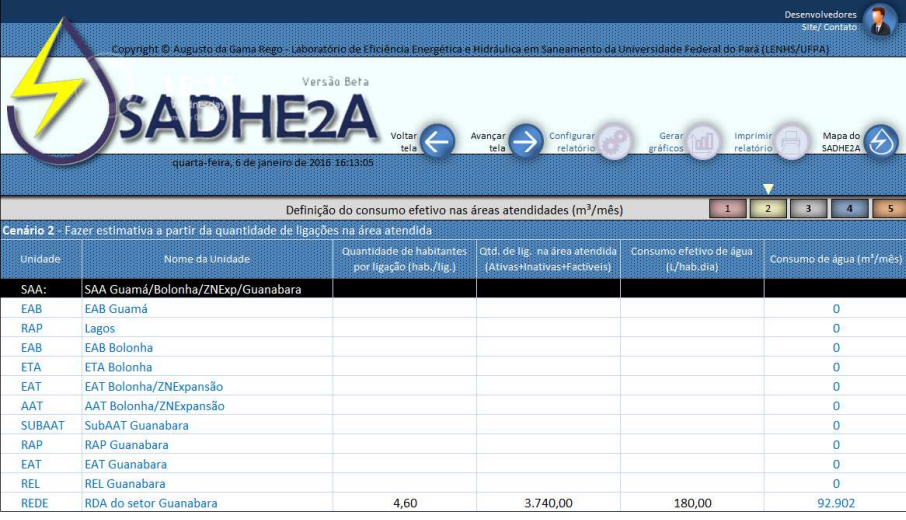
A linha hidroenergética do SAA Guamá/Bolonha/ZNexpansão/Guanabara ou, simplesmente, SAA Guanabara foi, então, cadastrada no **SADHE2A** – avalia, conforme observado na Figura 116. Vale observar, ainda, o cadastro do tipo de etapa e o tipo de unidade do SAA. Na sequência foram cadastrados os dados para o cálculo do consumo de água, no caso, 4,6 habitantes por ligação, 3.740 ligações a se atender, e consumo *per capita* de 180 L/hab.dia, conforme a Figura 117.

Figura 116: cadastro das unidades e etapas do SAA Guanabara.



Etapa do SAA	Seleciona a Unidade	Nome da Unidade	Descrição (localização/área de abrangência)
SAA: SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara			
OBT.	EAB	EAB Guamá	
OBT.	RAP	Lagos	
OBT.	EAB	EAB Bolonha	
PROC.	ETA	ETA Bolonha	
PROC.	EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	
PROC.	AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão	
PROC.	SUBAAT	SubAAT Guanabara	
DIST.	RAP	RAP Guanabara	
DIST.	EAT	EAT Guanabara	
DIST.	REL	REL Guanabara	
DIST.	REDE	RDA do setor Guanabara	

Figura 117: cadastro dos dados para cálculo do consumo de água no SAA.



Unidade	Nome da Unidade	Quantidade de habitantes por ligação (hab./lig.)	Qtd. de lig. na área atendida (Ativas+Inativas+Factíveis)	Consumo efetivo de água (L/hab.dia)	Consumo de água (m³/mês)
Cenário 2 - Fazer estimativa a partir da quantidade de ligações na área atendida					
SAA: SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara					
EAB	EAB Guamá				0
RAP	Lagos				0
EAB	EAB Bolonha				0
ETA	ETA Bolonha				0
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão				0
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão				0
SUBAAT	SubAAT Guanabara				0
RAP	RAP Guanabara				0
EAT	EAT Guanabara				0
REL	REL Guanabara				0
REDE	RDA do setor Guanabara	4,60	3.740,00	180,00	92.902

Como já informado, não foi possível monitorar todos os pontos de entrada de água em todas as unidades e exportações da linha hidroenergética e, nesse caso, foram utilizados dados de volumes de água e de consumo de energia elétrica fornecidos pela COSANPA para as unidades à montante da subadutora de água tratada do setor

Guanabara. De acordo com a concessionária de água, os volumes de água são os seguintes: 604.800 m^3/dia da EAB Guamá (7,00 m^3/s), 432.000 m^3/dia da EAB Bolonha (5,00 m^3/s), 432.000 m^3/dia da ETA Bolonha (5,00 m^3/s) e 87.264 m^3/dia da EAT Bolonha/ZNExpansão (1,01 m^3/s).

Esses dados foram digitados diretamente nos respectivos campos “Entrada” do **SADHE2A – avalia**, valendo ressaltar que alguns dados foram repetidos por falta de informação e os demais dados foram importados dos arquivos de sistematização do **SADHE2A – sistematiza** (no caso, SubAAT Guanabara – que repetiu os dados do RAP Guanabara – RAP Guanabara, EAT Guanabara, REL Guanabara e RDA Guanabara). Os dados de entrada dos volumes de água podem ser visualizados na Figura 118, onde é possível observar também os valores calculados pelo **SADHE2A – avalia** para *volume diagnosticado base total de água* ($Vb_{d,i}$).

Figura 118: dados de entrada volumes de água diagnosticados para as unidades e volume diagnosticado base total de água no SAA Guanabara.



Cadastro dos dados do diagnóstico de volumes de água (m³/mês)					
Insira os dados referentes ao diagnóstico		Volume de água (m³/mês)			
Unidade	Nome da Unidade	Entrada (SAA Integrado)	Metas de Processo (SAA Integrado)	Imp. (+) / Exp. (-) (SAA Integrado)	Volume base diagnosticado (SAA)
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara				
EAB	EAB Guamá	18.144.000,00			223.422,02
RAP	Lagos	18.144.000,00		-5.184.000,00	223.422,02
EAB	EAB Bolonha	12.960.000,00			223.422,02
ETA	ETA Bolonha	12.960.000,00	388.800,00	-9.953.280,00	223.422,02
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	2.617.920,00			216.719,36
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão	2.617.920,00		-2.401.200,64	216.719,36
SUBAAT	SubAAT Guanabara	216.719			216.719,36
RAP	RAP Guanabara	216.719			216.719,36
EAT	EAT Guanabara	216.636			216.635,70
REL	REL Guanabara	216.636			216.635,70
REDE	RDA do setor Guanabara	216.592			216.591,92

Vale ressaltar, ainda, que não foram fornecidos dados de volumes de água referentes às exportações identificadas e, nesses casos em específico, esses valores foram considerados iguais à subtração do volume de água de entrada na unidade que exporta e o volume de água que entra na unidade à jusante, ou seja, a perda de água é nula (fato que será verificado mais a frente). Além disso, foi considerada como meta de processo na ETA Bolonha o volume mensal de água de 388.800 m^3 (correspondente a 3% do volume de entrada na ETA).

Sobre o consumo de energia elétrica, todas as unidades localizadas na área do Utinga estão vinculadas à mesma unidade consumidora de energia elétrica tendo, portanto, apenas uma fatura para os sistemas de produção, tratamento e elevação de água. Dessa forma, a COSANPA utiliza valores percentuais para calcular a participação de cada unidade nos 4.738.057,00 kWh consumidos de energia elétrica no mês de Setembro 2014, sendo adotados os seguintes valores para a divisão da fatura de energia elétrica da concessionária:

- a) 30,56% da EAB Guamá;
- b) 22,23% da EAB Bolonha;
- c) 1,49% da ETA Bolonha;
- d) 11,15% da EAT Bolonha – Zona de Expansão;
- e) 16,72% da EAT Bolonha – Zona Central;
- f) 11,15% da EAB Utinga – São Braz;
- g) 4,46% da EAB Utinga – 5º setor;
- h) 2,24% dos prédios e oficinas

Provavelmente, essa divisão não representa a realidade operacional. Contudo, por ser a prática da gestão da COSANPA, optou-se por utilizá-la para estimar o consumo de energia elétrica nas unidades do SAA Guanabara 2014 (Tabela 54).

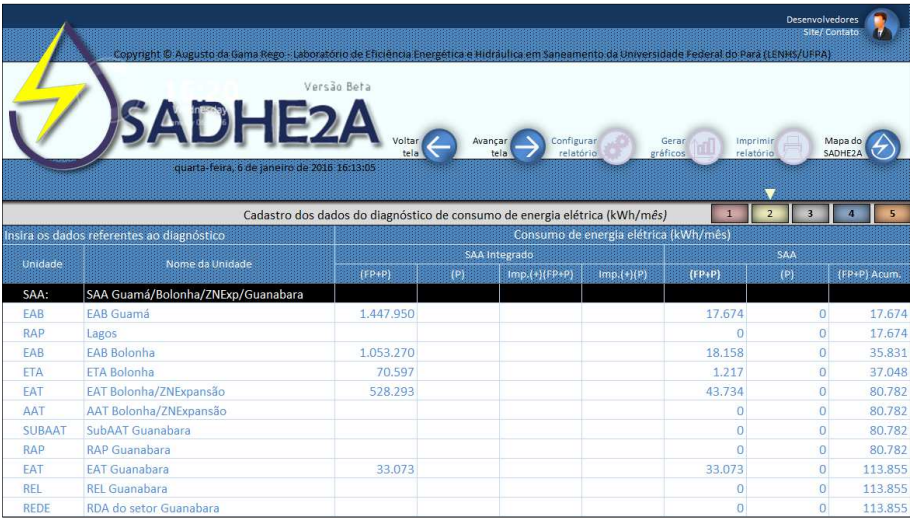
Tabela 54: rateio dos valores de consumo e despesas com energia elétrica nas unidades de montante do setor Guanabara.

Unidade Montante	%	kWh/mês
EAB Guamá	30,56%	1.447.950,22
EAB Bolonha	22,23%	1.053.270,07
ETA Bolonha	1,49%	70.597,05
EAT Bolonha ZE	11,15%	528.293,36

Fonte: COSANPA, Diretoria de operações: Energia elétrica no complexo Bolonha (2014).

Os referidos dados de consumo de energia elétrica foram digitados nos respectivos campos das unidades do SAA Guanabara, sendo que a informação de consumo de energia elétrica da EAT Guanabara foi importada via **SADHE2A – sistematiza**. Na Figura 119, são apresentados os dados cadastrados e os resultados da *energia elétrica diagnosticada base consumida* ($E_{b,d,i}$) do SAA Guanabara, valendo ressaltar que não foram cadastrados os dados de consumo de energia elétrica no horário de ponta.

Figura 119: dados de consumo de energia elétrica diagnosticado para as unidades e *energia elétrica diagnosticada base consumida* no SAA Guanabara.



The screenshot shows the SADHE2A software interface. At the top, there is a header with the logo, version (Versão Beta), and copyright information. Below the header, there are navigation buttons: Voltar tela, Avançar tela, Configurar relatório, Gerar gráficos, Imprimir relatório, and Mapa do SADHE2A. The main content area displays a table titled 'Cadastro dos dados do diagnóstico de consumo de energia elétrica (kWh/mês)'. The table has two main sections: 'Insira os dados referentes ao diagnóstico' and 'Consumo de energia elétrica (kWh/mês)'. The 'Consumo de energia elétrica' section is further divided into 'SAA Integrado' and 'SAA'. The 'SAA Integrado' section has columns for (FP+P), (P), and Imp. (+)(FP+P). The 'SAA' section has columns for (FP+P), (P), and (FP+P) Acum. The table lists various units and their corresponding consumption values.

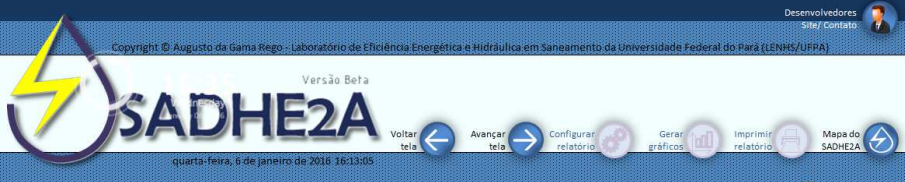
Insira os dados referentes ao diagnóstico		Consumo de energia elétrica (kWh/mês)				
Unidade	Nome da Unidade	SAA Integrado			SAA	
		(FP+P)	(P)	Imp. (+)(FP+P)	(FP+P)	(P)
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara					
EAB	EAB Guamá	1.447.950			17.674	0
RAP	Lagos				0	0
EAB	EAB Bolonha	1.053.270			18.158	0
ETA	ETA Bolonha	70.597			1.217	0
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	528.293			43.734	0
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão				0	0
SUBAAT	SubAAT Guanabara				0	0
RAP	RAP Guanabara				0	0
EAT	EAT Guanabara	33.073			33.073	0
REL	REL Guanabara				0	0
REDE	RDA do setor Guanabara				0	0
						(FP+P) Acum.
						17.674
						17.674
						35.831
						37.048
						80.782
						80.782
						80.782
						80.782
						113.855
						113.855
						113.855

No caso do cadastro dos dados do SAA referência, é importante reafirmar que a simulação no *Epanet 2.0* foi realizada considerando somente as unidades SubAAT Guanabara, RAP Guanabara, EAT Guanabara, REL Guanabara e RDA Guanabara. Portanto, todas as outras unidades os valores de *volumes diagnosticados bases totais de água* ($V_{b,d,i}$) e *energia elétrica diagnosticada base total* ($E_{b,d,i}$) foram repetidos para os valores de *volumes simulados bases totais de água* ($V_{b,s,i}$) e *energia elétrica simulada base total consumida* ($E_{b,s,i}$).

Nesse sentido, o SAA Integrado de referência se distingue do SAA Integrado diagnosticado apenas pelos valores de volumes de água e de consumos de energia elétrica a partir da unidade SubAAT Guanabara. Na Figura 120 é possível verificar os dados cadastrados para volumes de água do SAA Integrado simulado, valendo ressaltar que sua operação proporcionou aumento da oferta de água na

exportação que ocorre na AAT Bolonha/ZNExpansão de 20.401.200,64 $m^3/mês$ para 2.514.696,00 $m^3/mês$.

Figura 120: dados de entrada volumes de água simulados para as unidades e *volumes simulados bases totais de água* no SAA Guanabara.



The screenshot shows the SADHE2A web application interface. At the top, there is a header with the logo, version (Versão Beta), and copyright information. Below the header, there are navigation buttons: Voltar tela, Avançar tela, Configurar relatório, Gerar gráficos, Imprimir relatório, and Mapa do SADHE2A. The main content area displays a table titled 'Cadastro dos dados de monitoramento de volumes de água (m³/mês)'. The table has columns for 'Insira os dados referentes à simulação' and 'Volume de água (m³/mês)'. The 'Insira os dados' column includes 'Unidade' and 'Nome da Unidade'. The 'Volume de água' column includes 'Entrada (SAA Integrado)', 'Processo (SAA Integrado)', 'Imp. (+) / Exp. (-) (SAA Integrado)', and 'Volume base diagnosticado (SAA)'. The table lists various units and their corresponding water volume data.

Insira os dados referentes à simulação		Volume de água (m³/mês)			
Unidade	Nome da Unidade	Entrada (SAA Integrado)	Processo (SAA Integrado)	Imp. (+) / Exp. (-) (SAA Integrado)	Volume base diagnosticado (SAA)
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara				
EAB	EAB Guamá	18.144.000,00			106.416,49
RAP	Lagos	18.144.000,00		-5.184.000,00	106.416,49
EAB	EAB Bolonha	12.960.000,00			106.416,49
ETA	ETA Bolonha	12.960.000,00	388.800,00	-9.953.280,00	106.416,49
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	2.617.920,00			103.224,00
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão	2.617.920,00		-2.514.696,00	103.224,00
SUBAAT	SubAAT Guanabara	103.224,00			103.224,00
RAP	RAP Guanabara	103.224,00			103.224,00
EAT	EAT Guanabara	103.224,00			103.224,00
REL	REL Guanabara	103.224,00			103.224,00
REDE	RDA do setor Guanabara	103.224,00			103.224,00

Na sequência, foram cadastrados os dados referentes aos consumos de energia elétrica, lembrando que somente os dados da EAT são diferentes dos dados do diagnóstico, conforme observados na Figura 121.

Figura 121: dados de consumo de energia elétrica simulado para as unidades e *energia elétrica simulada base total consumida* no SAA Guanabara.

January 11, 2016

Desenvolvedores

Site/Contato

Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENEH/UFPa)

Versão Beta

SADHE2A

quarta-feira, 6 de janeiro de 2016 16:13:05

Voltar tela

Avançar tela

Configurar relatório

Gerar gráficos

Imprimir relatório

Mapa do SADHE2A

Cadastro dos dados de simulação do consumo de energia elétrica (kWh/mês)

1

2

3

4

5

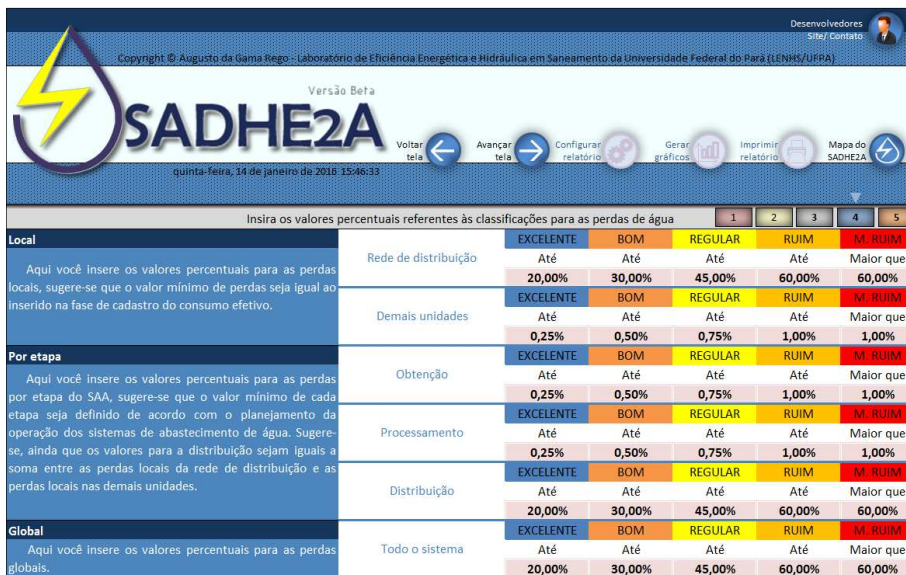
Insira os dados referentes à simulação

Consumo de energia elétrica (kWh/mês)

Unidade	Nome da Unidade	Saa Integrado				SAA		
		(FP+P)	(P)	Imp.(+) (FP+P)	Imp.(-) (P)	(FP+P)	(P)	(FP+P) Acum.
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara							
EAB	EAB Guamá	1.447.950				8.492,38	0	8.492,38
RAP	Lagos					0,00	0	8.492,38
EAB	EAB Bolonha	1.053.270				8.648,56	0	17.140,94
ETA	ETA Bolonha	70.597				579,68	0	17.720,62
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	528.293				20.830,49	0	38.551,11
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão					0,00	0	38.551,11
SUBAAT	SubAAT Guanabara					0,00	0	38.551,11
RAP	RAP Guanabara					0	0	38.551
EAT	EAT Guanabara	14.304				14.304	0	52.855
REL	REL Guanabara					0	0	52.855
REDE	RDA do setor Guanabara					0	0	52.855

Em seguida, foram cadastrados os valores referentes às faixas de desempenho, observados na Figura 122.

Figura 122: faixas de desempenho referentes às perdas de água nas unidades, nas etapas e nos sistemas.



Insira os valores percentuais referentes às classificações para as perdas de água		1	2	3	4	5
Local Aqui você insere os valores percentuais para as perdas locais, sugere-se que o valor mínimo de perdas seja igual ao inserido na fase de cadastro do consumo efetivo.	Rede de distribuição	EXCELENTE Até 20,00%	BOM Até 30,00%	REGULAR Até 45,00%	RUIM Até 60,00%	M. RUIM Maior que 60,00%
	Demais unidades	EXCELENTE Até 0,25%	BOM Até 0,50%	REGULAR Até 0,75%	RUIM Até 1,00%	M. RUIM Maior que 1,00%
	Obtenção	EXCELENTE Até 0,25%	BOM Até 0,50%	REGULAR Até 0,75%	RUIM Até 1,00%	M. RUIM Maior que 1,00%
Por etapa Aqui você insere os valores percentuais para as perdas por etapa do SAA, sugere-se que o valor mínimo de cada etapa seja definido de acordo com o planejamento da operação dos sistemas de abastecimento de água. Sugere-se, ainda que os valores para a distribuição sejam iguais a soma entre as perdas locais da rede de distribuição e as perdas locais nas demais unidades.	Processamento	EXCELENTE Até 0,25%	BOM Até 0,50%	REGULAR Até 0,75%	RUIM Até 1,00%	M. RUIM Maior que 1,00%
	Distribuição	EXCELENTE Até 20,00%	BOM Até 30,00%	REGULAR Até 45,00%	RUIM Até 60,00%	M. RUIM Maior que 60,00%
	Todo o sistema	EXCELENTE Até 20,00%	BOM Até 30,00%	REGULAR Até 45,00%	RUIM Até 60,00%	M. RUIM Maior que 60,00%

Na Figura 123 são apresentados os resultados calculados para o SAA Guanabara. Vale ressaltar que os desempenhos apresentados para unidades e etapas à montante do RAP Guanabara, inicialmente, só são classificados como “excelentes”, pois os valores de volumes de água cadastrados repetidamente em função da ausência de todos os dados e também em função da ausência de dados de exportação retornam perdas de água nulas.

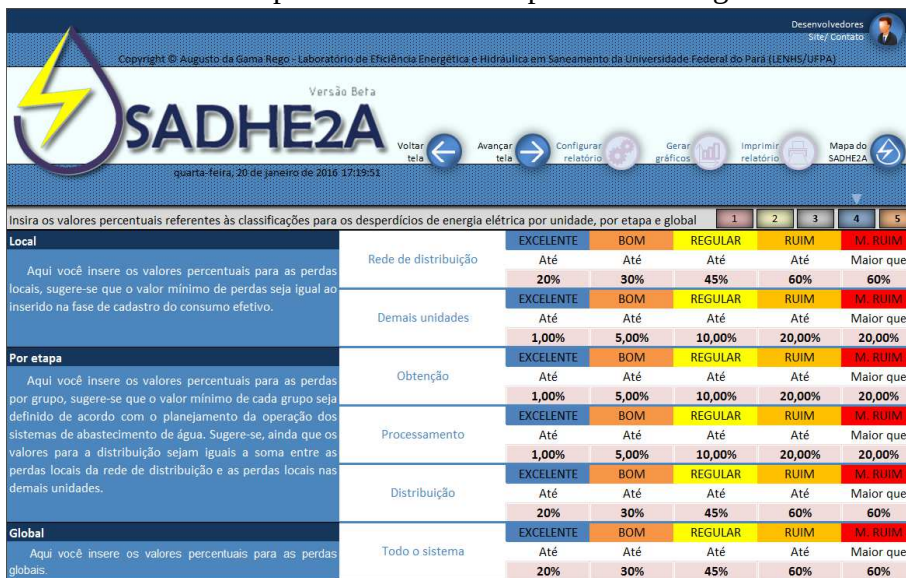
Figura 123: *dashboard* de desempenho de perdas de água do SAA Guanabara.



Classificação das perdas físicas de água nos SAA										
Visualize a classificação das perdas físicas de água por unidade, por etapa e global dos SAA										
Unidade	Nome da Unidade	Perdas de água: (m³/mês)			Perdas de Desempenho (%/mês)			Desempenho		
		Local	Etapa	Global	Local	Etapa	Global	Local	Etapa	Global
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara									
EAB	EAB Guamá	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	EXC	EXC	RUIM
RAP	Lagos	0,00		0,00	0,00%		0,00%	EXC		
EAB	EAB Bolonha	0,00		0,00	0,00%		0,00%	EXC		
ETA	ETA Bolonha	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	EXC	EXC	
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	0,00		0,00	0,00%		0,00%	EXC		
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão	0,00		0,00	0,00%		0,00%	EXC		
SUBAAT	SubAAT Guanabara	0,00		0,00	0,00%		0,00%	EXC		
RAP	RAP Guanabara	84	123.818	84	0,04%	57,13%	0,04%	EXC	RUIM	
EAT	EAT Guanabara	0		84	0,00%		0,04%	EXC		
REL	REL Guanabara	44		127	0,02%		0,06%	EXC		
REDE	RDA do setor Guanabara	123.690		123.818	57,11%		55,42%	RUIM		

Os valores cadastrados são observados na Figura 124, todavia é importante afirmar que são necessários estudos específicos e aprofundados para definir valores mais adequados para faixas de desempenho para perdas de energia elétrica consumida.

Figura 124: faixas de desempenho referentes às perdas de energia elétrica consumida.



The screenshot shows the SADHE2A web application interface. At the top, there is a header with the logo, version (Versão Beta), and navigation buttons. Below the header, there is a section titled 'Insira os valores percentuais referentes às classificações para os desperdícios de energia elétrica por unidade, por etapa e global'. This section contains a table with columns for 'Local', 'Por etapa', and 'Global', and rows for 'Rede de distribuição', 'Demais unidades', 'Obtenção', 'Processamento', 'Distribuição', and 'Todo o sistema'. The table cells contain performance bands: EXCELENTE, BOM, REGULAR, RUIM, and M. RUIM, along with percentage thresholds.

		EXCELENTE	BOM	REGULAR	RUIM	M. RUIM
Local						
Aqui você insere os valores percentuais para as perdas locais, sugere-se que o valor mínimo de perdas seja igual ao inserido na fase de cadastro do consumo efetivo.	Rede de distribuição	Até 20%	Até 30%	Até 45%	Até 60%	Maior que 60%
	Demais unidades	Até 1,00%	Até 5,00%	Até 10,00%	Até 20,00%	Maior que 20,00%
Por etapa						
Aqui você insere os valores percentuais para as perdas por grupo, sugere-se que o valor mínimo de cada grupo seja definido de acordo com o planejamento da operação dos sistemas de abastecimento de água. Sugere-se, ainda que os valores para a distribuição sejam iguais a soma entre as perdas locais da rede de distribuição e as perdas locais nas demais unidades.	Obtenção	Até 1,00%	Até 5,00%	Até 10,00%	Até 20,00%	Maior que 20,00%
	Processamento	Até 1,00%	Até 5,00%	Até 10,00%	Até 20,00%	Maior que 20,00%
	Distribuição	Até 20%	Até 30%	Até 45%	Até 60%	Maior que 60%
	Todo o sistema	Até 20%	Até 30%	Até 45%	Até 60%	Maior que 60%
Global						
Aqui você insere os valores percentuais para as perdas globais.						

Os resultados da avaliação de desempenho das perdas de energia elétrica consumida apontam que mesmo com as perdas nulas que ocorrem nas unidades à montante do RAP Guanabara, o SAA é classificado no **SADHE2A – avalia** como **ruim**, com perda global de 58,31%, conforme observado na Figura 125.

Figura 125: *dashboard* de desempenho da energia elétrica consumida e perdida no SAA Guanabara.

Vale ressaltar que das quatro unidades do SAA Guanabara analisadas por monitoramento e simulação, todas apresentaram perdas de energia elétrica consumida. A EAT Guanabara é a única unidade consumidora de energia elétrica e teve perdas de energia elétrica consumida de 3,96% (avaliada com desempenho “bom”) e a RDA Guanabara possui perdas de energia elétrica consumida de 57,11% (avaliada com desempenho “ruim”, em função das elevadas perdas de água).

Em relação às despesas com consumo de energia elétrica no SAA Guanabara, não foram fornecidas pela COSANPA as contas de energia elétrica, referentes ao mês de Agosto de 2014. Nesse sentido, com a impossibilidade de entrar com todos os dados para o cálculo da referida despesa, foram utilizados dados do mês de Setembro do ano de 2014 para estimativa de valores em R\$/kWh para cadastro direto no **SADHE2A – avalia**.

Assim sendo, relembrando o consumo total de energia elétrica na área da Utinga do mês de Setembro de 2014 foi de 4.738.057,00 kWh/mês, que resultaram em despesa total de 1.082.502,50 R\$/mês no referido mês. Considerando os percentuais utilizados pela COSANPA para raterio da energia elétrica consumida, utilizados pela COSANPA, para, então, serem calculados a relação de R\$/kWh. No caso da EAT Guanabara, a informação disponível também foi referente ao mês de Agosto do ano de 2014 e o cálculo do valor R\$/kWh procedeu da mesma forma, sendo os resultados apresentados na Tabela 55.

Tabela 55: cálculo da despesa com consumo de energia elétrica para o SAA Guanabara.

Unidade Montante	%	kWh/mês	R\$/mês	R\$/kWh
EAB Guamá	30,56%	1.447.950,22	330.812,76	0,228469
EAB Bolonha	22,23%	1.053.270,07	240.640,31	0,228469
ETA Bolonha	1,49%	70.597,05	16.129,29	0,228469
EAT Bolonha/ZNExpansão	11,15%	528.293,36	120.699,03	0,228469
EAT Guanabara	100%	1.684,00	18.581,65	0,367808

Fonte: COSANPA, Diretoria de operações: Energia elétrica no complexo Bolonha (2014).

Na Figura 126, são apresentados os valores cadastrados para tarifas no SAA Guanabara, sendo que todos os outros espaços foram deixados em branco, pois o valor referente ao consumo já engloba todas as outras parcelas. Vale ressaltar que nas

unidades que consomem energia elétrica foi cadastrada a modalidade de tarifação convencional para informação.

Figura 126: valores estimados cadastrados para tarifa de energia elétrica ao longo da linha hidroenergética do SAA Guanabara.



Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPa)

Versão Beta

segunda-feira, 18 de janeiro de 2016 01:30:12

Tarifa de Energia Elétrica (RS)

Insira os dados referentes à Tarifa de energia elétrica para cada unidade

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	C(FP)	C(P)	CRE(FP)	CRE(P)	DEM(FP)	DEM(P)	DEMULT(FP)	DEMULT(P)
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara									
EAB	EAB Guamá	CONV.	0,228469							
RAP	Lagos									
EAB	EAB Bolonha	CONV.	0,228469							
ETA	ETA Bolonha	CONV.	0,228469							
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	CONV.	0,228469							
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão									
SUBAAT	SubAAT Guanabara									
RAP	RAP Guanabara									
EAT	EAT Guanabara	CONV.	0,380000							
REL	REL Guanabara									
REDE	RDA do setor Guanabara									

Em seguida, o **SADHE2A – avalia** apresentou os valores calculados das despesas totais com consumo de energia elétrica no SAA Integrado e no SAA, conforme Figura 127, valendo reiterar que, nesse caso em específico, os valores atinentes aos impostos já constam no R\$/kWh cadastrado. Finalmente, **SADHE2A – avalia** apresentou o impacto financeiro relacionado às perdas hidroenergéticas no SAA Guanabara, no caso, perdas de água e consumo de energia elétrica perdida, bem como o impacto local como o acumulado, conforme observados na Figura 128.

Figura 127: despesas de energia elétrica ao longo da linha hidroenergética do SAA Guanabara.



Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPa)

Versão Beta

segunda-feira, 18 de janeiro de 2016 15:11:56

Despesa com consumo de energia elétrica para o SAA Integrado e para o SAA (R\$/mês)

Insira os valores correspondentes com despesas de impostos e visualize a despesa com consumo de energia elétrica para o SAA Integrado e para o SAA

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Despesas Parcial (RS)		Despesa Total (RS)	
			Sem impostos	PIS/CONFINS/ICMS	SAA Integrado	SAA
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara					
EAB	EAB Guamá	CONV.	330.813,19		330.813,19	4.037,89
RAP	Lagos		0,00		0,00	0,00
EAB	EAB Bolonha	CONV.	240.640,61		240.640,61	4.148,49
ETA	ETA Bolonha	CONV.	16.129,31		16.129,31	278,06
EAT	EAT Bolonha/ZNExpansão	CONV.	120.699,18		120.699,18	9.991,84
AAT	AAT Bolonha/ZNExpansão		0,00		0,00	0,00
SUBAAT	SubAAT Guanabara		0,00		0,00	0,00
RAP	RAP Guanabara		0,00		0,00	0,00
EAT	EAT Guanabara	CONV.	12.164,56		12.164,56	12.164,56
REL	REL Guanabara		0,00		0,00	0,00
REDE	RDA Guanabara		0,00		0,00	0,00

Figura 128: impacto financeiro das perdas hidroenergéticas no SAA Guanabara.

Copyright © Augusto da Gama Rêgo - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

SADHE2A

quarta-feira, 20 de janeiro de 2016 17:19:51

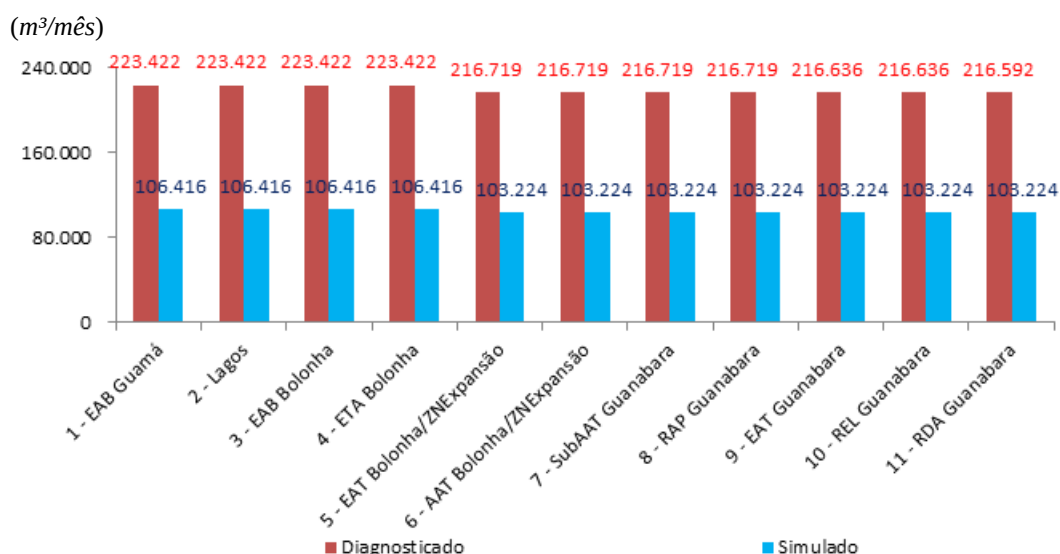
Impacto Financeiro Parcial (dedificação no consumo de energia elétrica no SAA)

Visualize o: impacto financeiro com as perdas físicas de água no SAA (R\$ e %)

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Impacto financeiro local (R\$)			Impacto financeiro acumulado (R\$)	Impacto financeiro global parcial (%)
			Perda de água	Ineficiência	Total		
SAA:	SAA Guamá/Bolonha/ZNExp/Guanabara						
EAB	1 - EAB Guamá	CONV.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
RAP	2 - Lagos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
EAB	3 - EAB Bolonha	CONV.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
ETA	4 - ETA Bolonha	CONV.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
EAT	5 - EAT Bolonha/ZNExpansão	CONV.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
AAT	6 - AAT Bolonha/ZNExpansão		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
SUBAAT	7 - SubAAT Guanabara		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
RAP	8 - RAP Guanabara		-7,12	0,00	-7,12	-7,12	-0,04%
EAT	9 - EAT Guanabara	CONV.	0,00	-481,65	-481,65	-488,77	-1,60%
REL	10 - REL Guanabara		-6,19	0,00	-6,19	-494,96	-1,62%
REDE	11 - RDA Guanabara		-17486,81	0,00	-17486,81	-17981,77	-58,72%

Na sequência, utilizando ferramenta específica do **SADHE2A** – **avalia** foram desenvolvidos gráficos para análise visual das informações de volumes de água e de consumo de energia elétrica, bem como dos impactos financeiros ao longo da linha hidroenergética do SAA Guanabara. Primeiramente, foi gerado gráfico que compara os volumes de água que entram em cada unidade ao longo da linha hidroenergética so SAA Guanabara, no caso, para a situação diagnosticada e para a situação simulada, conforme observado no Gráfico 50. No caso, constatou-se pequena variação dos *volumes diagnosticados bases totais de água* e *volumes simulados bases totais de água*, em função dos valores estimados cadastrados para as unidades à montante do RAP Ganabara.

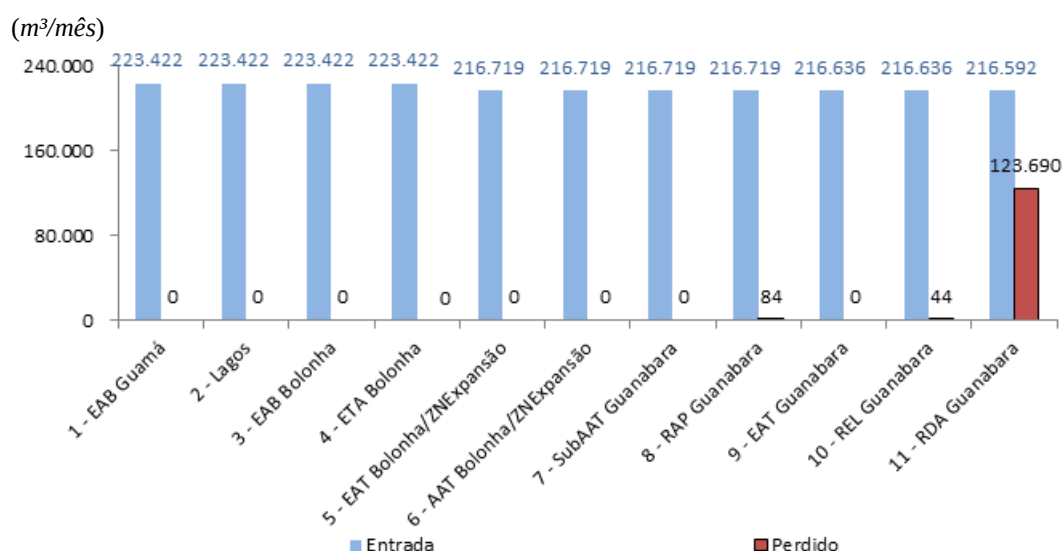
Gráfico 50: volume diagnosticado base total e volume simulado base total no SAA.



Ainda sobre o Gráfico 50, vale observar a grande diferença entre os valores dos volumes de água do SAA diagnosticado e o SAA simulado (referência), fato que com faz a maior diferença nas despesas que podem ser evitadas no SAA Guanabara. O SAA diagnosticado inicia sua linha hidroenergética com 223.422 $m^3/mês$ enquanto que o SAA referência parte com uma demanda de apenas 106.416 $m^3/mês$ devido às perdas de água ao longo do sistema, principalmente, na RDA Guanabara.

Outro gráfico gerado no **SADHE2A – avalia**, apresenta comparação entre os *volumes diagnosticados bases totais* e os *volumes diagnosticados bases perdidos de água* no SAA Guanabara. No caso, é perceptível o impacto nos resultados da adoção de valores estimados para as unidades à montante do RAP Guanabara, onde as perdas de água são nulas. No entanto, a partir do RAP Guanabara é possível verificar no Gráfico 51 a representatividade das perdas de água nos valores de *volumes diagnosticados bases totais de água*.

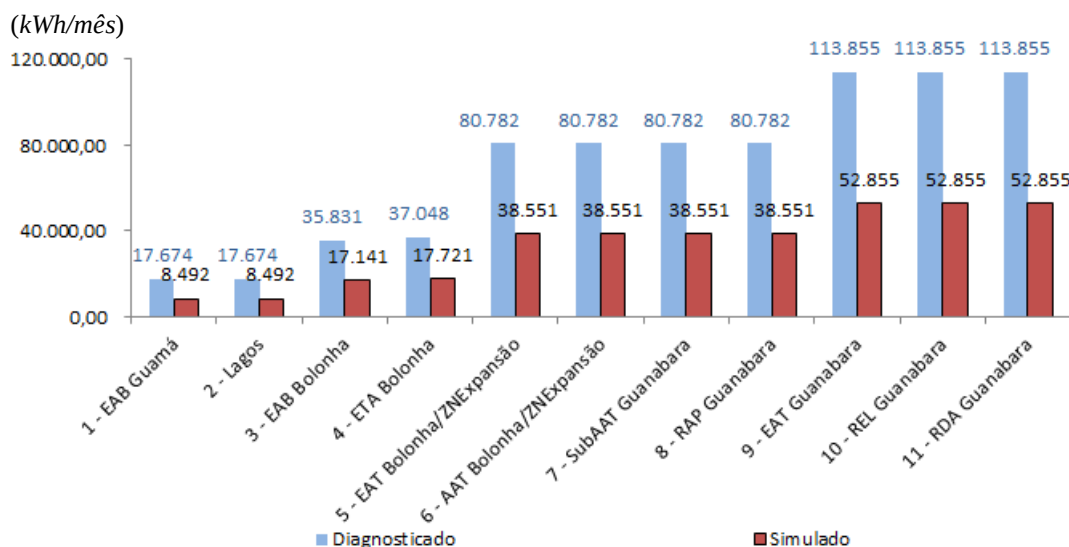
Gráfico 51: volume diagnosticado base total de água e volume diagnosticado base perdido de água no SAA.



Em se tratando dos consumos de energia elétrica no SAA Guanabara, foi gerado no **SADHE2A – avalia** o Gráfico 52, no qual é apresentada a *energia elétrica diagnosticada base total consumida* ($EbT_{d,i}$) e acumulada e a *energia elétrica simulada base total consumida* ($EbT_{s,i}$) e acumulada no SAA Guanabara. No caso, é facilmente perceptível a elevada diferença entre os consumos acumulados de energia elétrica ao

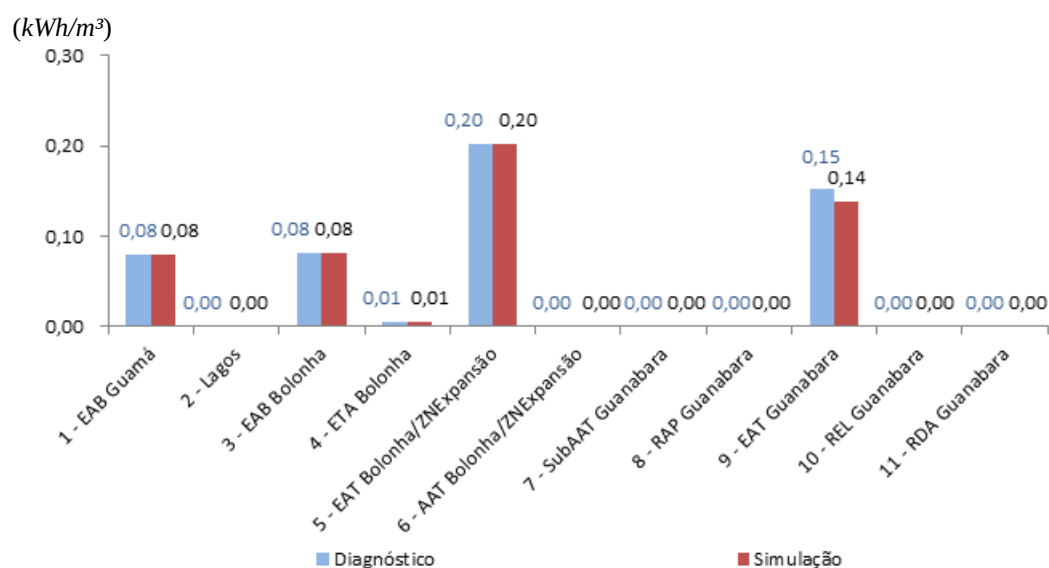
longo da linha hidroenergética, influenciada principalmente pelas perdas de água ocorridas na RDA.

Gráfico 52: *energia elétrica diagnosticada base total consumida e acumulada e a energia elétrica simulada base total consumida e acumulada no SAA Guanabara.*



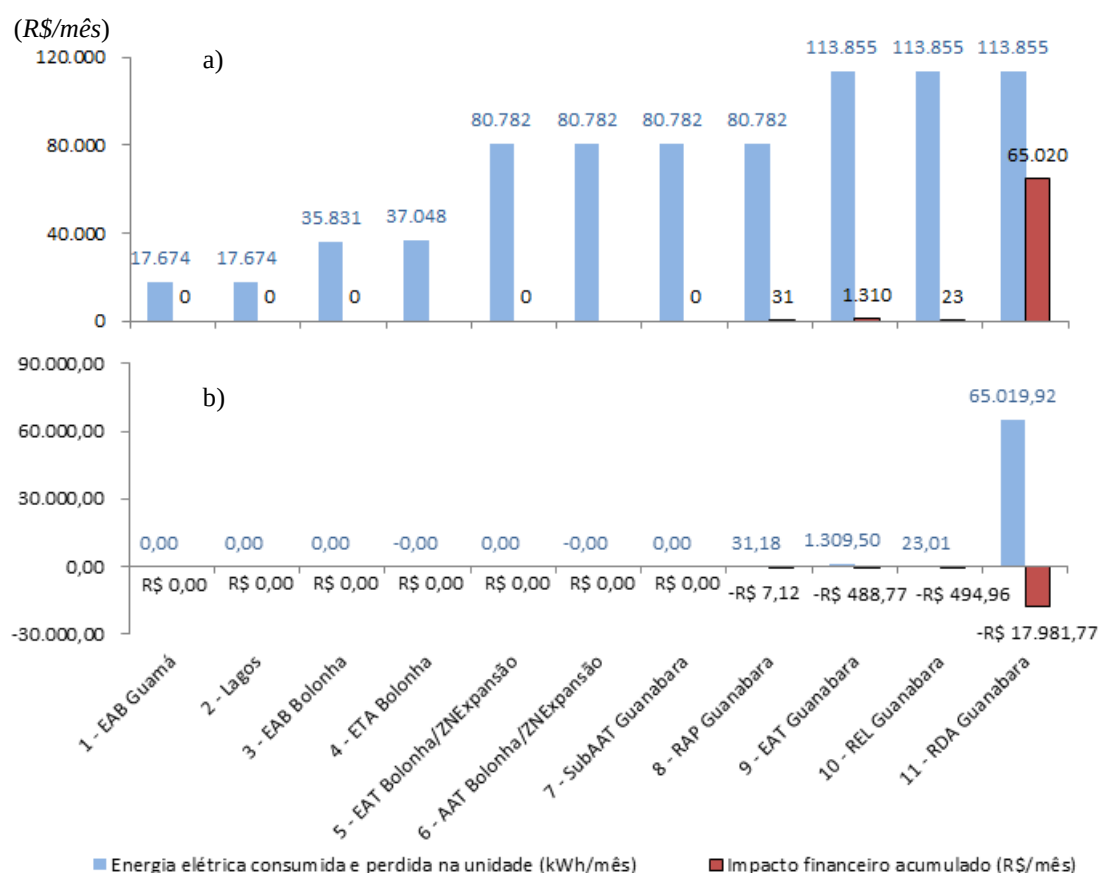
Em relação ao indicador de consumo específico, os valores diagnosticados e simulados foram plotados em gráfico no **SADHE2A – avalia**, no caso, Gráfico 53, onde é possível observar que a única unidade onde há diferença entre os valores de ICE é na EAT Guanabara.

Gráfico 53: *indicador de consumo específico do diagnóstico e indicador de consumo /específico da simulação no SAA Guanabara.*



O fato ocorre pela adoção de valores iguais no cadastro de consumo de energia elétrica tanto no diagnóstico quanto na simulação para as unidades à montante do RAP Guanabara. Logo, a diferença entre os valores de ICE diagnosticado e simulado, respectivamente, 0,153 kWh/m³ e 0,139kWh/m³ indicam que há pequena diferença entre os desempenhos do diagnóstico e da simulação, que se deve ao fato da operação inadequada do EAT, mas que nesse caso em específico compõe apenas uma pequena parcela da energia elétrica consumida e perdida, conforme Gráfico 54a. Considerando todos os aspectos mencionados é apresentado no Gráfico 54b o *Impacto financeiro total acumulado das perdas hidroenergéticas (IFbT_i)* no SAA Guanabara, sendo importante mencionar que os valores apresentados são referentes a toda a *linha hidroenergética*. Portanto, estimou-se que a COSANPA perdeu em Outubro de 2014 o valor de 17.981,77 R\$/mês com as perdas hidroenergéticas (valor equivalente a 215.781,24 ao R\$/ano).

Gráfico 54: *energia elétrica diagnosticada base total (Eb_{T,d,i}) e acumulada e energia elétrica diagnosticada base perdida (Eb_{p,d,i}) no SAA Guanabara. b) energia elétrica diagnosticada base perdida (Eb_{p,d,i}) e o impacto financeiro acumulado (IFbT_i) no SAA Guanabara.*



Por fim, constatou-se que o SAA Guanabara conforme avaliação do **SADHE2A – avalia** encontra-se em situação preocupante do ponto de vista hidroenergético, sendo classificado como ruim para volumes de água e para consumo de energia elétrica. Esse resultado certamente está subestimado, pois provavelmente há ocorrência de perdas de água e de energia elétrica consumida em todas as unidades do SAA.

Pelo exposto, as ações para redução de perdas hidroenergéticas devem ser orientadas inicialmente a RDA Guanabara, para redução urgente das perdas reais de água e adaptação contínua da operação de todas as EABs e EATs aos novos volumes de água. Nesse sentido, a tendência é de redução gradual dos impactos financeiros das perdas hidroenergéticas fazendo com que o SAA Guanabara se torne cada vez mais sustentável do ponto de vista econômico e possibilitando, inclusive melhorias também nos aspectos social e ambiental.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na Tese de Doutorado foram atingidos os objetivos propostos, sendo importante salientar que o desenvolvimento científico de todas as etapas da metodologia foi validado com os resultados da aplicação prática, indicando que a utilização do sistema produzido, no caso, **SADHE2A – versão Beta** pode ser replicada em outros locais, regiões e países. Nesse sentido, na sequência são apresentados os aspectos conclusivos e as recomendações da pesquisa, tendo como finalidade sintetizar os temas enfocados na Tese e as outras oportunidades para o contínuo avanço da metodologia desenvolvida para avaliação do desempenho hidroenergético do SAA.

5.3 SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DO **SADHE2A – versão Beta**

O processo de avaliação de SAA necessitava de novas perspectivas além da clássica ênfase dada aos recursos hídricos, principalmente, pelo surgimento de desafios ambientais nos quais as questões energéticas estão inseridas. Nesse contexto, as principais conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento da metodologia e sua implementação em software são:

- A abordagem sistêmica propiciou novo horizonte para o conceito de desempenho de SAA, pois possibilita a identificação da relação entre o volume de água e o consumo de energia elétrica em SAA, a qual foi verificada como principal fonte para redução de despesas nesses sistemas. Além disso, a partir da constatação de que a operação de uma unidade de SAA depende significativamente do funcionamento das demais unidades, é possível concluir que a metodologia desenvolvida é contribuição para que o desempenho de SAA não seja apenas verificado por meio da análise das suas unidades isoladas, mas visualizando o todo para o real conhecimento dos valores investigados para a definição do que de fato são as perdas hidroenergéticas no SAA;

- Baseado no ponto anterior, a metodologia desenvolvida atendeu às expectativas de identificar as unidades do SAA, possibilitando calcular perdas hidroenergética e avaliar o desempenho hidroenergético do SAA, por meio do sequenciamento padrão de ações e das formulações inerentes criadas ao longo da pesquisa. Para tanto, foi importante o uso dos conceitos de energia agregada e de “linha

hidroenergética” (concebido na metodologia). Isso possibilitou que o cálculo das perdas hidroenergéticas fosse baseado no entendimento da relação sequencial dos volumes de água e dos consumos de energia elétrica em todas as etapas do SAA. Ressalta-se que a aplicação da metodologia desenvolvida com dados sintéticos de SAA foi adequada, permitindo a classificação das unidades, etapas e do SAA quanto ao desempenho hidroenergético;

- Considerando a maior aplicabilidade da metodologia desenvolvida, a implantação da mesma em software foi considerada imprescindível, pois proporcionou facilidade para o uso das formulações, reduzindo o trabalho do analista a somente cadastro de unidades e de valores de volumes de água e de consumos de energia elétrica. O software também permite o registro das faixas de classificação de desempenho e de tarifas de energia elétrica. Com isso, o software batizado como **SADHE2A – versão Beta** foi concebido para calcular perdas hidroenergéticas e avaliar o desempenho hidroenergético (metodologia implementada) e atingiu a expectativa inicial quando apontou os mesmos resultados obtidos para o mesmo SAA com dados sintéticos.

- Os módulos desenvolvidos, no caso para criação de arquivo, sistematização de arquivos e avaliação de desempenho de SAA, funcionaram adequadamente. As funcionalidades criadas para importação de dados e visualização de resultados por meio de *dashboard*, bem como para geração de relatórios e gráficos operaram como o planejado. Vale ressaltar que o uso do VBA e a implementação na própria folha de planilha do Excel proporcionou, ainda, funcionalidade que tornou mais agradável o uso do **SADHE2A – versão Beta**, principalmente, quando o mesmo é utilizado em máquinas com tecnologia *Touch Screen* por meio do *zoom* com o toque na tela.

5.4 SOBRE A APLICAÇÃO DO **SADHE2A – versão Beta** NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA GUANABARA

A aplicação prática do **SADHE2A – versão Beta** foi considerada adequada, no SAA Guanabara, com resultados aplicáveis em todas as etapas, no caso, definição do SAA e identificação das unidades, determinação dos volumes de água e dos consumos

de energia elétrica do SAA real, determinação dos volumes de água e dos consumos de energia elétrica do SAA referência, cálculo das perdas hidroenergéticas e avaliação do desempenho hidroenergético do SAA e cálculo dos inerentes impactos financeiros. Nesse sentido, as principais conclusões obtidas ao longo da avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Guanabara são:

- A escolha do setor que orientou a definição do SAA a ser avaliado ocorreu após a avaliação de algumas opções dadas pela COSANPA, sendo o SAA Guanabara o único setor que estava de acordo com aspectos imprescindíveis de: segurança, existência de cadastros, localização, operação relativamente controlada e, principalmente, existência de locais para instalação de equipamentos de monitoramento hidroenergético.

- A aplicação da metodologia foi iniciada com a definição da linha hidroenergética, considerada de fácil desenvolvimento, pois o SAA e suas unidades foram identificadas com tranquilidade, apesar da complexidade do sistema integrado do SAA Guamá/Bolonha e todas as centenas de setores interligados.

- A linha hidroenergética do SAA Guanabara inicialmente seria constituída por 14 unidades, porém no cadastro do SAA no **SADHE2A – avalia** foram utilizadas 11 unidades, sendo que a sequência “Lago Agua Preta, Canal de Ligação e Lago Bolonha” foi considerada como uma única unidade denominada “Lagos” e a sequência “ETA Bolonha e RAP Bolonha” foi cadastrada como “ETA Bolonha”. Essas simplificações não trouxeram problemas para a avaliação e demonstraram como a aplicação da metodologia pode ser flexibilizada sem prejuízo algum para o controle hidroenergético;

- Quanto ao monitoramento de grandezas hidráulicas e elétricas, a elevada quantidade de instrumentos necessária para monitoramento ao longo de todo o SAA Guanabara eliminou qualquer possibilidade de medições simultâneas. Somente para vazão de água seriam necessários 14 medidores (11 unidades e 3 exportações). Mesmo assim, apenas com o monitoramento do setor de distribuição foi possível relacionar as ações para melhorias do desempenho hidroenergético do SAA Guanabara, portanto, o mesmo respondeu bem às expectativas, com possibilidade de replicação em outros SAAs no Brasil e no mundo.

- Vale ressaltar que a aquisição de dados de grandezas hidráulicas e elétricas a cada minuto durante a atividade foi imprescindível para o sucesso do monitoramento hidroenergético. Somente dessa forma foi possível a identificação de problemáticas

específicas, como, por exemplo, manobras de válvulas de recalque, fato que não seria observado em intervalos horários.

- Os resultados de cada ponto de monitoramento foram cadastrados sem dificuldades no módulo **SADHE2A – sistematiza**, com a funcionalidade específica para geração de gráficos de cartas de controle para volumes de água e para consumo de energia elétrica, sendo importante ao permitir analisar a credibilidade dos dados consolidados. No caso do SAA Guanabara, não houve problemas com os resultados dos volumes diários de água e dos consumos diários de energia elétrica, pois todos estavam dentro dos limites de controle.

- Vale citar também a importância dos gráficos desenvolvidos com o cruzamento das séries temporais, no caso, “vazões de água (L/s) $\times$ potência ativa (kW)”, “indicadores de consumo de específico (kWh/m^3) $\times$ vazão bombeada (L/s)”, “curvas de bombas $\times$ curvas de instalações hidráulicas” e “vazões de água (L/s) $\times$ níveis de reservatórios (m)” se mostraram excelentes ferramentas para identificação de anomalias operacionais em sistemas de bombeamento.

- No caso do SAA Guanabara, os principais problemas identificados foram: a má utilização do volume útil de água do reservatório elevado, as manobras de registro da tubulação de distribuição de água, as bombas operando com registros das tubulações de recalque estrangulados (portanto, fora do ponto de operação correto), bem como o considerável tempo prolongado de operação e a disparidade entre a capacidade de bombeamento das mesmas;

- Quanto à simulação do SAA referência, a inexistência de arquivo com modelagem de todo o SAA Guanabara gerou relativa dificuldade nessa atividade, pois foi necessário o cadastramento de todas as unidades do mesmo (no caso, aquelas pertencentes ao setor de distribuição). A simulação foi bem sucedida, sendo sanados todos os problemas identificados no diagnóstico, bem como os valores de volumes de água foram cadastrados diretamente em arquivos do **SADHE2A – sistematiza**. No entanto, o *Epanet* não disponibiliza os valores da série temporal do consumo de energia elétrica, fato que trouxe nova dificuldade. A saída de calcular por meio da curva de bomba e curva de rendimento cadastradas no *Epanet* foi eficaz, porém é inconveniente, pois gera esforço que pode ser considerado relativamente desnecessário;

- No caso da utilização do **SADHE2A – avalia** com os dados provenientes do diagnóstico e da simulação do SAA Guanabara, os resultados apresentados refletem bem a situação encontrada. O cadastro de valores repetidos para as unidades das etapas de obtenção e processamento, bem como valores adotados para as exportações de água tiveram como consequência perdas nulas e, portanto, resultaram num desempenho final subestimado.

- Baseado no ponto anterior, o desempenho hidroenergético avaliado como “ruim” no mês estudado para o SAA Guanabara, onde há perdas globais de água de 55,42% e perdas globais de energia elétrica consumida de 58,31%, ou seja, valores muito próximos do limite cadastrado de 60%. Todavia, se fossem cadastrados somente valores monitorados, certamente haveria mudança de classe de desempenho para “muito ruim”, ou seja, a mais desfavorável existente. Vale ressaltar que as funcionalidades de *dashboard* e desenvolvimento de gráficos do **SADHE2A – avalia** potencializaram a identificação das unidades alvos de melhorias hidroenergéticas, no caso dessa aplicação no SAA Guanabara foi a RDA;

- Por fim, o impacto financeiro referente às perdas hidroenergéticas calculado no **SADHE2A – avalia** para o SAA Guanabara demonstrou a funcionalidade da metodologia para a obtenção dos resultados, principalmente das perdas de água na RDA, que, quando acumulados ao longo da linha hidroenergética, somaram 17.981,77 *R\$/mês* no setor de aplicação, valor equivalente a 58,31% de toda a despesa com energia elétrica ao longo do SAA desde a captação de água bruta até a entrega ao consumidor. No entanto, o impacto financeiro provavelmente é maior, principalmente, levando em consideração que as maiores potências instaladas do SAA não foram analisadas, no caso, EAB e EAT nas etapas de obtenção e processamento.

Pelo exposto, a aplicação prática possibilitou aferir a validade da metodologia, demonstrando ser esta uma ferramenta para a avaliação e tomada de decisão voltadas a otimizar o uso de energia elétrica e dos volumes de água nas unidades, nos grupos de unidades e em todo o SAA.

5.5 PERSPECTIVAS PARA A METODOLOGIA DESENVOLVIDA E PARA O SADHE2A – versão Beta NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA

Notadamente o desenvolvimento e aplicação da metodologia para avaliação de desempenho hidroenergético de SAA em SAA de escala real atingiu os objetivos propostos e projetou uma série de observações e possibilidades reais para avançar cada vez mais no tema. Nesse contexto, é necessário apresentar recomendações para futuras pesquisas visando novos desenvolvimentos científicos e tecnológicos:

- Sobre a metodologia desenvolvida, é recomendado realizar pesquisas dos valores adequados para as faixas de desempenho hidroenergético. No caso da avaliação de perdas de água, a proposição utilizada com base nos valores do SNIS foi satisfatória para a primeira aplicação, no entanto está longe de ser o ideal, principalmente por não levar em consideração aspectos importantes como, por exemplo, a relação investimento e possibilidade de retorno financeiro. Em relação às perdas de energia elétrica consumida, a pesquisa se torna mais importante ainda, pois não foram identificadas tentativas de classificação de desempenho por faixas, como ocorreu para as perdas de água, faz-se a sugestão, inclusive, de pesquisas de desempenho por tipo de elevatória de água;

- Ainda sobre a metodologia desenvolvida, há também grande potencial nas pesquisas de medidas de perdas hidroenergéticas utilizadas, no caso, valores percentuais. Vale ressaltar que para a primeira aplicação os valores percentuais são inteiramente pertinentes, pois a concepção de desempenho é alicerçada no distanciamento da situação real para a situação de referência. Nesse caso, a seleção das unidades a serem beneficiadas por ações de melhorias fica a cargo da análise do impacto financeiro das perdas hidroenergéticas existentes. Assim sendo, faz-se a sugestão de utilização de critérios para normalização de perdas de água e de energia elétrica consumida, como, por exemplo, número de ligações, população abastecida etc;

- Para finalizar, a metodologia desenvolvida possibilitou identificar os valores dos impactos financeiros, que precisam ser considerados nas simulações de contratos de fornecimento de energia elétrica. Nesse sentido, existe a possibilidade de incluir uma nova parcela no cálculo, no caso, *impactos financeiros contratuais*, muito embora seja importante ressaltar que essa sugestão foge à essência da eficiência

hidroenergética de SAA, mas colabora para a sustentabilidade financeira das companhias de saneamento;

- Sobre o **SADHE2A – versão Beta**, muito embora o mesmo tenha atendido aos propósitos planejados inicialmente na pesquisa, há muitas possibilidades para a melhoria do mesmo, sobretudo relacionadas à conectividade com bancos de dados de intranet ou de internet. Há a necessidade de maior integração entre os módulos de arquivos, de sistematização e de avaliação de desempenho, inclusive para incorporação em uma mesma interface.

- Outro ponto importante é frisar que o intuito não é conceber a nova versão do **SADHE2A** como sistema supervisor, com atualização de dados em tempo real, mas conectá-lo a sistemas existentes para embasar avaliações mensais e contínuas de SAA pelos setores de engenharia das companhias de saneamento. Vale ressaltar que este projeto já está em andamento na sua fase de análise de requisitos, sendo que o objetivo é tornar o **SADHE2A v.1.0** uma plataforma *on line* com acesso direto aos valores aquisitados pela infraestrutura de monitoramento dos SAAs integrados;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDAY SAYYEDA M. A. H.; GUPTA, R.; TANYIMBOHB, T. T. Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in Epanet. **Procedia Engineering**, v.89, p.626–631, 2014. doi: doi:10.1016/j.proeng.2014.11.487

ACHON, C. L.. **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água a Luz dos Conceitos da ISO 14.001**. 2008. 235p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-08012009-172718/pt-br.php>> Acesso em: 26 fev 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/REN_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf> Acesso em: 10 dez 2010.

_____. **Nota Técnica nº 139/2008-SRE/ANEEL: Segunda revisão tarifária periódica da concessionária de distribuição de energia elétrica, de 23/04/2008**. Brasília: 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2008/029/documento/nt_principal.pdf> Acesso em: 10 dez 2010.

AHONEN, Tero et al.. Centrifugal pump operation monitoring with motor phase current measurement. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**. n.1, v.42, p.188–195, 2012. doi:10.1016/j.ijepes.2012.04.013.

ALEGRE, Helena et al. **Performance indicators for water supply services**. 2ed. London: IWA Publishing, 2006.

ALVES, W. C. et al. **Medindo água**. 2009. Disponível em: <<http://medindoagua.eco.br/2009/02/micromedicao-pncdadta-documento-tecnico.html>> Acesso em: 18 mar 2013.

ANGELAKIS, Andreas N. et al. **Prolegomena: The Evolution of Water Supply Throughout the Millennia**. IWA Publishing, 2012. Disponível em: <<http://itia.ntua.gr/getfile/1221/2/documents/2012EvolWatSuppProlegomenaPP.pdf>>. Visitado em: 05 de jan 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218 – Projeto de rede de abastecimento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASTA INSTRUMENTAÇÃO & CONTROLE. **Manômetros Utilitários**. Catálogo. Disponível em: <http://asta.com.br/sites/default/files/manometro_utilitario_catalogo.pdf> Acesso em: 06 nov 2013.

_____. **Transmissor de Pressão**. Catálogo. Disponível em: <http://asta.com.br/sites/default/files/trans_pressao.pdf> Acesso em: 06 nov 2013.

ATILGAN, B.; AZAPGIC, A.. Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey. **Journal of Cleaner Production**. V.106, p.555–564, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.046.

AZAMBUJA, R. A. **Teoria Geral de Sistemas**. Blumenau: Departamento de Sistemas e Computação, 2004. Disponível em: http://www.inf.furb.br/~zamba/docs/tgs_v2004.pdf Acesso em: 13 Jun 2008. (Apostila).

AZEVEDO NETTO, José Martiano de et al. **Manual de Hidráulica**. 8ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002. Reimpressão.

BACCI e PATACA, I. A. **World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st century**. St Petersburg: UNESCO, 1998.

BARRY, Judith A. **Watergy: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment - Cost-Effective Savings of Water and Energy**. [S. l.: s. n.], 2007.

BARRETO, Gilberto Caldeira et al. Impacto da Setorização no Abastecimento de Água em Áreas Urbanas. In: **Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, VI, João Pessoa-PB, 2006.

BATISTA, I. L.; SALVI, R. F.; LUCAS, L. B.. Modelos científicos e suas relações com a epistemologia da ciência e a educação científica. **Aprendizagem Significativa em revista**, v. 1, n. 1, p. 73-84, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem/arquivos/BATISTA;%20SALVI;%20LUCAS%202011.pdf>> Acesso em: 01 jan 2012.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria dos Sistemas: Fundamentos, desenvolvimentos e aplicações**. 3.ed. Petropolis-RJ: Editora Vozes, 2008. 360p.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B.. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BONATO, A. S. F.. **Extreme Programming e Qualidade de Software**. São Paulo, 2002. (Apostila). Disponível em: <<ftp://www.ufv.br/dpi/mestrado/XP/A%20-%20XP%20e%20Qualidade/Bonato,%20A%20-%20XP%20e%20Qualidade.pdf>> Acesso em: 14 mar 2015.

BORGES, E. J. B. **Análise da micromedicação do volume de água potável domiciliar e sua influência no cálculo das perdas no sistema de distribuição**. 2007. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgec.feciv.ufu.br/node/232>> Acesso em: 09 jan 2013.

BOHÓRQUEZ, J.; SALDARRIAGA, J.; VALLEJO D.. Pumping Pattern Optimization in Order to Reduce WDS Operation Costs. **Procedia Engineering**, v.119, p.1069–1077, 2015. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.936

BURGSCHWEIGER, J.; GNÄDIG, B.; STEINBACH, M. C.. Optimization models for operative planning in drinking water networks. **Optimization and Engineering**. v.10, n.1, p 43–73, 2009. doi: 10.1007/s11081-008-9040-8

BRASIL. Casa Civil. **Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em 27 dez 2012.

_____. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3.ed. Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2004.

_____. Fundação Nacional de Saúde. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2006. 374p.

_____. Ministério das Cidades. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços sobre água e esgoto - 2010**. 2012. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 01 de mar de 2015.

_____. Ministério das Cidades. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços sobre água e esgoto - 2011**. 2013. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 01 de mar de 2015.

_____. Ministério das Cidades. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços sobre água e esgoto - 2012**. 2014a. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 01 de mar de 2015.

_____. Ministério das Cidades. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços sobre água e esgoto - 2013**. 2015. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 01 de mar de 2015.

_____, Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014: ano base 2013**. 2014b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202014.pdf>> Acesso em: 11 out 2015.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. 2011. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em 05 de mai de 2012.

CABRERA, Enrique et al.. Energy Audit of Water Networks. **Water Resources Planning and Management**, v.136, n.6, p.669–67, 2010. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000077, 669-677

CAMPOS AVELLA, J. C. et. al. **Ahorro de Energía en Sistemas de Bombas Centrífugas**. UPME-Colciencias. Colombia, 2007. Disponível em: <<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/bombas.pdf>> Acesso em: 10 mai 2015.

CARAVANTES, Geraldo R. et al. **Administração: Teoria e Processo**. São Paulo: Pearson Prantice Hall, 2005. 572p.

CARVALHEIRO, J. R.. Água e saúde: bens públicos da humanidade. **Estudos Avançados**, v.29, n.84, 2015. doi: 10.1590/S0103-40142015000200009

CASTRO, G. V. F.; SALDARRIAGA, J. G.. Algoritmos de Optimización Combinatoria (AOC) aplicados al diseño de redes de distribución de agua potable. **Revista de Ingeniería**, n.22, p.118–125, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932005000200014&script=sci_arttext> Acesso em: 08 Out 2012.

CEBALLOS, B. S. O.; DANIEL, L. A.; BASTOS, R. K. X.. Tratamento de Água para Consumo Humano: panorama Mundial e Ações do PROSAB. In: PÁDUA, Valter Lúcio de. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2004.

CHIAVENATO, I. **Administração: Teoria, Processo e Prática**. 4. ed. Rio de Janeiro - RJ: Elsevier, 2007. 411p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COELHO, A. C. **Micromedicação em sistemas de abastecimento de água**. João Pessoa-PB: Editora universitária da UFPB, 2009.

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H.; RAMOS, H.. Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.2, 2010. doi: 10.1590/S1413-41522010000200011

COOPER, P. Centrifugal pump theory. In: KARASSIK et al. **Pump Handbook**. 3.ed. Washington DC: McGraw-Hill, 1997, p.2.3 –2.97.

DRACK, Manfred; SWHARZ, Gregor. Recent Developments in General System Theory. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 27, ed. 7, 599–721p, 2010.

DUTRA, Luiz Henrique de Araújo. Os modelos e a pragmática da investigação. **Scientia estudia**, v. 3, n. 2, 2005.

DUTRA R. F.; ALTAFINI, C. R.. Melhorias em um sistema de bombeamento municipal visando a eficiência energética – Estudo de Caso. **Scientia cum industria**, v.2, n.1, p.1–9, 2014. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/2057/pdf_365> Acesso em: 21 Out 2015.

ELETROBRÁS. **Diagnóstico de eficiência energética em sistemas de bombeamento**. 2014. (Apostila: curso de diagnóstico de eficiência energética de sistemas de bombeamento)

FRANGIPANI, M. **Macromedicação**. Brasília-DF: Ministério das Cidades, SNSA, 2007. (Guias Práticos: Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, v. 1)

GALVÃO, J.; BERMANN, C.. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, v.29, n.84, p.43–68, 2015 doi: 10.1590/S0103-40142015000200004

GIUSTOLISI, O.; LAUCELLI, D.; BERARDI, L.. Operational Optimization: Water Losses versus Energy Costs. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.139, n.4, p.410–423, 2012. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000681

GOMES, H. P.. **Sistemas de Abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 3.ed . João Pessoa: Editora universitária/UFPB, 2009.

GOMES, H. P.; BEZERRA, S. T. M.. **DTA – Documento técnico de apoio nº D2: Macromedição**. 3.ed, João Pessoa, 2009.

GOMES, H. P. (Org); CARVALHO, P. S. O. (Org). **Manual de Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energética**: Eficiência energética. Editora Universitária/UFPB, 2012.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistema de Saneamento**: eficiência energética. João Pessoa: Editora universitária/UFPB, 2010. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/wp-content/uploads/arquivos/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf> Acesso em: 25 de jun. de 2012.

GOLDMAN, Alfred et al. Being Extreme in the Classroom: Experiences Teaching XP. **Journal of the Brazilian Computer Society**, v.10, n.2, p.1–17 2004. doi:10.1007/BF03192356

SILVA, A. P. G. **CEP – Controle estatístico de processo: aplicações práticas**. São Paulo: Nelpa, 2011, 138p.

GERGORGESCU, Andrey Migur et al., EPANET Simulation of Control Methods for Centrifugal Pumps Operating under Variable System Demand. **Procedia Engineering**, v.119, p.1012–1019, 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.995

GONÇALVES, R. F.. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de água**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2009.

GUMIER, C. C.; LUVIZOTTO JUNIOR, E.. Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.1, p.32–41, 2007. doi: 10.1590/S1413-41522007000100005

HANNE, A.. The history if reductionism versus holistic approaches to scientific research. **Endeavour**, v.25, n.4, p.153–156, 2011. doi:10.1016/S0160-9327(00)01387-9

HELLER, L.; PÁDUA, V. L.. **Abastecimento de água para consumo humano – volume 2**. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HICKEY, H.. **Water Supply Systems and Evaluation Methods: Water Supply System Concepts**. [S. l.]: U.S. Fire Administration, 2008, volume 1.

HIRNER, W.; LAMBERT, A.. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. **The blue pages**, IWA, 2000.

HUNAIIDI, Hunaidi, O.; Chu, W.; Wang, A. & Guan, W. (2000). Detecting Leaks in Plastic Pipes. *Journal of the American Water World Association*, v.92, n.2, p.82-94. doi: JAW_0050206

IETSUGU, H. A Importância da Hidrometria. **Saneas**, São Paulo, v.12, n.45, p.3-7, 2012.

JAMIESON, D. G., SHAMIR, U., MARTINEZ, F., & FRANCHINI, M. Conceptual design of a generic, real-time, near-optimal control system for water-distribution networks. **Journal of Hydroinformatics**, n. 09, v.1, p. 3–14, 2007.

JUUTI, P.; KATKO, T.; VUORINEN, H.. **Environmental History of Water**: Global views on community water supply and sanitation. London: IWA Publishing, 2007.

KAYA, D.; YAGMUR, E. A.; YIGIT, K. S.. Energy efficiency in pumps. **Energy Conversion and Management**, v.49, v.6, p.1662–1673, 2008. doi: 10.1016/j.enconman.2007.11.010

KHAN, 2012. A Comparative Study of White Box, Black Box and Grey Box Testing Techniques. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v.3, n.6, p.12-15, 2012.

LAMBERT, A.. Assessing non revenue water and its components: a practical approach. **Water**, 21, 2003.

LITTLE, A D. **Energy efficiency and electric motors**. Final Rept. for FEA, May, 1976.

LIU, Jian et al. Sustainability in hydropower development – A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 19. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200648X>>. Acesso em: 7 jun. 2013.

MACINTYRE, A. J. Bombas e instalações de bombeamento. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1987.

MELE, C.; PELS, J.; POLESE, F.. A Brief Review of Systems Theories and Their Managerial Applications. **Service Science**, v.2, n.1-2, p.126–135, 2010. doi: [dx.doi.org/10.1287/serv.2.1_2.126](https://doi.org/10.1287/serv.2.1_2.126).

MENDONÇA, S. R. **Manual do reparador de medidores de água**. São Paulo-SP: BNH/ABES/CETESB, 1975.

MOTTA, F. C. P.; VASCONCELOS, I.F.G. **Teoria Geral da Administração**. 3 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 428p. 5ª edição.

NARVÁEZ, P. C.; GRANADOS, J. A.; BARRERA, H.. Solución de redes hidráulicas mediante la aplicación del modelo de balance de nodos y el método de linealización de ecuaciones. **Ingeniería e Investigación**, v.42, 1999. Disponível em: <<http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/21066>> Acesso em 10 mai 2015.

NEW YORK STATE. **Water & Wastewater Energy Management: Best Practices Handbook**. New York: NYSERDA, 2010. 92p.

NIELSEN, M. J et al. **Medição de água – Estratégias e experimentações**. Curitiba-PR: Sanepar, 2003.

OLIVEIRA, D. P. R. **Sistemas de Informações Gerenciais**. 8 ed. São Paulo: :Atlas, 2008. 285p.

ORMSBEE, Lindell; WALSKI, Thomas. Identifying efficient pump combinations. **Journal American Water Works Association**, v. 81, n. 1, January/1989.

PARÁ. COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém**. Belém, 2004.

PARÁ. COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Sistema de abastecimento de água: setor Guanabara, área de expansão, volume 1.** Belém, 1998.

PEREIRA, J. P., & CONDURÚ, M. T. **Abastecimento de água: Informação para Eficiência Hidroenergética.** João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2014.

PINHEIRO, J. M. S.. Qualidade de energia elétrica em sistemas de automação. Cadernos UniFOA, , v.13, p. 23–32, 2010. Disponível em: <<http://web.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/13/23.pdf>> Acesso em: 17 jul 2012.

PIMENTEL, D., & PIMENTEL, M. (2006). Global environmental resources versus world population growth. **Ecological Economics**, p.195-198. Disponível em: <<http://www.aseanenvironment.info/abstract/41014936.pdf>>. Visitado em: 26 de out. de 2012.

QUEIROZ, A. R. S.; VEIGA, M. M.. Análise dos impactos sociais e à saúde de grandes empreendimentos hidrelétricos: lições para uma gestão energética sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, n.6, 2012. doi: [dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600002](https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600002)

REBOUÇAS, A. C.. 2006. Água doce no mundo e no Brasil. In: **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.,; TUNDISI, J. G.. (Org.). 3.ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p.241-265.

RECESA. **Abastecimento de água:** gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento - nível 2. Salvador: ReCESA, 2008.

RECH, A. L. **Água**, micromedição e **perdas**. 2.ed. amp. e rev. São Paulo-SP: Scortecci, 1999.

REGO, Augusto da Gama et al. Evaluation of sustainability in the use of water within the Amazon deforestation area: a case study in Rondon do Pará, Pará State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 2, 2013. doi: [10.4025/actascitechnol.v35i2.13820](https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i2.13820)

REGO, Augusto da Gama et al. Avaliação do uso da água potável em sistemas urbanos de abastecimento de água na região metropolitana de belém: estudo de caso da comunidade do canarinho. **Revista Traços**, v. 10, n. 21, 2008. Disponível em: <http://www.unama.br/editoraunama/download/revistatracos/TRACOS_V10_N21_JUNHO2008.pdf> Acesso em: 09 de fev de 2012.

REHEIS, H. F.; GRIFFIN, M. K. **Energy cost reduction through operational practices.** AWWA 1984 Annual Conference, Dallas, 1984.

RIBEIRO, A. L. **Modelo de indicadores para mensuração do desenvolvimento sustentável na Amazônia**. Belém-PA: Universidade Federal do Pará, 2002p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido - PTDU, UFPA. 2002.

RODRÍGUEZ, A. S. L.. Modelo de entrega de agua con parametros heurísticos de ponderación. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, n. 33, v. 2, p. 106–120, 2012. Disponível em: <<http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/110>> Acesso: em: 11 de fev de 2013.

ROSSMAN, L. A. **Epanet 2.0: users manual**. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 2000. 200p.

SANTOS, A. C. P. A.; PEREIRA, J. A. R.. Controle e espacialização dos pontos de vazamentos em redes de distribuição de água de áreas urbanas: caso do 3º setor de distribuição de água da Região Metropolitana de Belém. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p. 1439-1451, 2015. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/viewFile/17101/pdf>>

SANTOS, Sérgio Lopes dos. **Bombas & instalações hidráulicas**. São Paulo: LTC Editora, 2007.

SANTOS FILHO, Davino F. dos. **Tecnologia de Tratamento de Água: Água para Indústria** 3 ed. São Paulo: Nobel, 1989.

SILVA, N. A. S.; LUVIZOTTO JÚNIOR, E.. Indicadores de gestão para sistemas de abastecimento de água. In: **Seminário Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água**. Seminário João Pessoa-Pb, 2002.

SILVA, R. O. D.. **Teorias da administração**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

SILVA, Warney Araújo. **Utilização de recursos de compensação reativa de indústrias no controle de tensão do sistema elétrico**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SOARES et al.. Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de Água de Campo Grande-MS via modelo inverso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, n.4, 2004. doi: [dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000400008](https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400008)

SPERLING, Eduardo Von. Hydropower in Brazil: Overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**, n. 18, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021200793X>. Acesso em: 7 jun. 2013.

SUNELA, M. I.; PUUST, R.. Real Time Water Supply System Hydraulic and Quality Modeling – A Case Study. **Procedia Engineering**, v.119, p744–752, 2015. doi: [doi:10.1016/j.proeng.2015.08.928](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.928)

TSUTIYA, M. T.. **Abastecimento de Água**. 2.ed. São Paulo: EPUSP, 2005.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R.. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, n.79, 2007. doi: [10.1590/S0101-33002007000300003](https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003)

THEODOSIOU, G.; KORONEOS, C.; STYLOS, N.. Environmental impacts of the Greek electricity generation sector. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.5, p.19–27, 2014. doi: [doi:10.1016/j.seta.2013.10.005](https://doi.org/10.1016/j.seta.2013.10.005)

TRUJILLO, A. U. B. Metodo practico de obtencion de potencia y eficiencias de unidades de bombeo en operacion. **Ingeniería hidráulica y ambiental**, v.33, n.3, p.86–97, 2012. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382012000300007&script=sci_arttext Acesso: 17 mai 2013.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects: The 2015 Revision**. New York: United Nations, 2015.

VALDÉS, Y. M., & ESTEVE, R. H. Estaciones de bombeo: Evolución y futuro. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, n. 30, v. 2, p. 72–76, 2009. Disponível em: <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/download/82/53> Acesso em: 29 jul 2013.

VILANOVA, M. R. N., & BALESTIERI, J. A. P. Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.30, p.701–714, 2014. doi: [doi:10.1016/j.rser.2013.11.024](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.024)

WEG. **Manual para correção do fator de potência**. 2011a. Disponível em <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>> Acesso em: 10 de jun 2013.

WEG. **Motores Elétricos: Guia de Especificação**. 2011b. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>>. Visitado em: 07 de junho de 2013.

WEIGERT, W.; RATTMANN, C. A. Utilização de orto-polifosfato no tratamento de água para eliminação de água suja (água vermelha) e redução de incrustações na rede de distribuição. In: **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Fóz do Iguaçu: ABES, 1997.

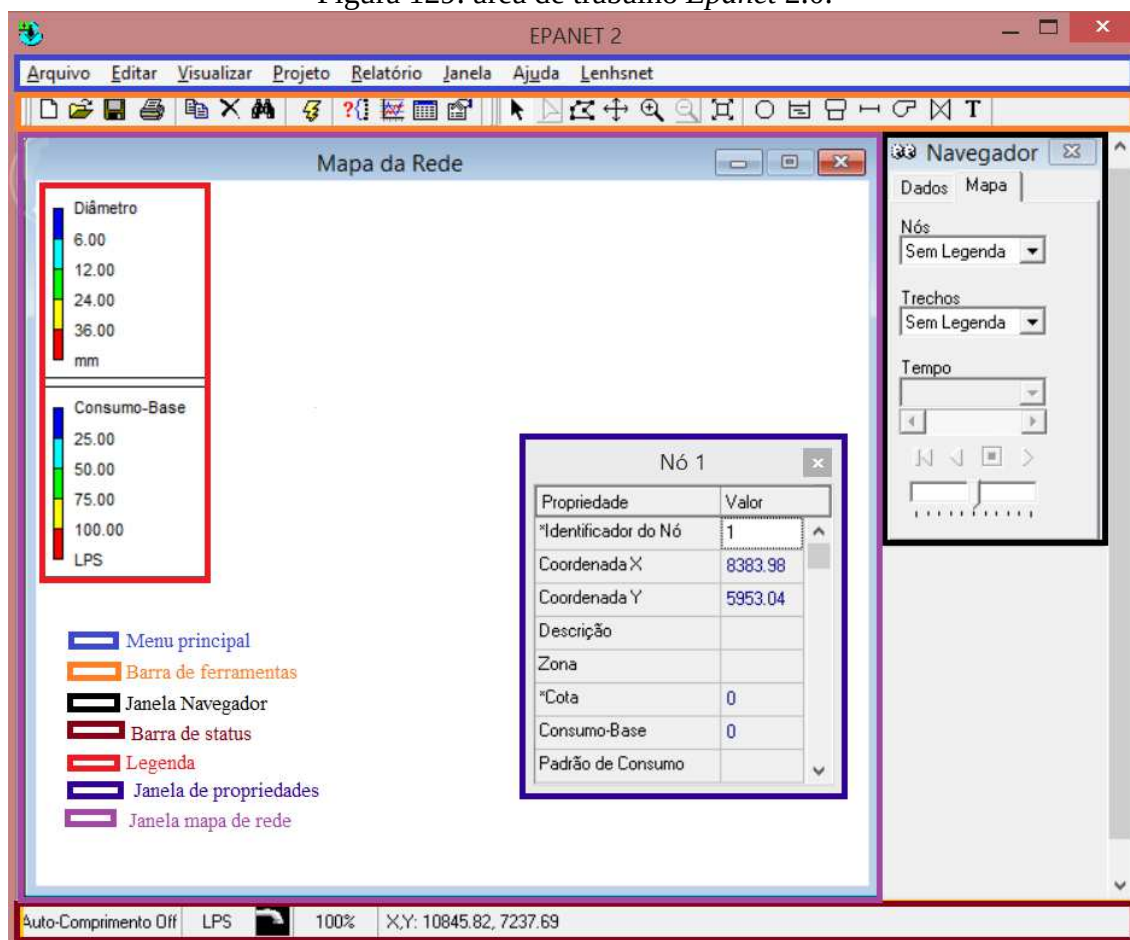
WERDINE, D.. **Perdas de água em sistemas de abastecimento**. 2002. 144p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. Disponível em: <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0031253.pdf>> Acesso em: 25 fev 2013.

ZHANG, H., XIA, X., & ZHANG, J. Optimal sizing and operation of pumping systems to achieve energy efficiency and load shifting. **Electric Power Systems Research**, n.86, p.41–50, 2012.

ANEXO A – INTRODUÇÃO AO EPANET

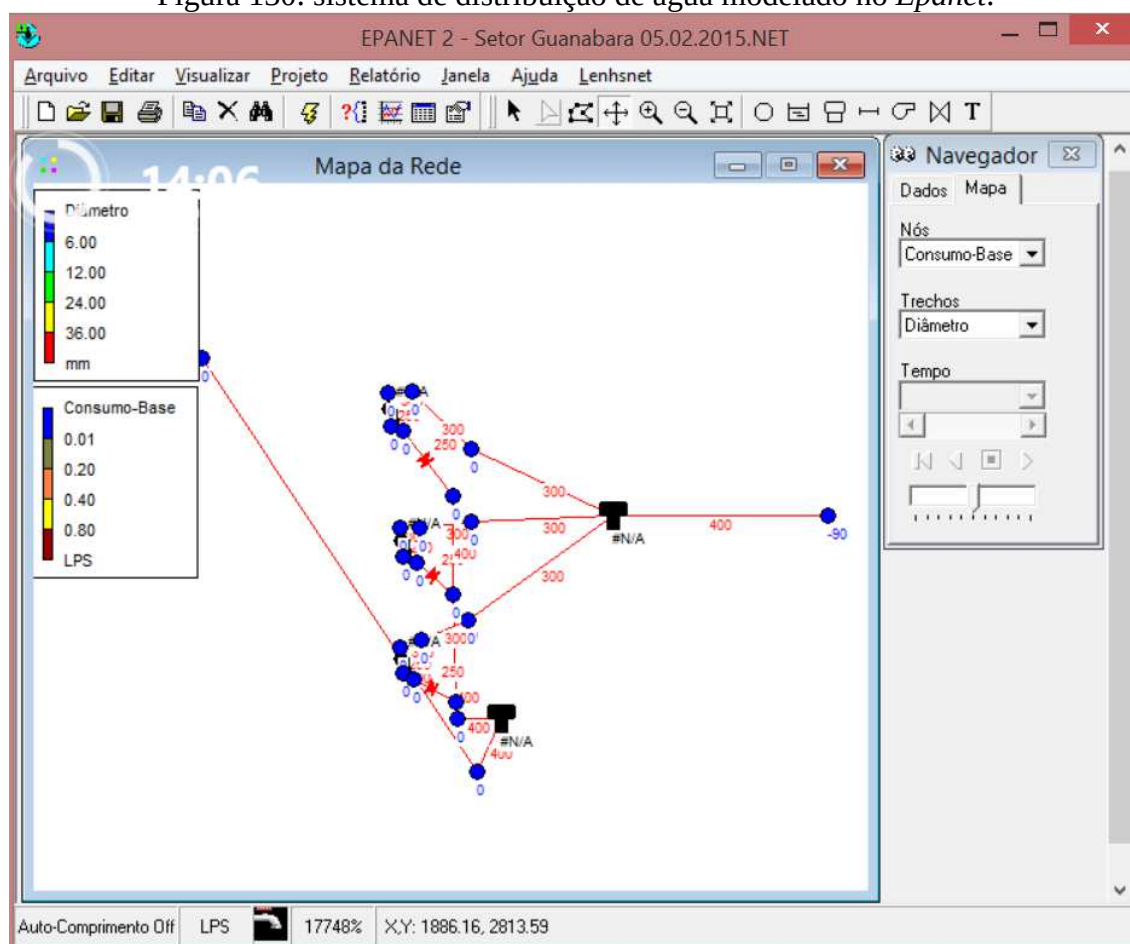
O *Epanet* apresenta ambiente gráfico integrado para editar os dados descritivos da rede e dos cenários a modelar, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água, aferir o modelo e visualizar os resultados em vários formatos. Seu ambiente de trabalho que apresenta menus, barra e janelas que, são destinados a configurações e funcionalidades do software para modelagem, simulação e calibração de projetos do âmbito hidráulico e qualidade da água (Figura 129).

Figura 129: área de trabalho *Epanet* 2.0.



Basicamente, a modelagem do SAA no *Epanet* funciona por meio da utilização de dois objetos distintos: os que funcionam como nós (nós propriamente dito, reservatórios de nível fixo, reservatórios de nível variável) e que funcionam como trechos (tubulações, bombas e válvulas). A rede é diretamente desenhada já janela mapa de rede inserindo, primeiramente, de preferencia os nós e em seguida interliga-os por meio dos trechos e em seguida atribuir as propriedades a cada objeto, até que a rede possa ser simulada, como observado na Figura 130.

Figura 130: sistema de distribuição de água modelado no *Epanet*.



Sobre os objetos utilizados para a modelagem de SAA no *Epanet* (ROSSMAN, 2000):

i) *Nós da rede*: pontos de encontro entre dois ou mais trechos, onde, normalmente, são avaliadas pressões na rede de acordo com limites normativos e com necessidades operacionais. Para cada nó é atribuída cota topográfica e também determinado valor de consumo base de água em litros por segundo (que pode ser modelado na forma de curvas de consumo de água);

ii) *Reservatórios de nível fixo (RNF)*: suas propriedades independem do comportamento hidráulico da rede, uma vez que o mesmo possui volume disponível ilimitado e carga disponível a partir do nível de água informado;

iii) *Reservatórios de nível variável (RNV)*: possui volume limitado e dependente do comportamento hidráulico da rede, suas seguintes propriedades são a cota (cota do fundo do reservatório), altura de água inicial no início da simulação (nível de água, a partir do fundo do reservatório), nível mínimo de água (nível mínimo de água atingido no interior do reservatório, a partir do fundo do reservatório) e nível máximo de água: (nível máximo de água atingido no interior do reservatório, a partir do fundo do reservatório);

iv) *Tubulações*: são trechos que transportam água entre os vários nós da rede, funcionando como condutos forçados com sentido do escoamento dos pontos de maior carga hidráulica para menor carga hidráulica. Basicamente, ao modelar tubulações na rede é necessário verificar nas suas propriedades o diâmetro, o comprimento e o coeficiente de rugosidade;

v) *Conjunto motor e bomba*: são trechos da rede que representam existência de CMB, sendo possível modelá-los com potências fixas, ou suas com curvas de bomba e de rendimento.

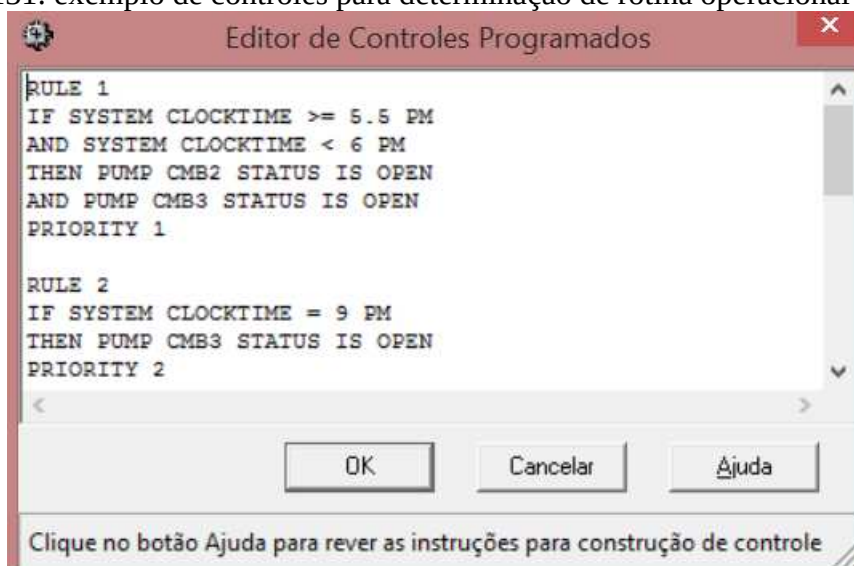
vi) *Válvulas*: suas principais propriedades são o diâmetro, estado, nó inicial e nó final, sendo possível modelar: válvula redutora de pressão (prv), válvula sustentadora de pressão (psv), válvula de perda de carga fixa (pbv), válvula reguladora de vazão (fcv), válvula de controle de perda de carga ou válvula borboleta (tcv) e válvula genérica (gpv).

Nas simulações dinâmicas³⁰ também que são testadas rotinas operacionais para o SAA visando o uso racional de água e energia elétrica a partir de programação de controles, chamados de Controles podem ser considerados conjunto de códigos que orientam condições e rotinas operacionais no *Epanet*. São utilizados para estabelecer o estado dos objetos em função de variáveis como tempo, alturas de água num reservatório de nível variável e valores de pressão em pontos específicos da rede e são divididos em simples e programados. Na sequência, na Figura 131 é apresentado exemplo de controles, no caso, controle programado.

a) *Controles simples*: utilizados para alterar estado ou propriedade de trechos, tendo apenas uma condição como referência, a qual pode ser altura de água num reservatório de nível variável, a pressão em determinado nó, instante da simulação ou instante do dia.

b) *Controles programados*: possibilitam alterações no estado e propriedades de trechos por meio de combinação ilimitada de condições encontradas na rede, onde. Nas suas instruções, apenas RULE, IF e THEN são obrigatórias, sendo que os opcionais OR e AND são ilimitados e o primeiro tem prioridade em relação ao segundo.

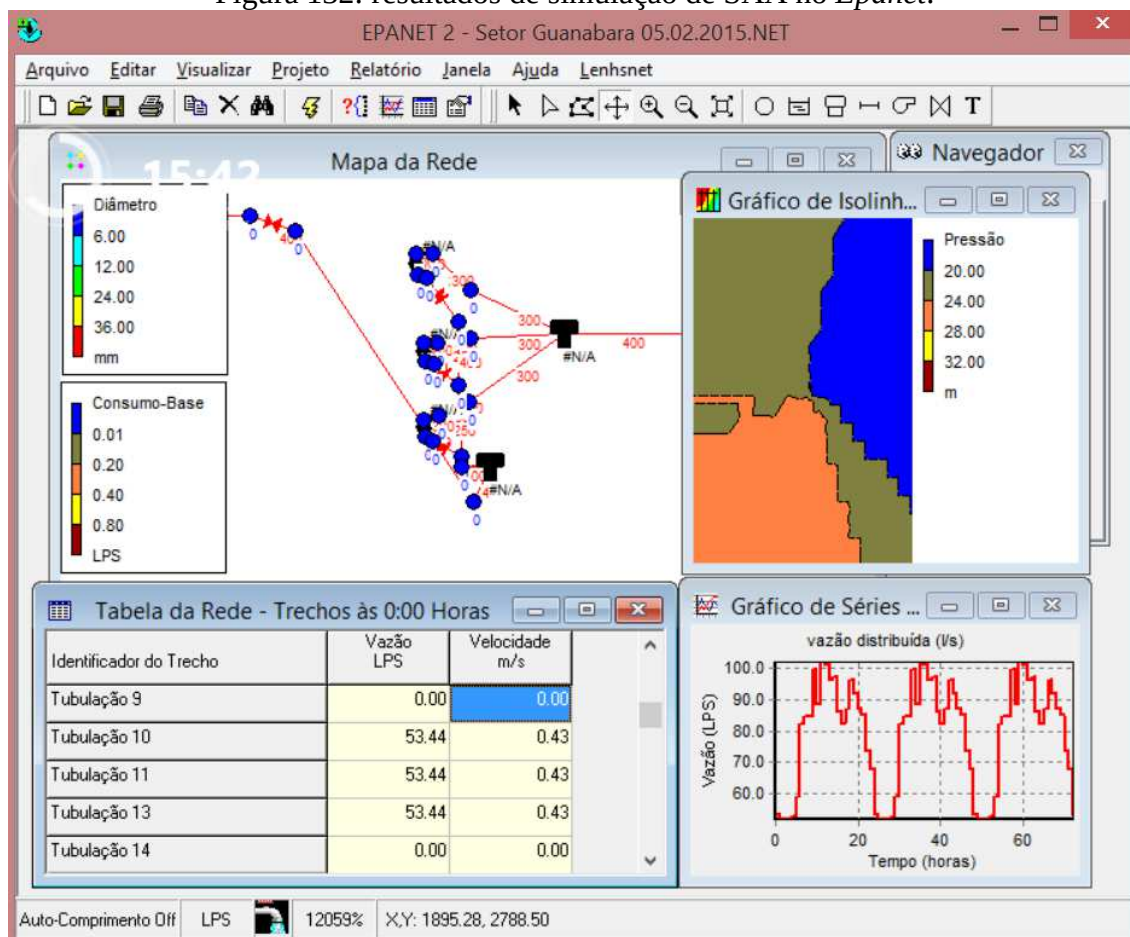
Figura 131: exemplo de controles para determinação de rotina operacional em SAA.



³⁰ Existem duas possibilidades para realização das simulações no *Epanet*: a simulação estática (utilizada basicamente com objetivo de verificar o funcionamento da rede modelada) e a simulação dinâmica (que necessita de padrões temporais para ser efetuada).

As modificações na operação do SAA, efetuadas graças aos controles, são verificados após o cálculo das condições hidráulicas iniciais na rede, sendo que os resultados das simulações podem ser visualizados em *Mapas*, *Gráficos*, *Tabelas* e *Relatórios* no *Epanet*, conforme a Figura 132.

Figura 132: resultados de simulação de SAA no *Epanet*.



ANEXO B – MÓDULO DE SISTEMATIZAÇÃO

A área de cabeçalho possui campos para digitação de diversas informações solicitadas pelo **SADHE2A - sistematiza**, das quais se destaca o campo “Grandeza”, indicado por “1”, no qual é possível selecionar opção dentro de lista que constam “Vazão (L/s)”, “Nível (metros)”, “Pressão (mca)” e “Pot. Ativa (kW)”. Outros dois campos importantes são referentes às datas referentes ao início e o final do período dos cadastrados, indicados, respectivamente, por “2” e “3”.

Figura 133: **SADHE2A – sistematiza** –área de cabeçalho.

The screenshot shows the header area of the SADHE2A - sistematiza application. It includes fields for company information, technical details, and data entry parameters. Numbered callouts indicate key fields: 1 points to the 'Grandeza' dropdown menu, 2 points to the 'Início' date field, and 3 points to the 'Final' date field.

Após inserir os dados do cabeçalho é necessário cadastrar os valores da área de dados hidroenergéticos, conforme observado na Figura 134. São 10.080 campos, na coluna indicada por “1”, para receber valores referentes aos registros de uma semana de operação, referente a diagnóstico ou a simulação. Ao apertar o botão indicado por “2”, os dados serão, então, sistematizados e exibidos na área indicada por “3” e depois serão calculadas as estatísticas básicas. Ao apertar o botão indicado por “4” é possível salvar relatório com os dados brutos com estatísticas básicas no formato pdf. É possível, ainda, limpar todos os campos apertando o botão indicador por “5”.

Figura 134. **SADHE2A – sistematiza** –área de dados

The screenshot shows the data area of the SADHE2A - sistematiza application. It displays a table with 10 columns and 11 rows of data. Numbered callouts indicate key elements: 1 points to the first column (Hora), 2 points to the 'Sistematizar' button, 3 points to the 'Salvar' button, 4 points to the 'Limpar' button, 5 points to the 'Relatório' button, 6 points to the 'Mostrar' button, and 7 points to the 'Ocultar' button.

Hora	Vazão (L/s)	Média Móvel	Amplitude média	Ordem crescente	Desvio da média	Valor diário	Ordem crescente	Desvio da média	Valor Geral
00:00:00	53,91	-	-	51,03	-25,85	668,05	53,91	-30,41	924,58
00:01:00	54,14	54,03	0,23	51,20	-25,62	656,21	54,14	-30,18	910,65
00:02:00	54,21	54,18	0,07	51,21	-25,55	652,63	54,21	-30,11	906,43
00:03:00	54,05	54,13	0,16	51,23	-25,71	680,83	54,05	-30,27	916,09
00:04:00	53,85	53,95	0,20	51,30	-25,91	671,15	53,85	-30,47	928,24
00:05:00	53,93	53,89	0,08	51,34	-25,83	667,01	53,93	-30,39	923,37
00:06:00	53,89	53,91	0,04	51,36	-25,87	669,08	53,89	-30,43	925,80
00:07:00	53,87	53,88	0,02	51,40	-25,89	670,12	53,87	-30,45	927,02
00:08:00	53,48	53,68	0,39	51,41	-26,28	690,46	53,48	-30,84	950,92
00:09:00	53,77	53,63	0,29	51,42	-25,99	675,30	53,77	-30,55	933,12
00:10:00	53,31	53,54	0,46	51,42	-26,45	699,42	53,31	-31,01	961,43

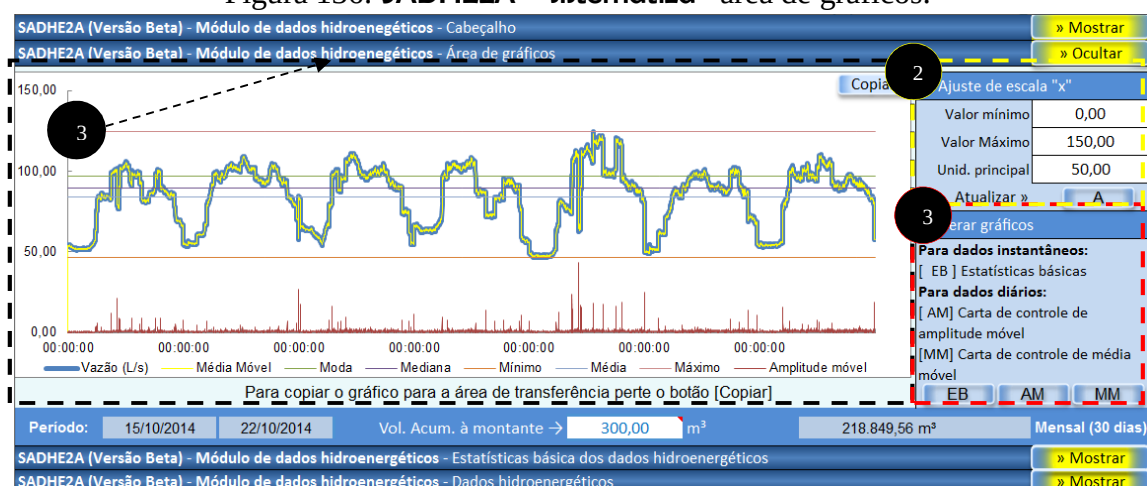
Ainda na Figura 134, quando o arquivo se tratar de sistematização de dados de vazão de água ou de potência elétrica demandada é apresentado o campo indicado por “6”, que apresenta o valor mensal consolidado de volume de água ou de consumo de energia elétrica. Vale ressaltar que em se tratando especificamente de volumes de água e quando e houver reservatório imediatamente à montante da unidade, o campo indicado por “7” deve ser preenchido com a diferença entre o volume inicial e o final do referido reservatório.

Após solicitar a sistematização dos dados, na área de estatística básica, apresentada na Figura 135, é possível verificar, na área indicada por “1”, informações diárias como volumes diários de água ou consumos diários de energia elétrica (no caso de outras grandezas são apresentados os valores médios), mínimos, máximos, médias, modas, medianas etc, bem como verificar na área indicada por “2”, as mesmas informações relacionadas aos sete dias de dados inseridos.

Figura 135: SADHE2A – sistematiza –área de estatística básica.

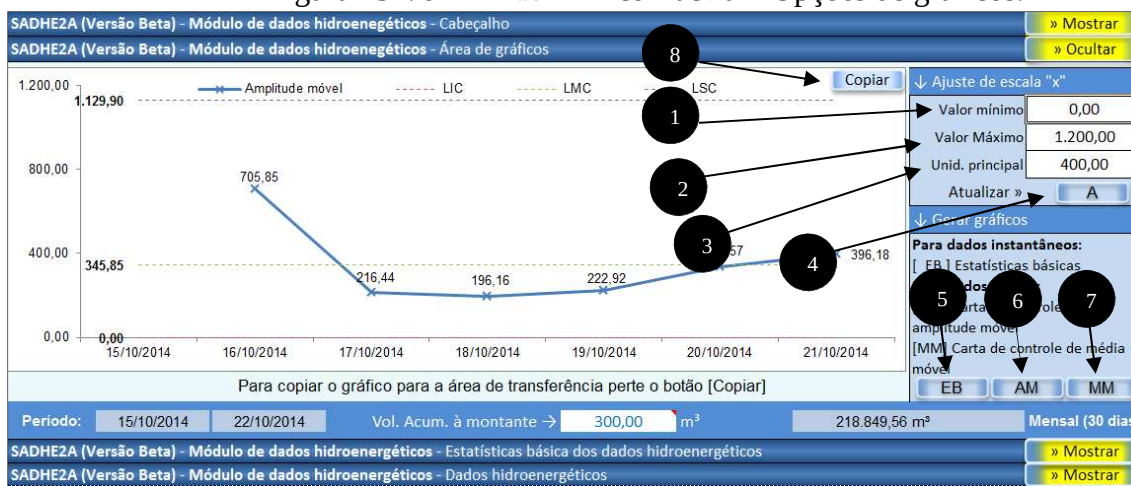
SADHE2A (Versão Beta) - Módulo de dados hidroenergéticos - Cabeçalho								» Mostrar
SADHE2A (Versão Beta) - Módulo de dados hidroenergéticos - Área de gráficos								» Mostrar
Período:	15/10/2014	22/10/2014	Vol. Acum. à montante →	300,00	m³	218.849,56 m³	Mensal (30 dias)	
SADHE2A (Versão Beta) - Módulo de dados hidroenergéticos - Estatísticas básicas dos dados hidroenergéticos								» Ocultar
	15/10/2014	16/10/2014	17/10/2014	18/10/2014	19/10/2014	20/10/2014	21/10/2014	Dados gerais
Volume de água (m³)	6.890,97	7.596,82	7.380,39	7.184,23	7.407,15	7.069,58	7.465,70	50.994,90
Mínimo	51,03	53,30	54,09	55,41	46,23	48,83	52,70	46,23
Máximo	105,99	109,48	111,33	108,90	124,83	102,79	110,30	124,83
Média	79,76	87,93	85,42	83,15	85,73	81,82	86,41	84,32
Moda	52,00	55,23	97,78	86,89	47,63	87,72	54,10	96,97
Mediana	84,24	94,54	91,94	86,18	90,73	88,19	91,90	89,51
Amplitude	54,96	56,18	57,24	53,49	78,60	53,96	57,50	78,60
Variância	305,87	289,42	297,81	256,88	623,31	256,69	302,80	333,27
Desvio Padrão	17,49	17,01	17,26	16,03	24,97	16,02	17,40	18,26
SADHE2A (Versão Beta) - Módulo de dados hidroenergéticos - Dados hidroenergéticos								» Mostrar

Figura 136: SADHE2A – sistematiza –área de gráficos.



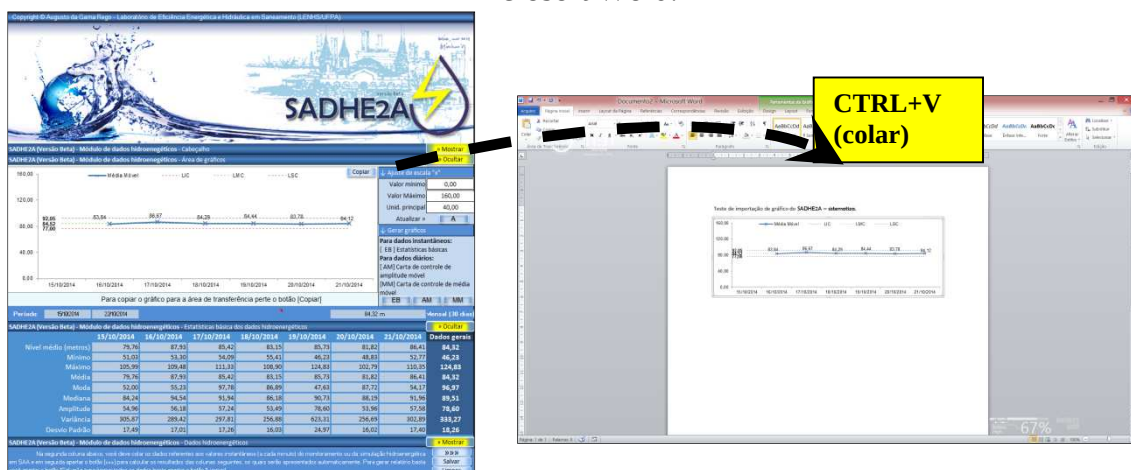
Na área de gráficos, o primeiro passo é alterar configurações de eixos dos gráficos gerados, no caso, valor mínimo (indicado por “1”), valor máximo (indicado por “2”) e unidade principal (relacionada ao intervalo dos do eixo das ordenadas, indicado por “3”). Depois dos eixos configurados, é necessário atualizar os dados apertando o botão indicado por “4” e em seguida é possível gerar o gráfico de estatísticas básicas (indicado por “5”) ou a carta de controle de amplitude móvel (indicado por “6”) ou, ainda, a carta de controle de média móvel (indicado por “7”). Por fim, o gráfico visualizado, por de ainda ser copiado para área de transferência apertando com o botão indicado por “8”. As opções mencionadas são todas observadas na Figura 137.

Figura 137: SADHE2A – sistematiza – Opções de gráficos.



O gráfico copiado para a área de transferência pode ser inserido em qualquer documento do *Microsoft Office*, como, por exemplo, o Word, como na Figura 138.

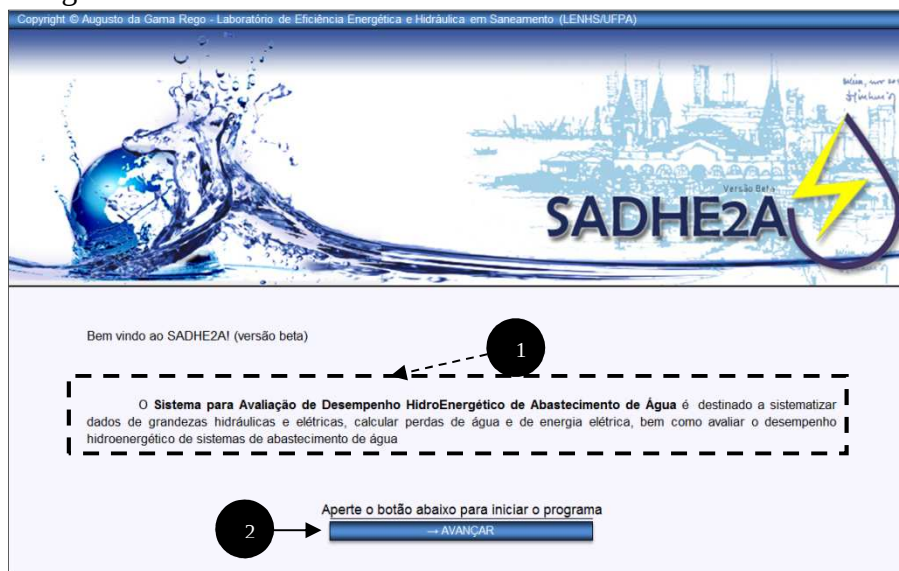
Figura 138: SADHE2A – sistematiza – exportação de gráfico para a Microsoft Word.



ANEXO C – MÓDULO DE AVALIAÇÃO

Ao abrir o módulo de avaliação, batizado como **SADHE2A - avalia**, é apresentada a interface de acordo com a Figura 80, a qual apresenta texto de informação sobre o programa, indicado por “1”, e o botão para iniciar o programa, indicado por “2”.

Figura 139: **SADHE2A – avalia** – Interface da tela de boas vindas.



Após apertar o botão iniciar, é apresentada interface do **SADHE2A – avalia**, a qual contém barra de ferramentas, indicada por “1”, e área de trabalho e visualização de resultados, indicada por “2”.

Figura 140: **SADHE2A – avalia** – Tela de cadastro do usuário.

Dados do usuário do SADHE2A (Versão Beta)

Sobre a empresa

Empresa ↓ Empresa exemplo 1 CNPJ ↓ 123456/200

Endereço da sede

Endereço ↓ Rua belém

Complemento ↓ Próximo à UFPA Bairro ↓ Centro Cidade ↓ Belém Estado ↓ Pará CEP ↓ 67.000-000

Cadastro de responsabilidade

Setor Responsável ↓ Laboratório LENHS/UFPA

Especialista responsável ↓ Analista 1 E-mail ↓ analista@sahe2a.com.br Telefone ↓ 9999-9999

Cadastro de datas

Período de avaliação ↓ Período de referência para avaliação ↓

Início (dd/mm/aaaa)	Final (dd/mm/aaaa)	Início (dd/mm/aaaa)	Final (dd/mm/aaaa)
01/06/2015	30/06/2015	01/10/2014	31/10/2014

Na barra de ferramentas é possível visualizar sete botões, conforme Figura 141. Os botões indicados por “1” e “2” são utilizados para navegação entre as telas do **SADHE2A – avalia**, respectivamente, para avançar para a próxima tela e retornar para a tela anterior. Os botões indicados por “3”, “4”, e “5” são utilizados para configurar e imprimir, em como abrir janela de criação de gráficos, funcionalidades essas que serão abordados em momento mais adequado. Os botões indicados por “6” e “7” são utilizados, respectivamente para navegar pelo **SADHE2A – avalia** (ao longo das etapas da metodologia desenvolvida) e para abrir janela de informações do programa. Na sequência é apresentada a Figura 143, no caso, é mostrada a janela mapa do navegador.

Figura 141: **SADHE2A – avalia** – Barra de ferramentas.

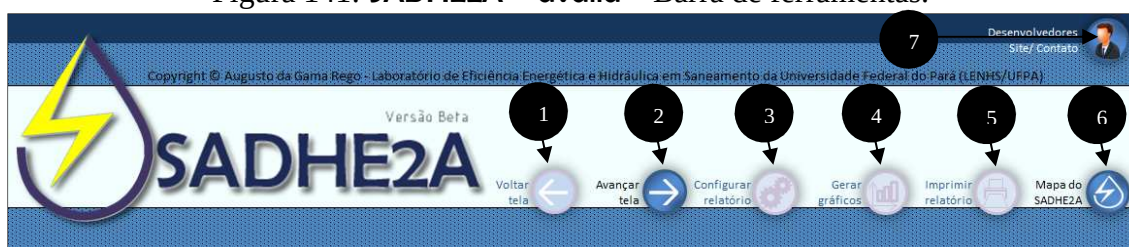
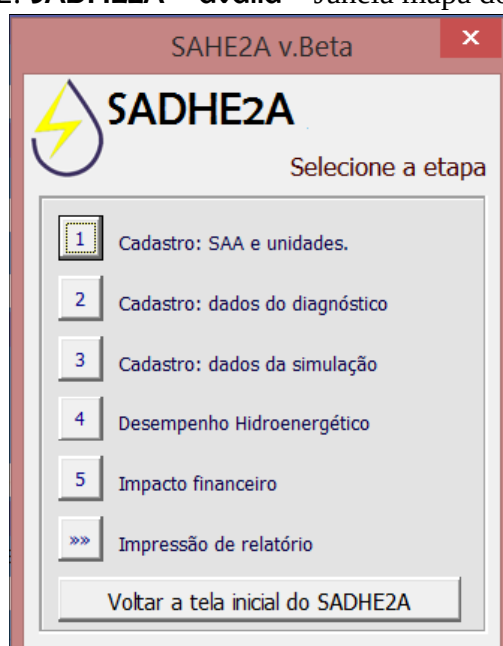
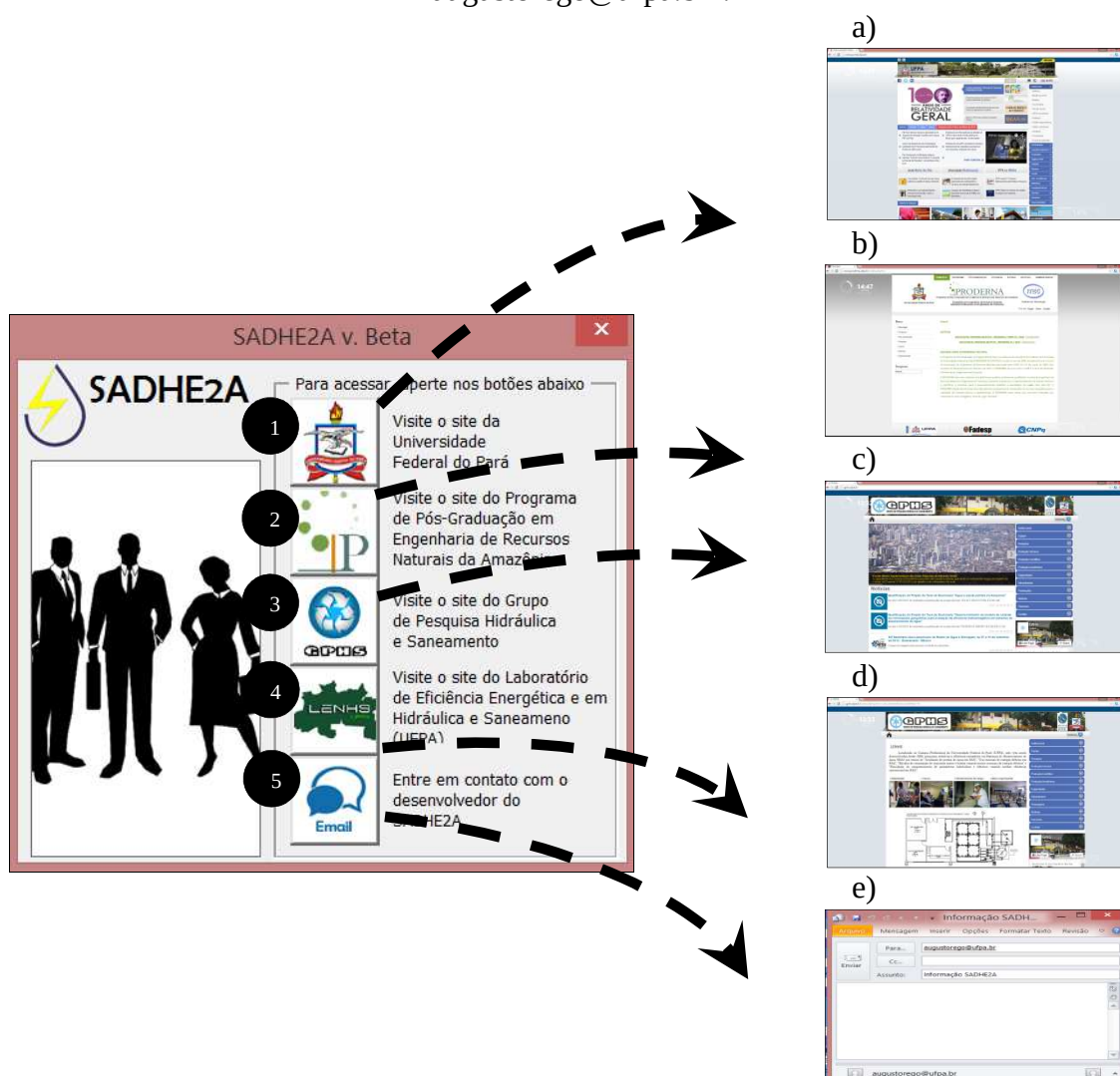


Figura 142: **SADHE2A – avalia** – Janela mapa do programa.



Sobre a janela de informações/desenvolvedor, apresentada na Figura 143, a mesma possui quatro botões, que ao serem acionados abrem o navegador de internet, configurado como padrão no sistema operacional (nos casos indicados por “1”, “2”, “3” e “4”) a) com as páginas: a) Universidade Federal do Pará, b) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, c) Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, d) Laboratório de eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento e e) E-mail do desenvolvedor: “augustorego@ufpa.br”. No caso do botão indicado por “6”, o mesmo abre a tela do *Microsoft Outlook* para envio de mensagem para a caixa de e-mail do desenvolvedor, no caso, “augustorego@ufpa.br”.

Figura 143: **SADHE2A – avalia** – Janela de informações sobre desenvolvedor: a) Sítio da Universidade federal do Pará, b) Sítio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, c) Sítio do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, d) Sítio do Laboratório de eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento e e) *Microsoft Outlook* com e-mail do desenvolvedor: “augustorego@ufpa.br”.



Na janela de boas vindas, ao apertar o botão para avançar à próxima tela, é apresentada a tela de cadastro do **SADHE2A – avalia**, observada na Figura 144, na qual são inseridas informações sobre a empresa e técnicos responsáveis pela avaliação do desempenho hidroenergético dos sistemas cadastrados no programa, bem como as datas relativas ao mês de referência e o período de avaliação.

Figura 144: **SADHE2A – avalia** – Cadastro de usuário.

SADHE2A Versão Beta

Dados do usuário do SADHE2A (Versão Beta)

Sobre a empresa

Empresa ↓ CNPJ ↓
 Empresa exemplo 1 123456/200

Endereço da sede

Endereço ↓
 Rua belém

Complemento ↓ Bairro ↓ Cidade ↓ Estado ↓ CEP ↓
 Próximo à UFPA Centro Belém Pará 67.000-000

Cadastro de responsabilidade

Setor Responsável ↓
 Laboratório LENHS/UFPA

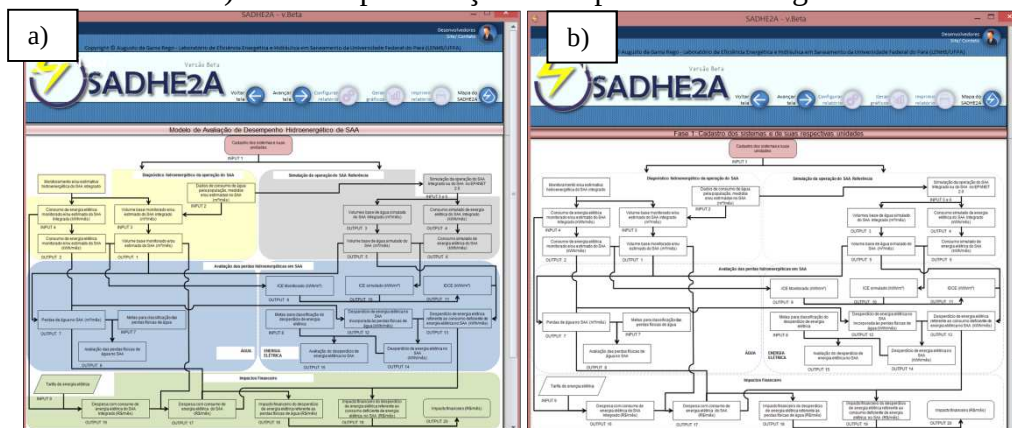
Especialista responsável ↓ E-mail ↓ Telefone ↓
 Analista 1 analista@sahe2a.com.br 9999-9999

Cadastro de datas

Período de avaliação ↓ Período de referência para avaliação ↓
 01/06/2015 30/06/2015 01/10/2014 31/10/2014
 Início (dd/mm/aaaa) Final (dd/mm/aaaa) Início (dd/mm/aaaa) Final (dd/mm/aaaa)

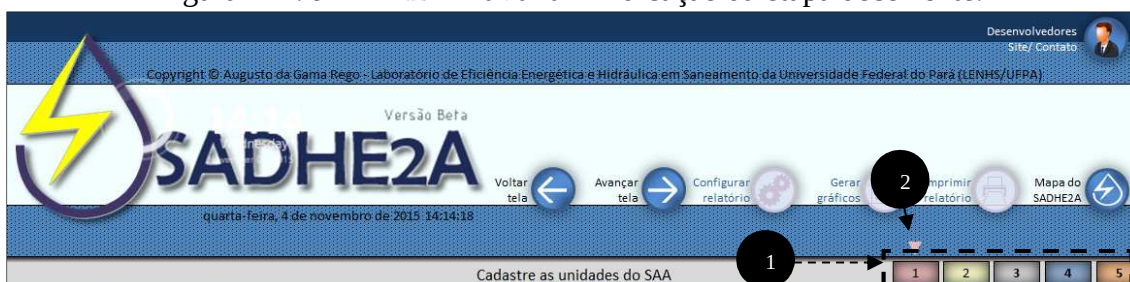
Após cadastrar os dados do usuário do programa, apertando o botão “avançar”, é apresentada a tela com imagem contendo as ações da metodologia para avaliação de desempenho hidroenergética de SAA, o qual foi implementado no software para conhecimento. Apertando novamente o botão “avançar” apresenta a tela de apresentação da etapa no software, a qual será mostrada sempre que iniciada nova etapa. As telas são apresentadas respectivamente na Figura 145.

Figura 145: Figura 146: **SADHE2A – avalia** – a) Tela de apresentação da metodologia e b) Tela de apresentação da etapa da metodologia.



A partir desse momento, **SADHE2A – avalia** apresentará a barra de ferramentas implementada com cinco blocos com notações de 1 a 5, indicados por “1” na Figura 147, as quais representam cada etapa da metodologia e uma seta, indicada por “2”, que apontará sempre para o bloco que representa a etapa que está sendo desenvolvida.

Figura 147: **SADHE2A – avalia** – indicação da etapa decorrente.



Para desenvolver a etapa 1 no **SADHE2A – avalia**, o cadastro é realizado fundamentalmente selecionando a primeira linha da coluna “selecionar unidade”, conforme a indicação “1” na Figura 148. No momento em que a linha é selecionada, surge lista de itens onde é necessário optar essencialmente na primeira linha de cada SAA a ser cadastrado pelo item “SAA” e automaticamente a linha ficará na cor preta, identificando o início do cadastro de SAA. Em seguida são cadastradas as unidades na mesma sequência verificadas na linha hidroenergética, para que o programa entenda os índices das $i=1$ a $i=i_{\max}$ de todas elas. Além disso, há os campos para inserção dos nomes das unidades e breve descrição, indicados, respectivamente por “2” e “3”.

Figura 148: **SADHE2A – avalia** – Cadastrando unidades.



Ainda sobre o cadastro das unidades, é necessário também selecionar em lista contendo as opções “OBT.” (obtenção), “PROC.” (processamento) e “DIST.” (distribuição) a etapa na qual cada unidade pertence. Vale ressaltar que é imperioso que depois de cadastrada a última unidade, é preciso inserir o item “SAA” na coluna “selecione unidades” para que a mesma também se torne preta indicando o fim do cadastro, conforme observado na Figura 149.

[illegible]

Avançando após o cadastro dos sistemas e unidades na etapa 1 da metodologia, o **SADHE2A – avalia** apresenta a tela de introdução ao cadastro do *volume base de água para consumo efetivo* (V_{bec}), conforme observado na Figura 150^a, valendo notar a mudança da seta de indicação da etapa da metodologia.

Figura 150: **SADHE2A – avalia** – Cadastro do consumo de água de cada SAA.



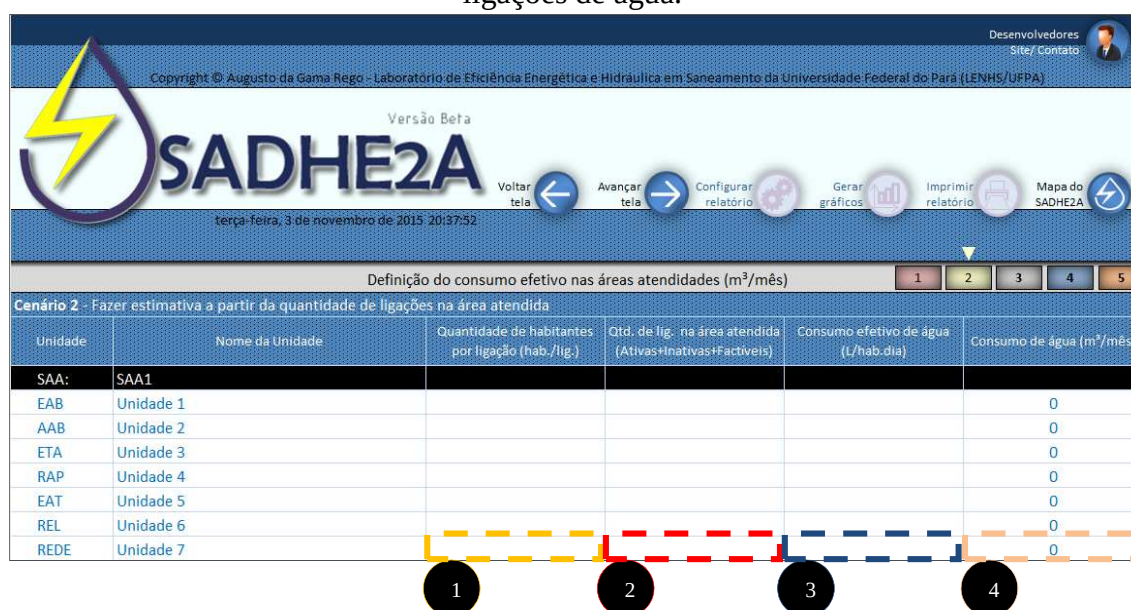
O cadastro é realizado apenas nas linhas indicadas como “REDE” na coluna “unidade” e pode ser efetuado de quatro formas distintas, de acordo com a procedência dos dados obtidos no diagnóstico de cada SAA. A primeira forma é utilizada para os setores que possuem 100% de micromedição, na qual é necessário digitar o diretamente o volume micromedido na coluna indicada por “1”, conforme observado na Figura 151.

Figura 151: **SADHE2A – avalia** – Cadastro do consumo: setor 100% micromedido.

Unidade	Nome da Unidade	Consumo micromedido na área atendida (m³/mês)
SAA:	SAA1	
EAB	Unidade 1	
AAB	Unidade 2	
ETA	Unidade 3	
RAP	Unidade 4	
EAT	Unidade 5	
REL	Unidade 6	
REDE	Unidade 7	225

Ao avançar na tela de consumos micromedidos nos setores de SAA, é apresentada a segunda forma de cadastro do consumo que é orientada para os setores com número de ligações conhecido (utilizado na ausência de dados suficientes para a primeira opção). Nesse caso, é necessário cadastro da quantidade de habitantes por ligação na rede de distribuição do setor (*hab./lig.*) (inserido no campo indicado por “1”), da quantidade de ligações totais de água na área atendida (inserido no campo indicado por “2”) e do consumo *per capita* efetivo no setor (*l/hab.dia*) (inserido no campo indicado por “3”), conforme observado na Figura 152.

Figura 152: **SADHE2A – avalia** – Cadastro do consumo pela quantidade total de ligações de água.



Ainda na Figura 152, o *volume base de água para consumo efetivo* ($V_{b_{ec}}$), nesse caso, é dado pelo produto entre os três valores inseridos e ainda multiplicado por 30 dias (30 é o valor utilizado pelo **SADHE2A – avalia** para normalizar o volume para a unidade $m^3/mês$) e é observado no campo indicado por “4”. Como o consumo de água do setor já havia sido cadastrado na tela anterior, não houve necessidade de novo cadastro e por isso o resultado observado foi de 0 $m^3/mês$.

Caso os dados de quantidades de habitantes por ligação na rede de distribuição do setor (*hab./lig.*), da quantidade de ligações totais de água na área atendida e do consumo *per capita* efetivo no setor (*l/hab.dia*) fossem inseridos, o valor adotado seria o da tela anterior, no caso, o valor inserido para o setor com 100% de micromedição.

Ao avançar na tela de consumo de água pelo número de ligações, é apresentada a terceira forma de cadastro que é orientada pelo número de domicílios na área de atendimento (utilizado na ausência de dados suficientes para as formas anteriores) onde é necessários inserir dados da quantidade de habitantes por domicílio na área atendida (*hab./dom.*) (inserido no campo indicado por “1”), da quantidade de domicílios na área atendida (inserido no campo indicado por “2”) e do consumo *per capita* efetivo no setor (*l/hab.dia*) (inserido no campo indicado por “3”), conforme observado na Figura 153.

Figura 153: **SADHE2A – avalia** – Cadastro do consumo pela quantidade de domicílios.

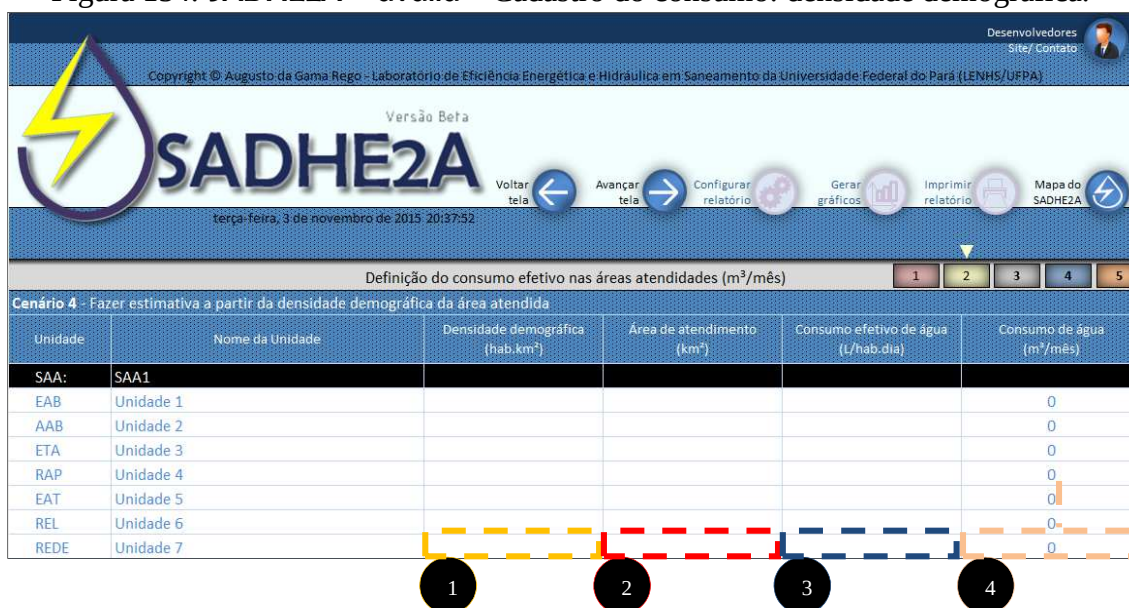
Unidade	Nome da Unidade	Qtd. de habitantes por domicílio (hab./dom.)	Qtd. de domicílios na área atendida	Consumo efetivo de água (l/hab.dia)	Consumo de água (m³/mês)
SAA:	SAA1				
EAB	Unidade 1				0
AAB	Unidade 2				0
ETA	Unidade 3				0
RAP	Unidade 4				0
EAT	Unidade 5				0
REL	Unidade 6				0
REDE	Unidade 7				0

Ainda na Figura 153, o *volume base de água para consumo efetivo* ($V_{b_{ec}}$), nesse caso, é dado pelo produto entre os três valores inseridos e ainda multiplicado por 30 dias (da mesma forma, 30 é o valor utilizado pelo **SADHE2A – avalia** para normalizar o volume para a unidade $m^3/mês$) e é observado no campo indicado por “4”. Como o consumo de água do setor já havia sido cadastrado na tela de consumo micromedido, não houve necessidade de novo cadastro e por isso o resultado observado foi de 0 $m^3/mês$.

Caso os dados da quantidade de habitantes por domicílio na área atendida (*hab./dom.*), da quantidade de domicílios na área atendida e do consumo *per capita* efetivo no setor (*l/hab.dia*) fossem inseridos, o valor adotado seria, primeiramente, o da tela da tela de cadastro de consumo por volume micromedido e na sequência o da tela de cadastro de consumo pelo número de ligações.

Ao avançar na tela de consumo de água pelo número de domicílios, é apresentada a última forma de cadastro que é orientada pela densidade demográfica na área de atendimento (utilizado na ausência de todas as informações anteriores) onde é necessários inserir dados da densidade demográfica na área atendida (*hab./km²*) (inserido no campo indicado por “1”), da área de atendimento (*km²*) (inserido no campo indicado por “2”) e do consumo *per capita* efetivo no setor (*l/hab.dia*) (inserido no campo indicado por “3”), conforme observado na Figura 154.

Figura 154: SADHE2A – avalia – Cadastro do consumo: densidade demográfica.



Ainda na Figura 154, o *volume base de água para consumo efetivo* ($V_{b_{ec}}$), nesse caso, é dado pelo produto entre os três valores inseridos e ainda multiplicado por 30 dias (da mesma forma, 30 é o valor utilizado pelo SADHE2A – avalia para normalizar o volume para a unidade $m^3/mês$) e é observado no campo indicado por “4”. Novamente, como o consumo de água do setor já havia sido cadastrado na tela de consumo micromedido, não houve necessidade de novo cadastro e por isso o resultado observado foi de 0 $m^3/mês$.

Caso os dados da densidade demográfica na área atendida (*hab./km²*), da área de atendimento (*km²*) e do consumo *per capita* efetivo no setor (*l/hab.dia*) fossem inseridos, o valor adotado seria, primeiramente, o da tela da tela de cadastro de consumo por volume micromedido, na sequência o da tela de cadastro de consumo pelo número de ligações e, por fim, o valor da tela de cadastro de consumo pela quantidade de domicílios.

Apertando o botão avançar na última tela mencionada, é apresentada a tela de cadastro dos dados do diagnóstico de volumes de água do SAA integrado para o cálculo do *volume diagnosticado base total de água* para cada unidade do SAA diagnosticado, a partir da implementação das Equações da metodologia desenvolvida. Vale ressaltar que o **SADHE2A – avalia** possui duas formas de cadastro dos dados:

A primeira forma é digitando diretamente os valores dos volumes de entrada de água em cada unidade ($V_{T_{d,i}} - V_{imp_{d,i}}$) nos campos indicados por “1”, os valores de volumes efetivos para processo ($V_{ep_{d,i}}$) nos campos indicados por “2” e os valores dos volumes importados ($V_{imp_{d,i}}$) ou exportados ($V_{exp_{d,i}}$), respectivamente, positivos e negativos, nos campos indicados por “3”, conforme indicado na Figura 155.

Figura 155: **SADHE2A – avalia** – cadastro dos volumes de água do SAA Integrado diagnosticado.

Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

SADHE2A

terça-feira, 3 de novembro de 2015 20:37:52

Desenvolvedores Site/Contato

Voltar tela Avançar tela Configurar relatório Gerar gráficos Imprimir relatório Mapa do SADHE2A

Cadastro dos dados do diagnóstico de volumes de água (m³/mês)

1 2 3 4 5

Insira os dados referentes ao diagnóstico		Volume de água (m³/mês)			
Unidade	Nome da Unidade	Entrada (SAA Integrado)	Metas de Processo (SAA Integrado)	Imp. (+) / Exp. (-) (SAA Integrado)	Volume base diagnosticado (SAA)
SAA:	SAA1				
EAB	Unidade 1	865,00			555,71
AAB	Unidade 2	865,00			555,71
ETA	Unidade 3	822,00	24,70		512,71
RAP	Unidade 4	765,00		-300,00	465,00
EAT	Unidade 5	450,00			450,00
REL	Unidade 6	450,00			450,00
REDE	Unidade 7	450,00		50,00	500,00

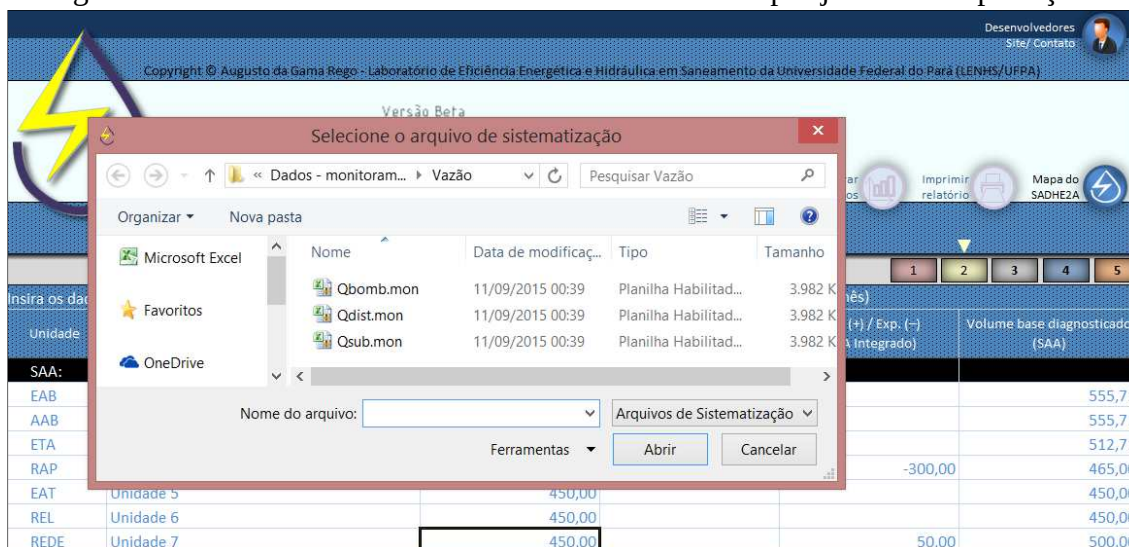
1 2 3 4

Ainda na Figura 155, de acordo com a metodologia proposta, a partir desses dados é calculado o valor referente ao *volume diagnosticado base total de água* para cada unidade de cada SAA cadastrado, os quais são indicados por “4”. Vale ressaltar que, como esperado, cada resultado referente ao *volume diagnosticado base total de água* para cada unidade do SAA-1 foi igual ao observado na Tabela 13, na seção 4.1.2.

A segunda forma é apertando duas vezes seguidas (duplo *click*) em cada lacuna de volume das unidades de cada SAA cadastrado (nesse caso só há um), onde

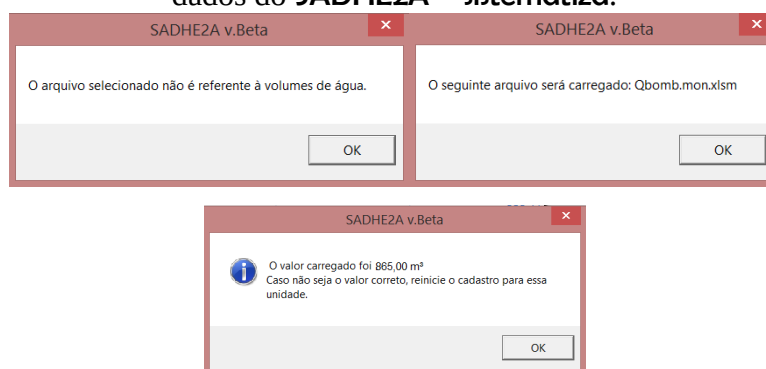
surgirá a janela de seleção de arquivos de sistematização, observada na Figura 156, (arquivos do **SADHE2A – sistematiza**), do qual será importado o valor necessário.

Figura 156: **SADHE2A – avalia** – cadastro dos volumes por janela de importação.



Para essa funcionalidade, foram criadas algumas janelas de mensagens, apresentadas na Figura 157. As janelas funcionam da seguinte forma: quando o arquivo de sistematização não é de volumes de água é apresentada a mensagem “O arquivo selecionado não é referente a volumes de água”, quando o arquivo selecionado é de volumes de água é apresentada a mensagem “O seguinte arquivo será carregado *nome_do_arquivo*”, o qual demonstra sucesso na importação, e, por fim, é apresentada a mensagem “O valor carregado foi *valor*. Caso não seja o valor correto, reinicie o cadastro para essa unidade”.

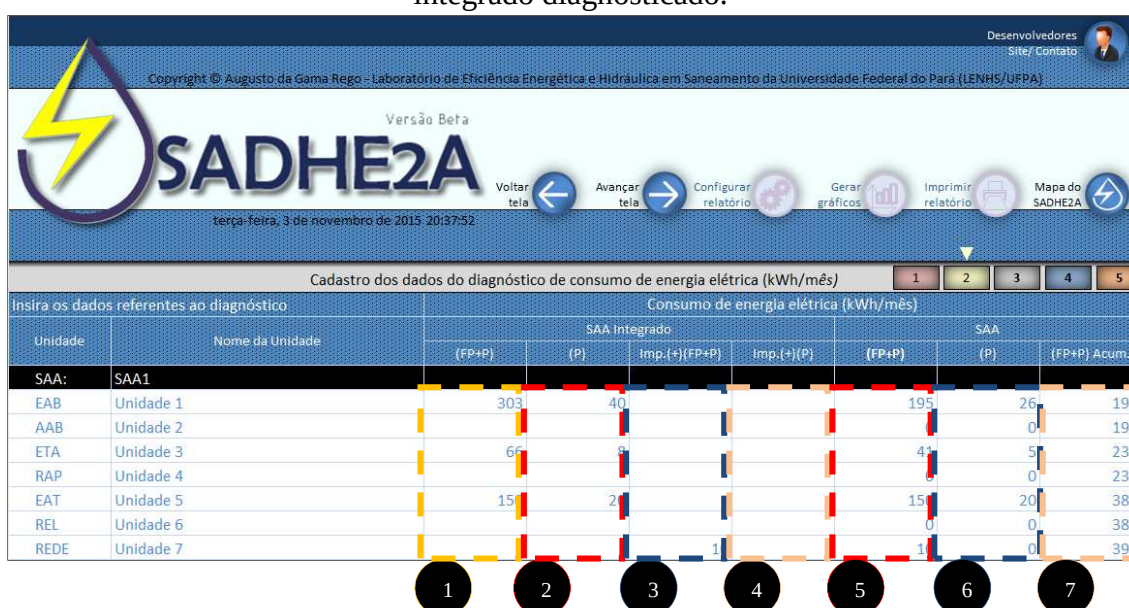
Figura 157: **SADHE2A – avalia** – mensagens de acompanhamento da importação de dados do **SADHE2A – sistematiza**.



Avançando na tela de cadastro dos volumes de água é apresentada a tela de cadastro dos consumos de energia elétrica do SAA Integrado diagnosticado. Os dados necessários podem ser inseridos da mesma forma que os dados de volumes de água, ou seja, por digitação direta ou por importação de dados de arquivos de sistematização.

Os dados necessários são o consumo de energia elétrica em cada unidade de cada SAA cadastrado ($Et_{d,i} - Eimp_{d,i}$) nos campos indicados por “1” e o consumo de energia elétrica importado ($Eimp_{d,i}$) ou exportado ($Eexp_{d,i}$), respectivamente, com valores positivos e negativos, nos campos indicados por “3”, conforme a Figura 158.

Figura 158: **SADHE2A – avalia** – cadastro dos consumos de energia elétrica do SAA integrado diagnosticado.



Ainda sobre a na Figura 158, os valores cadastrados serão utilizados para o cálculo dos valores referentes a *energia elétrica diagnosticada base consumida* e a *energia elétrica diagnosticado base consumida* e acumulada implementadas no **SADHE2A – avalia**, cujos resultados são apresentados, respectivamente, nos campos “5” e “7”. Como esperado, o resultado foi igual ao apresentado na Tabela 14 na seção 4.1.2, no caso, os valores da *energia elétrica diagnosticada base e consumida* e da *energia elétrica diagnosticada base consumida* e acumulada.

Além disso, é importante frisar que o cadastro dos consumos de energia elétrica do SAA integrado possui, ainda, a possibilidade de inserir os dados referentes ao horário de tarifa diferenciada nos campos indicados por “2”, sendo calculado o valor referente ao SAA, o qual é apresentado nos campos indicados por “6”. Esses valores

serão utilizados na Etapa 5, relacionada ao impacto financeiro das perdas hidroenergéticas.

Avançando no **SADHE2A – avalia**, inicia-se a etapa 3 da metodologia e é apresentada a tela de cadastro de volumes de água do SAA Integrado simulado e a inserção dos dados ocorre também das duas formas mencionadas até então, no caso, por digitação direta ou por importação de arquivo de sistematização.

Os valores necessários para cadastro são os volumes de entrada de água em cada unidade ($V_{Ts,i} - V_{imp,s,i}$) nos campos indicados por “1”, os valores de volumes efetivos para processo ($V_{ep,s,i}$) nos campos indicados por “2” e os valores dos volumes importados ($V_{imp,s,i}$) ou exportados ($V_{exp,s,i}$), respectivamente, positivos e negativos, nos campos indicados por “3”, conforme indicado na Figura 159.

Figura 159: **SADHE2A – avalia** – cadastro dos volumes de água do SAA Integrado simulado.

Cadastro dos dados de monitoramento de volumes de água (m³/mês)					
Insira os dados referentes à simulação		Volume de água (m³/mês)			
Unidade	Nome da Unidade	Entrada (SAA Integrado)	Processo (SAA Integrado)	Imp. (+) / Exp. (-) (SAA Integrado)	Volume base diagnosticado (SAA)
SAA:	SAA1				
EAB	Unidade 1	515,4			257,74
AAB	Unidade 2	515,4			257,74
ETA	Unidade 3	515,4	15,4		257,74
RAP	Unidade 4	500,0		-250,0	250,0
EAT	Unidade 5	250,0			250,0
REL	Unidade 6	250,0			250,0
REDE	Unidade 7	250,0			250,0

É observado também na Figura 159 o *volume simulado base total de água*, em cada unidade de cada SAA cadastrado, indicados por “4”, resultados da metodologia desenvolvida, implementadas **SADHE2A – avalia**, no para os valores cadastrados. É possível perceber, ainda, que os resultados de cada *volume simulado base total de água*, em cada unidade de cada SAA cadastrado é igual ao apresentado para cada valor referente ao *volume simulado base total de água* para cada unidade do SAA-1 referência, observados na Tabela 15 da seção 4.1.2.

Avançando no **SADHE2A – avalia** é apresentada a tela de cadastro de consumos de energia elétrica do SAA Integrado simulado e a inserção dos dados ocorre também das duas formas mencionadas até então, no caso, por digitação direta ou por importação de arquivo de sistematização.

Os valores necessários para cadastro são o consumo de energia elétrica em cada unidade de cada SAA cadastrado ($ET_{s,i} - Eimp_{s,i}$) nos campos indicados por “1” e o consumo de energia elétrica importado ($Eimp_{s,i}$) ou exportado ($Eexp_{s,i}$), respectivamente, positivos e negativos, nos campos indicados por “3”, conforme indicado na Figura 160.

Figura 160: **SADHE2A – avalia** – cadastro dos consumos de energia elétrica do SAA integrado simulado.



É observado também na Figura 160 a *energia elétrica simulada base total consumida* (indicado por “5”) e a *energia elétrica simulada base total consumida e acumulada* (indicado por “7”) em cada unidade de cada SAA cadastrado, resultado das Equações da metodologia, implementadas **SADHE2A – avalia**, para os valores cadastrados. É possível verificar, ainda, que o resultado é igual ao apresentado para o SAA-1 referência, observados na Tabela 16 do item 4.1.2..

Além disso, é importante frisar que o cadastro da *energia elétrica simulada* do SAA integrado possui, ainda, a possibilidade de inserir os dados referentes ao horário de tarifa diferenciada nos campos indicados por “2”, sendo calculado o valor referente ao SAA, o qual é apresentado nos campos indicados por “6”.

Avançando no **SADHE2A – avalia**, inicia-se a etapa 4 da metodologia desenvolvida, onde são apresentados os resultados dos cálculos das parcelas de volumes de água para o SAA diagnosticado e para o SAA simulado, conforme observado na Figura 161.

Figura 161: **SADHE2A – avalia** – cálculo das parcelas de volumes de água.



Ainda na Figura 161, é possível observando os resultados apresentados para os *volumes bases totais de água* do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência (indicados, respectivamente por “1” e “5”).

Além disso, foram apresentadas as parcelas referentes aos *volumes bases totais importados de água* do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência (indicados, respectivamente por “2” e “6”), aos *volumes bases de água efetivos para processos* do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência (indicados, respectivamente por “3” e “7”) e aos *volumes bases perdidos de água* do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência (indicados, respectivamente por “4” e “8”). Nesse caso, o **SADHE2A – avalia** propicia a visualização do distanciamento entre os valores de volumes de água do SAA-1 diagnosticado dos valores do SAA-1 simulado.

Avançando no **SADHE2A – avalia**, inicia-se a etapa 4 da metodologia desenvolvida, é apresentada na Figura 162 tela semelhante a anterior, que, no entanto mostra valores percentuais dos *volumes bases totais de água* do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência, dos *volumes bases de água efetivos para processos* do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência (indicados, respectivamente por “3” e “7”) e dos

volumes bases perdidos de água do SAA-1 diagnosticado e do SAA-1 referência (indicados, respectivamente por “4” e “8”).

Figura 162: SADHE2A – avalia – parcelas de volumes de água em percentuais.

Comparação qualitativa		Diagnóstico		Simulação	
Unidade	Nome da Unidade	Volume de entrada total (m³)	Parcelas (%)	Volume de entrada total (m³)	Metas (%)
			Processo		Processo
SAA:	SAA1				
EAB	Unidade 1	556	0,00%	0,00%	0,00%
AAB	Unidade 2	556	0,00%	7,74%	0,00%
ETA	Unidade 3	511	3,00%	6,30%	0,00%
RAP	Unidade 4	465	0,00%	3,23%	0,00%
EAT	Unidade 5	451	0,00%	0,00%	0,00%
REL	Unidade 6	450	0,00%	0,00%	0,00%
REDE	Unidade 7	504	0,00%	55,00%	10,00%

Avançando novamente, é apresentada na Figura 163 a tela de cadastro de classes de desempenho para volumes de água, onde são digitados os valores percentuais para as classes excelente (indicados por “1”), bom (indicados por “2”), regular (indicados por “3”), ruim (indicados por “4”) e muito ruim (indicados por “5”).

Figura 163: SADHE2A – avalia – cadastro classes de desempenho para perdas de água.

Local	Por etapa	Global
Rede de distribuição	Excelente	Excelente
Demais unidades	Bom	Bom
Obtenção	Regular	Regular
Processamento	Ruim	Ruim
Distribuição	M. Ruim	M. Ruim
Todo o sistema		

Avançando no **SADHE2A – avalia** é apresentada tela, conforme Figura 82, onde são calculadas, as perdas de água para cada unidade, para cada etapa e para cada SAA cadastrado nas medidas $m^3/mês$ (área indicada por “1”) e % (área indicada por “2”). A avaliação propriamente dita é apresentada em *Dashboard* na área indicada por “3”, obedecendo a código de cores e classes estipuladas na tela anterior. Vale observar que o botão para impressão de relatório está ativado nessa tela em específico, conforme indicação “4”, ou seja, é possível imprimir o relatório do desempenho hidroenergético dos sistemas cadastrados, o que é feito por meio da janela de configuração de impressão verificada na Figura 165.

Figura 164: **SADHE2A – avalia** – *Dashboard* com avaliação do desempenho hidroenergético para volumes de água para o SAA-1.

Copyright © Augusto da Gama Rego – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

quarta-feira, 20 de janeiro de 2016 16:44:38

Desenvolvedores Site/Contato

4

1 2 3

Classificação das perdas físicas de água nos SAA

Visualize a classificação das perdas físicas de água por unidade, por etapa e global dos SAA

Unidade	Nome da Unidade	Perdas de água (m³/mês)			Perdas de Desempenho (%/mês)			Desempenho		
		Local	Etapa	Global	Local	Etapa	Global	Local	Etapa	Global
SAA:	SAA1									
EAB	Unidade 1	0,00	43,00	0,00	0,00%	7,74%	0,00%	EXC	M.RUIM	M.RUIM
AAB	Unidade 2	43,00		43,00	7,74%		7,74%	M.RUIM		
ETA	Unidade 3	32,30	47,30	75,30	6,30%	9,23%	13,55%	M.RUIM	M.RUIM	
RAP	Unidade 4	15,00		90,30	3,23%		16,25%	M.RUIM		
EAT	Unidade 5	0,00	275,00	90,30	0,00%	61,11%	16,25%	EXC	M.RUIM	
REL	Unidade 6	0,00		90,30	0,00%		16,25%	EXC		
REDE	Unidade 7	275,00		365,30	55,00%		65,74%	RUIM		

Figura 165: **SADHE2A – avalia** – Janela para configuração da impressão do *Dashboard* de volumes de água.

Imprimir

Impressora

Nome: PDF Report Writer

Status: Ociosa

Tipo: novaPDF 6 Printer Driver

Onde: NVK6

Comentário:

Propriedades...

Localizar impressora...

☐ Imprimir em arquivo

Intervalo de impressão

☒ Tudo

☐ Página(s) De: Até:

Imprimir

☐ Seleção

☐ Pasta de trabalho inteira

☒ Planilha(s) selecionada(s)

☐ Tabela

☐ Ignorar áreas de impressão

Cópias

Número de cópias: 1

☐ Agrupar

Visualizar

OK

Cancelar

Avançando no **SADHE2A – avalia** é apresentada a tela dos *indicadores de consumo específico de energia elétrica* no caso, locais e acumulados para o SAA-1 diagnosticado e SAA-1 simulado, observados na Figura 166. Os resultados são mostrados, respectivamente, nos campos indicados por “1” e “3” e os respectivos valores acumulados nos campos indicados por “2” e “4”.

Figura 166: **SADHE2A – avalia** – Indicadores específicos de consumo de energia elétrica.



Ainda sobre a tela de *indicadores específicos de consumo de energia elétrica*, visualizada na Figura 166, são apresentados também os valores do *indicador de deficiência no consumo específico de energia* para cada unidade do SAA onde ocorre consumo de energia elétrica, calculado pela metodologia desenvolvida, cujos resultados são apresentados na área indicada por “5”.

Avançando novamente no **SADHE2A – avalia**, surge a tela, observada na Figura 167, onde são apresentados os resultados dos cálculos das perdas de energia elétrica e demais parcelas do SAA diagnosticado. Os resultados mencionados para o SAA diagnosticado são: *energia elétrica diagnosticada base total* (apresentado na área indicada por “1”), *energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes* (apresentado na área indicada por “2”) e *energia elétrica diagnosticada base perdida por consumo excessivo* (apresentado na área indicada por “3”). Os resultados mencionados para o SAA simulado são: *energia elétrica simulada base total* (apresentado na área indicada por “4”), *energia elétrica simulada base perdida por*

volumes (apresentado na área indicada por “5”) e *energia elétrica simulada base perdida por consumo excessivo* (apresentado na área indicada por “6”).

Figura 167: **SADHE2A – avalia** – cálculo das parcelas de consumos de energia elétrica.



Avançando novamente no **SADHE2A – avalia**, surge tela que exibe os mesmos itens anteriores, no entanto, em valores percentuais, conforme observado na Figura 168.

Figura 168: **SADHE2A – avalia** –parcelas de consumos de energia elétrica em percentuais.



Os resultados exibidos para o SAA diagnosticado são: *energia elétrica diagnosticada base total* (apresentado na área indicada por “1”), *energia elétrica diagnosticada base perdida por volumes* (apresentado na área indicada por “2”) e *energia elétrica diagnosticada base perdida por consumo excessivo* (apresentado na área indicada por “3”). Os resultados mencionados para o SAA simulado são: *energia elétrica simulada base total* (apresentado na área indicada por “4”), *energia elétrica simulada base perdida por volumes* (apresentado na área indicada por “5”) e *energia elétrica simulada base perdida por consumo excessivo* (apresentado na área indicada por “6”).

Os valores referentes aos SAA diagnosticado serão utilizados para determinação do desempenho hidroenergético para consumo de energia elétrica, de acordo com as classes cadastradas na tela observada na Figura 169. Nela são digitados os valores percentuais para as classes excelente (indicados por “1”), bom (indicados por “2”), regular (indicados por “3”), ruim (indicados por “4”) e muito ruim (indicados por “5”).

Figura 169: **SADHE2A – avalia** – cadastro classes de desempenho para perdas de energia elétrica.

Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

quarta-feira, 20 de janeiro de 2016 16:44:38

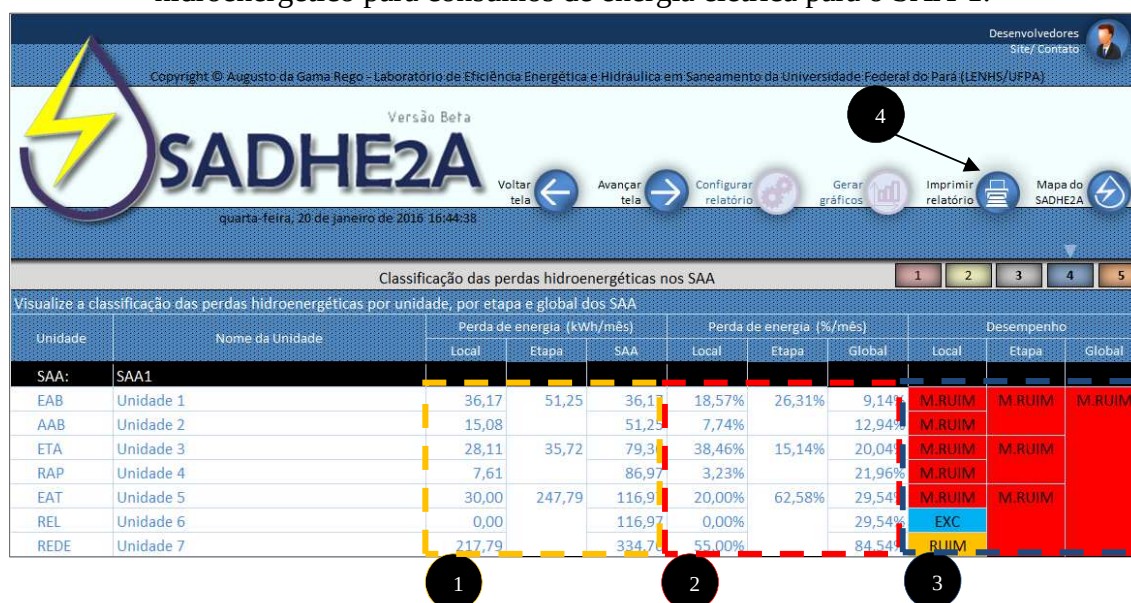
Insira os valores percentuais referentes às classificações para os desperdícios de energia elétrica por unidade, por etapa e global.

	1	2	3	4	5
Local					
Rede de distribuição	EXCELENTE Até 10%	BOM Até 30%	REGULAR Até 45%	RUIM Até 60%	M. RUIM Maior que 60%
Demais unidades	EXCELENTE Até 0,20%	BOM Até 0,40%	REGULAR Até 0,60%	RUIM Até 0,80%	M. RUIM Maior que 0,80%
Por etapa					
Obtenção	EXCELENTE Até 0,20%	BOM Até 0,40%	REGULAR Até 0,60%	RUIM Até 0,80%	M. RUIM Maior que 0,80%
Processamento	EXCELENTE Até 0,20%	BOM Até 0,40%	REGULAR Até 0,60%	RUIM Até 0,80%	M. RUIM Maior que 0,80%
Distribuição	EXCELENTE Até 15%	BOM Até 30%	REGULAR Até 45%	RUIM Até 60%	M. RUIM Maior que 60%
Global					
Todo o sistema	EXCELENTE Até 15%	BOM Até 30%	REGULAR Até 45%	RUIM Até 60%	M. RUIM Maior que 60%

Avançando no **SADHE2A – avalia** é apresentada a tela observada na Figura 170, onde exibidas as perdas de energia elétrica para cada unidade, para cada etapa e

para cada SAA cadastrado nas medidas $m^3/mês$ (área indicada por “1”) e % (área indicada por “2”). A avaliação propriamente dita é apresentada em *Dashboard* na área indicada por “3”, obedecendo a código de cores e classes estipuladas na tela anterior. Vale observar que o botão para impressão de relatório está ativado nessa tela em específico, conforme indicação “4”, ou seja, é possível imprimir o relatório do desempenho hidroenergético dos sistemas cadastrados, que também é feito por meio da janela de configuração de impressão, verificada na Figura 170.

Figura 170: **SADHE2A – avalia** – *Dashboard* com avaliação do desempenho hidroenergético para consumos de energia elétrica para o SAA-1.



Avançando novamente no **SADHE2A – avalia**, inicia-se a etapa 5 da metodologia desenvolvida, na qual serão calculados os impactos financeiros das perdas hidroenergéticas do SAA e, primeiramente, é apresentada a tela de tarifas de energia elétrica. É, portanto, necessário cadastrar os valores referentes às tarifas (indicado por “1”) e os demais valores³¹ que compõe a despesa com consumo de energia elétrica (indicado por “2”) em cada unidade de cada SAA cadastrado. Além disso, é possível selecionar, para efeito de informação, em lista contendo as opções “CONV.” (para

³¹ De acordo com resolução ANEEL normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, atualizada, principalmente, pela resolução ANEEL 479/2012. As componentes da tarifa são: consumo de energia ativa no horário fora de ponta C(FP), consumo de energia ativa no horário de ponta C(P), consumo de energia reativa no horário fora de ponta CRE(FP), consumo de energia reativa no horário de ponta CRE(P), demanda de potência contratada para horário fora de ponta DEM(FP), demanda de potência contratada para horário de ponta DEM(P), demanda de potência ultrapassada para horário fora de ponta DEMULT(FP), demanda de potência ultrapassada para horário de ponta DEMULT(P).

modalidade tarifária convencional), “VERDE” (para modalidade tarifária verde) e “AZUL” (para modalidade azul), conforme indicado por “3”. A tela de cadastro de tarifas do é apresentada na Figura 171.

Figura 171: **SADHE2A – avalia** – Cadastro de tarifas de consumo de energia elétrica e demais valores.

Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

quarta-feira, 4 de novembro de 2015 14:18:23

Tarifa de Energia Elétrica (R\$)

Insira os dados referentes à Tarifa de energia elétrica para cada unidade

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Insira os valores para detalhamento da Tarifa DO SAA Integrado (R\$)							
			C(FP)	C(P)	CRE(FP)	CRE(P)	DEM(FP)	DEM(P)	DEMULT(FP)	DEMULT(P)
SAA:	SAA1									
EAB	Unidade 1	CONV.	0,140000	0,300000						
AAB	Unidade 2									
ETA	Unidade 3	CONV.	0,140000	0,300000						
RAP	Unidade 4									
EAT	Unidade 5									
REL	Unidade 6									
REDE	Unidade 7									

Avançando novamente no **SADHE2A – avalia**, é exibida a tela de consumos de energia elétrica para os cálculos das despesas, observado na Figura 172. Nela são exibidos os consumos do SAA Integrado referentes aos horários diferenciados, indicados por “1” e há a possibilidade de complementação com outros valores, os quais são digitados manualmente na área indicada por “2”.

Figura 172: **SADHE2A – avalia** – Cadastro dos consumos de energia elétrica referentes aos demais valores que compõe a despesa total.

Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

quarta-feira, 4 de novembro de 2015 12:53:29

Consumo de energia elétrica nas unidades do SAA (kWh/mês)

Insira os valores complementares de consumos e demandas para energia elétrica

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Insira os valores complementares de consumos e demandas para energia elétrica							
			C(FP)	C(P)	CRE(FP)	CRE(P)	DEM(FP)	DEM(P)	DEMULT(FP)	DEMULT(P)
SAA:	SAA1									
EAB	Unidade 1	CONV.	263	4						
AAB	Unidade 2		0	0						
ETA	Unidade 3	CONV.	58	0						
RAP	Unidade 4		0	0						
EAT	Unidade 5	CONV.	130	20						
REL	Unidade 6		0	0						
REDE	Unidade 7		0	0						

Avançando novamente no **SADHE2A – avalia**, é exibida a tela com detalhamento das despesas com consumo de energia elétrica, a qual pode ser observada na Figura 173. Na próxima tela, observada na Figura 174, os valores são somados e apresentados na coluna “Despesa Parcial” do SAA Integrado (na área indicada por “1”), a qual é complementada com os valores referentes aos impostos, os quais são digitados em campos específicos (na área indicada por “2”). As despesas totais com consumo de energia elétrica são calculadas e os resultados exibidos nas áreas “3” e “4”, respectivamente, para o SAA Integrado e para o SAA.

Figura 173: **SADHE2A – avalia** – Detalhamento das despesas com consumo de energia elétrica no SAA Integrado.



Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Detalhamento das despesas com energia elétrica (R\$/mês)							
			C(FP)	C(P)	CRE(FP)	CRE(P)	DEM(FP)	DEM(P)	DEMULT(FP)	DEMULT(P)
SAA:	SAA1									
EAB	Unidade 1	CONV.	36,82	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AAB	Unidade 2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETA	Unidade 3	CONV.	8,12	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RAP	Unidade 4		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAT	Unidade 5	CONV.	18,20	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REL	Unidade 6		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
REDE	Unidade 7		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

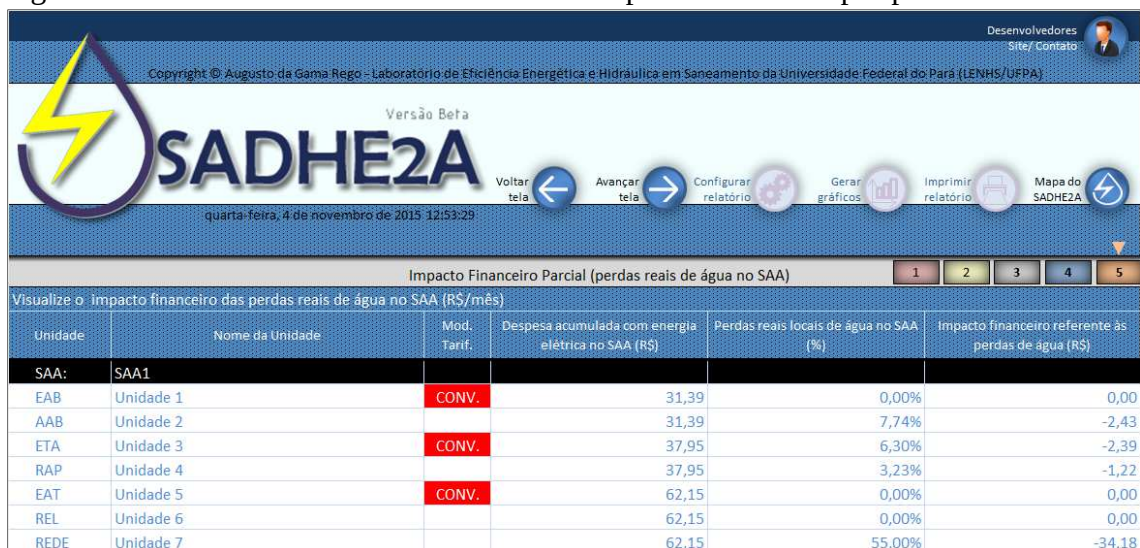
Figura 174: **SADHE2A – avalia** – Cálculo das despesas totais com consumo de energia elétrica no SAA Integrado e no SAA.



Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Despesas Parcial (R\$)		Despesa Total (R\$)	
			Sem impostos	PIS/CONFINS/ICMS	SAA Integrado	SAA
SAA:	SAA1					
EAB	Unidade 1	CONV.	48,82		48,82	31,39
AAB	Unidade 2		0,00		0,00	0,00
ETA	Unidade 3	CONV.	10,52		10,52	6,56
RAP	Unidade 4		0,00		0,00	0,00
EAT	Unidade 5	CONV.	24,20		24,20	24,20
REL	Unidade 6		0,00		0,00	0,00
REDE	Unidade 7		0,00		0,00	0,00

Avançando novamente no **SADHE2A – avalia**, é exibida a tela que apresenta o *impacto financeiro por perdas de volumes*, observada na Figura 175. Na próxima tela, apresentada na Figura 176, é exibido o *impacto financeiro por consumo excessivo*.

Figura 175: **SADHE2A – avalia** – Cálculo do impacto financeiro por perdas de volumes.



Copyright © Augusto da Gama Rego – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

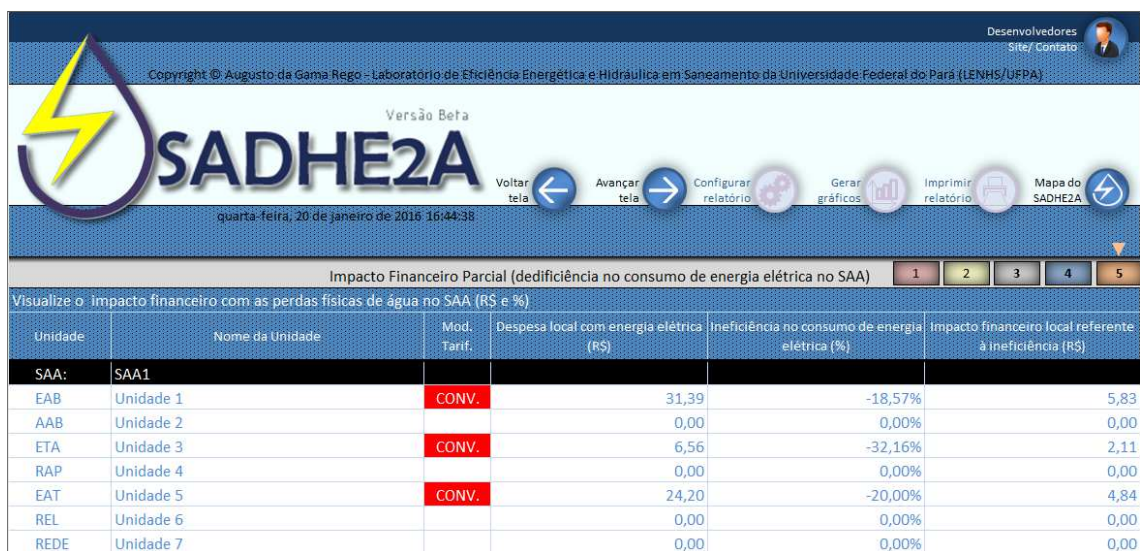
quarta-feira, 4 de novembro de 2015 12:53:29

Impacto Financeiro Parcial (perdas reais de água no SAA)

Visualize o impacto financeiro das perdas reais de água no SAA (R\$/mês)

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Despesa acumulada com energia elétrica no SAA (R\$)	Perdas reais locais de água no SAA (%)	Impacto financeiro referente às perdas de água (R\$)
SAA:	SAA1				
EAB	Unidade 1	CONV.	31,39	0,00%	0,00
AAB	Unidade 2		31,39	7,74%	-2,43
ETA	Unidade 3	CONV.	37,95	6,30%	-2,39
RAP	Unidade 4		37,95	3,23%	-1,22
EAT	Unidade 5	CONV.	62,15	0,00%	0,00
REL	Unidade 6		62,15	0,00%	0,00
REDE	Unidade 7		62,15	55,00%	-34,18

Figura 176: **SADHE2A – avalia** – Cálculo do impacto financeiro por consumo excessivo.



Copyright © Augusto da Gama Rego – Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENHS/UFPA)

Versão Beta

quarta-feira, 20 de janeiro de 2016 16:44:38

Impacto Financeiro Parcial (dedificiência no consumo de energia elétrica no SAA)

Visualize o impacto financeiro com as perdas físicas de água no SAA (R\$ e %)

Unidade	Nome da Unidade	Mod. Tarif.	Despesa local com energia elétrica (R\$)	Ineficiência no consumo de energia elétrica (%)	Impacto financeiro local referente à ineficiência (R\$)
SAA:	SAA1				
EAB	Unidade 1	CONV.	31,39	-18,57%	5,83
AAB	Unidade 2		0,00	0,00%	0,00
ETA	Unidade 3	CONV.	6,56	-32,16%	2,11
RAP	Unidade 4		0,00	0,00%	0,00
EAT	Unidade 5	CONV.	24,20	-20,00%	4,84
REL	Unidade 6		0,00	0,00%	0,00
REDE	Unidade 7		0,00	0,00%	0,00

Por fim, avançando à próxima tela. Observada na Figura 177, são apresentados novamente os valores do *impacto financeiro por perdas de volumes* (observados na área indicada por “1”) e do *impacto financeiro por consumo excessivo* (observados na área indicada por “2”), os quais são utilizados para calcular o *Impacto financeiro total por perdas hidroenergéticas* (observados na área indicado por “3”). São

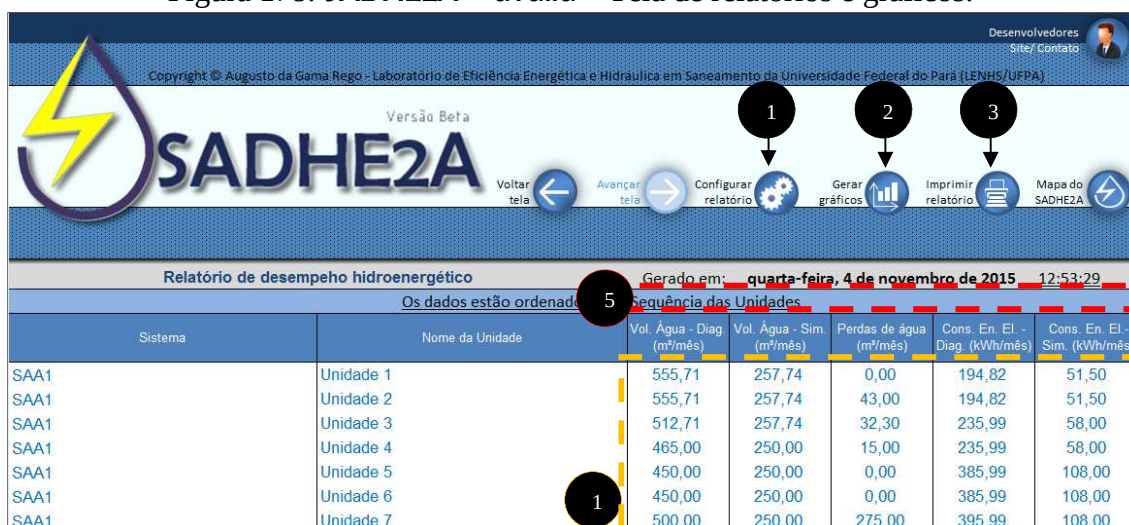
apresentados ainda os valores do *Impacto financeiro total por perdas hidroenergéticas* na forma acumulada e percentual.

Figura 177: **SADHE2A – avalia** – Cálculo do impacto financeiro total por perdas hidroenergéticas no SAA-1.



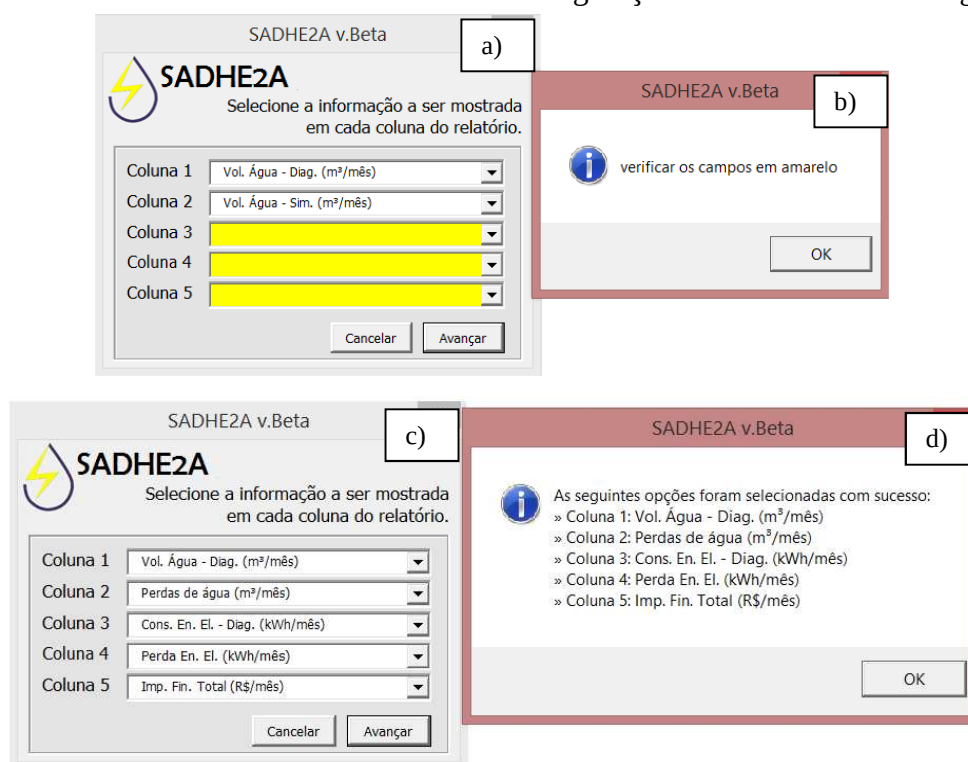
A última tela exibida pelo **SADHE2A – avalia** é observada na Figura 178, onde estão ativos os botões de “configurar relatório” (indicado por “1”), gerar gráficos (indicado por “2”) e imprimir relatório (indicado por “3”). Além disso, são apresentadas cinco colunas as quais aparecerão informações selecionadas na configuração de relatório (indicadas por “4”) e ordenadas de acordo com a opção do usuário em lista específica (indicada por “5”).

Figura 178: **SADHE2A – avalia** – Tela de relatórios e gráficos.



Quando solicitada a funcionalidade de configuração do relatório hidroenergético, é exibida a janela observada na Figura 179, na qual existem cinco listas iguais com as opções relacionadas às informações da avaliação de desempenho hidroenergético do SAA. Cada informação selecionada em cada lista será apresentada na coluna do relatório, sendo importante frisar que é necessário selecionar opção em todas as listas, caso contrário, as listas não selecionadas tomam a cor amarela, conforme Figura 179a, e, além disso, é exibida mensagem “verificar os campos em amarelo”, conforme Figura 179b. Caso a seleção das opções seja feita corretamente, como observada na Figura 179c, é exibida a mensagem “As seguintes opções foram selecionadas: (...)”, conforme observado na Figura 179d.

Figura 179: **SADHE2A – avalia** – Janela de configuração de relatório hidroenergético.



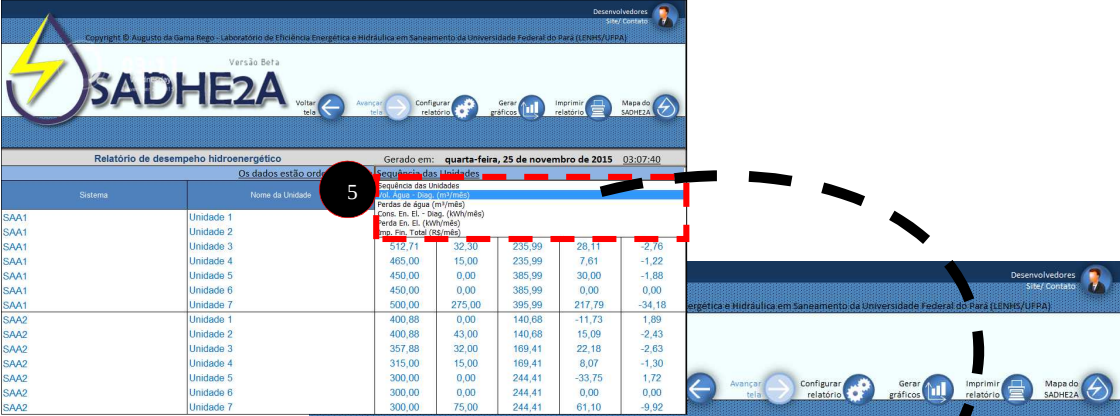
As notações utilizadas na configuração do relatório hidroenergético são:

- Vol. Água - Diag. (m³/mês): *Volume diagnosticado base total de água;*
- Vol. Água - Sim. (m³/mês): *Volume simulado base total de água;*
- Perdas de água (m³/mês): *Volume base perdido de água;*
- Cons. En. El. - Diag. (kWh/mês): *Energia elétrica diagnosticada base total;*

- Cons. En. El.- Sim. (kWh/m^3): *Energia elétrica simulada base total;*
- ICE - Diagnóstico (kWh/m^3): *Indicador de consumo específico no diagnostico;*
- ICE - Simulação (kWh/m^3): *Indicador de consumo específico na simulação;*
- IDCE (kWh/m^3): *Indicador de deficiência no consumo específico;*
- Perda En. El. (PF AGUA) (kWh/m^3): *Energia elétrica base perdida por volumes;*
- Perda En. El. (DEF) (kWh/m^3): *Energia elétrica perdida por consumo excessivo;*
- Perda En. El. (kWh/m^3): *Energia elétrica perdida*
- Imp. Fin. (PF Água) ($R\$/m^3$): *Impacto financeiro por perdas de volumes;*
- Imp. Fin. (DEF) ($R\$/m^3$): *Impacto financeiro por consumo excessivo;*
- Imp. Fin. Total ($R\$/m^3$): *Impacto financeiro total.*

Após configurar as colunas de relatório é possível, ainda, ordenar no sentido crescente os resultados das colunas, a partir de uma única informação selecionada na lista indicada por “1” na Figura 180, ficando destacada a respectiva coluna.

Figura 180: **SADHE2A – avalia** – Ordenamento dos resultados do relatório hidroenergético do SAA.



Copyright © Augusto da Gama Rego - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal do Pará (LENEH/UFPa)

Versão Beta

Desenvolvedores: Sinyr Contato

Relatório de desempenho hidroenergético

Gerado em: quarta-feira, 25 de novembro de 2015 03:07:40

Os dados estão ordenados pela coluna: Sequência das Unidades

Sistema	Nome da Unidade	Vol. Água - Diag. (m³/mês)	Perda En. El. (kWh/m³)	Perda En. El. (PF AGUA) (kWh/m³)	Perda En. El. (DEF) (kWh/m³)	Imp. Fin. Total (R\$/m³)
SAA1	Unidade 1	512,71	32,30	235,99	26,11	-2,76
SAA1	Unidade 2	405,00	15,00	235,99	7,61	-1,22
SAA1	Unidade 3	450,00	0,00	385,99	30,00	-1,88
SAA1	Unidade 4	450,00	0,00	385,99	0,00	0,00
SAA1	Unidade 5	450,00	0,00	385,99	0,00	0,00
SAA1	Unidade 6	500,00	275,00	395,99	217,79	-34,18
SAA1	Unidade 7	400,88	0,00	140,68	-11,73	1,89
SAA2	Unidade 1	400,88	43,00	140,68	15,09	-2,43
SAA2	Unidade 2	357,88	32,00	169,41	22,18	-2,63
SAA2	Unidade 3	315,00	15,00	169,41	8,07	-1,30
SAA2	Unidade 4	300,00	0,00	244,41	-33,75	1,72
SAA2	Unidade 5	300,00	0,00	244,41	0,00	0,00
SAA2	Unidade 6	300,00	0,00	244,41	0,00	0,00
SAA2	Unidade 7	300,00	75,00	244,41	61,10	-9,92

Relatório de desempenho hidroenergético

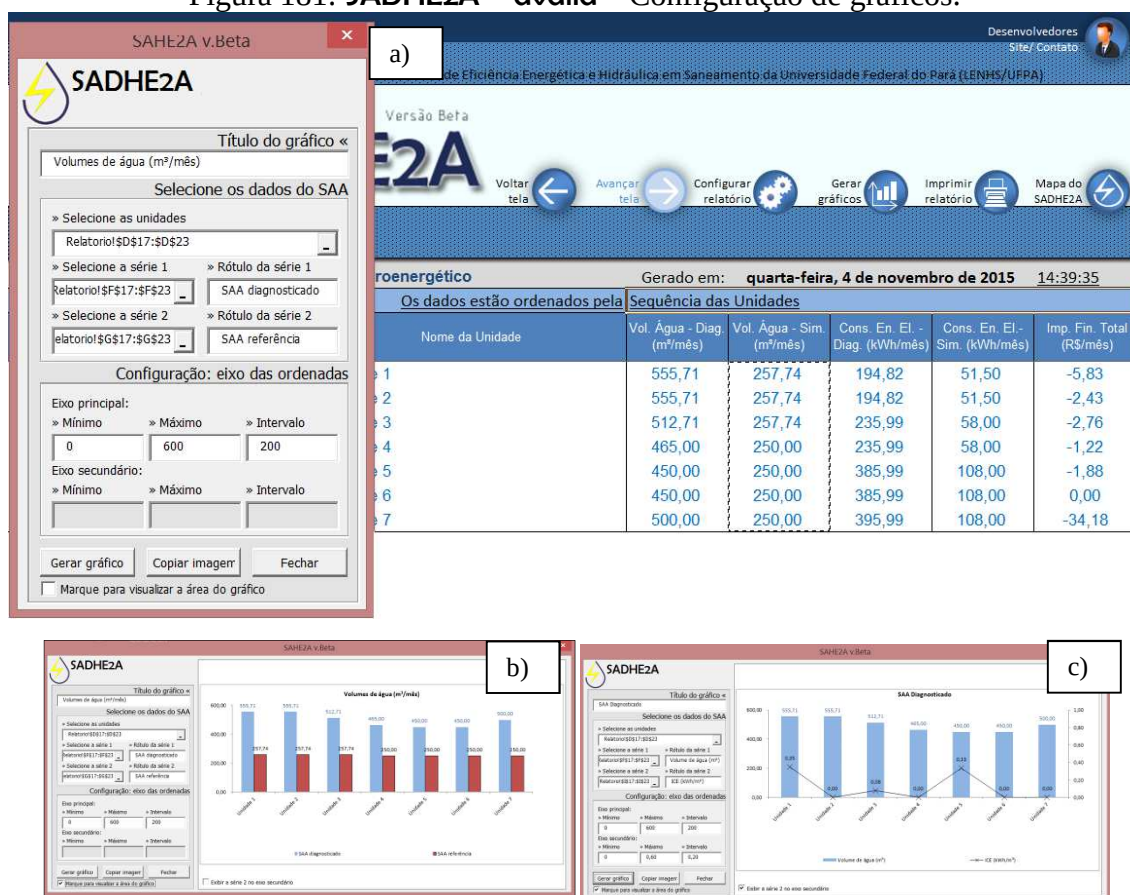
Gerado em: quarta-feira, 25 de novembro de 2015 03:11:30

Os dados estão ordenados pela coluna: Vol. Água - Diag. (m³/mês)

Sistema	Nome da Unidade	Vol. Água - Diag. (m³/mês)	Perda En. El. (kWh/m³)	Perda En. El. (PF AGUA) (kWh/m³)	Perda En. El. (DEF) (kWh/m³)	Imp. Fin. Total (R\$/m³)
SAA1	Unidade 1	555,71	0,00	194,82	36,17	-5,83
SAA1	Unidade 2	555,71	0,00	194,82	15,08	-2,43
SAA1	Unidade 3	512,71	0,00	235,99	28,11	-2,76
SAA1	Unidade 7	500,00	275,00	395,99	217,79	-34,18
SAA1	Unidade 4	465,00	15,00	235,99	7,61	-1,22
SAA1	Unidade 5	450,00	0,00	385,99	30,00	-1,88
SAA1	Unidade 6	450,00	0,00	385,99	0,00	0,00
SAA2	Unidade 1	400,88	0,00	140,68	-11,73	1,89
SAA2	Unidade 2	400,88	43,00	140,68	15,09	-2,43
SAA2	Unidade 3	357,88	32,00	169,41	22,18	-2,63
SAA2	Unidade 4	315,00	15,00	169,41	8,07	-1,30
SAA2	Unidade 5	300,00	0,00	244,41	-33,75	1,72
SAA2	Unidade 6	300,00	0,00	244,41	0,00	0,00
SAA2	Unidade 7	300,00	75,00	244,41	61,10	-9,92

Por fim, ao apertar o botão “gerar gráfico” surge a janela na qual são configuradas as opções dos gráficos resultantes da avaliação de desempenho hidroenergético de cada SAA (Figura 83a) que poderão ser gerados e exportados da mesma forma que os gráficos do módulo **SADHE2A – sistematiza**. Dentre as opções de gráficos é possível destacar a funcionalidade de especificar gráficos com duas variáveis no mesmo eixo (Figura 83b) ou em dois eixos distintos (Figura 83c), o facilita a visualização de informações com grandezas muito distantes.

Figura 181: **SADHE2A – avalia** – Configuração de gráficos.



A elaboração dos gráficos pode utilizar todas as informações listadas a pouco nas notações de configuração de relatório hidroenergético, sempre agrupadas em duas, que mostraram análises específicas que reforçam os resultados dos *Dashboard* do **SADHE2A – avalia**. Ao criar os gráficos é importante ressaltar que eles podem representar o comportamento de qualquer informação hidroenergética ao longo da linha hidroenergética do SAA avaliado.

Por fim, o conjunto de módulos **SADHE2A**, compõe o programa desenvolvido o qual de fato se caracterizou em ferramenta simples e de fácil uso para qualquer nível de profissionais, atendendo a todas as expectativas dos requisitos levantados ao longo do seu desenvolvimento. Vale ressaltar que o mesmo ainda se caracteriza como versão Beta, ou seja, versão de testes, mas é possível confirmar que o mesmo desenvolve bem todas as ações previstas pela metodologia desenvolvida.

Na sequência, serão apresentadas os resultados da avaliação do desempenho hidroenergético de SAA em escala real utilizando o monitoramento hidroenergético para levantar dados do SAA diagnosticado, a simulação computacional no *Epanet* 2.0 para levantar dados do SAA referência e, finalmente, o **SADHE2A v.Beta**.

ANEXO D – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS MEDIDORES DE VAZÃO E DOS ANALISADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Ultraflux

Bâtiment Texas - Éragry Parc
9 Allée Rosa Luxembourg
CS 40213 Fragny Sur Oise
F-95614 Cergy Pontoise Cedex

T +33 (0)1 30 27 27 30
F +33 (0)1 30 39 84 34
ultraflux@ultraflux.fr
www.ultraflux.net

CERTIFICAT DE CONFORMITÉ ET DE CONTRÔLE CONFORMITY AND CONTROL CERTIFICATE



Ce document fait référence à l'appareil This document refers to the device	UF 301-P
Numéro de série / Serial number	613

Ultraflux certifie que l'appareil ci-dessus référencé a été contrôlé durant le processus de fabrication suivant les procédures Ultraflux issues du système de Qualité ISO 9001 version 2008 et élaborées pour assurer que le matériel répond aux spécifications demandées : Contrôle de la précision de la mesure du débit en usine sur un banc hydraulique étalonné.

Ultraflux certifie également que l'appareil ci-dessus référencé a été développé et testé selon les directives et standards suivants :

- Directive 2004/108/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 relative au rapprochement des législations des États membres concernant la compatibilité électromagnétique et abrogeant la Directive 89/336/EEC (si applicable).
- Directive 2006/95/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension (si applicable).

Ultraflux certifies that the above referenced device has been tested during the manufacturing process in accordance with applicable Ultraflux procedures. These procedures are ISO 9001: 2008 controlled and are designed to assure that the instrument will meet its published specification: Factory flow meter accuracy control on a calibrated hydraulic test bench.

Ultraflux also certified that the above referenced device has been developed and subjected to testing agency certification tests, and meets the requirements of the following directive and standards:

- Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC (if applicable).
- Directive 2006/95/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the harmonisation of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits (if applicable).

Date :

Noël BATTISTELLI

Responsable Qualité

Quality Manager



EXPERT IN FLOW METERS
SINCE 1974

S.A. AU CAPITAL: DE 455 172 € - R.C. PONTOISE B 301 854 964
SIRET 301 854 964 00030 - APE 2651B - TVA FR 64301854964

Forme 10236 Rév d du 21/12/12

Ultraflux

CONTRÔLE METROLOGIQUE Uf 801P Uf 811

Type d'appareils :	Uf 801 P
Type de cartes :	MK5
Version Logiciel :	5
Nom Client :	USE

Numéro :	613
N° de carte :	884
N° Commande :	20130381

CONTRÔLE SUR BANC HYDRAULIQUE PRODUCTION SONDES DE REFERENCE : 1586 AVEC CÂBLE DÉDIÉ

Valeurs mesurées	Unités	Valeurs théoriques	Unités
Valeur du Delta T0	0,25	ns	ns
Valeur du débit appareil à tester	4634	l/h	l/h
Sortie analogique 1 appareil à tester	11,46	mA	mA
Gain	30	db	db
Totalisateur appareil étalon	501	Impulsions	Impulsions
Totalisateur appareil à tester	496	Impulsions	Impulsions
Sortie Relais	CONFORME		

Option 1	OPTIONS	Option 2
Entrée PT100	CONFORME	Sans
		CONFORME

RESULTATS

Valeurs mesurées	Unités	Valeurs théoriques	Unités
Sortie analogique théorique	11,414	mA	mA
Ecart sortie analog 1 mesurée / sortie analog théorique	-0,40	%	%
Ecart totalisateur mesuré / totalisateur étalon	-1,00	%	%
Non-Conformité :			
Conformité :	CONFORME		
Appareil contrôlé le :	11/07/2013	xx/xx/xxxx	
Par :	Youssef LAARIZI		

Forme 10192 rév F du 15/01/13



Ultraflux

Bâtiment Texas - Éragry Parc
9 Allée Rosa Luxembourg
CS 40213 Éragry Sur Oise
F-95614 Cergy Pontoise Cedex

T +33 (0)1 30 27 27 30
F +33 (0)1 30 39 84 34
ultraflux@ultraflux.fr
www.ultraflux.net

CERTIFICAT DE CONFORMITÉ ET DE CONTRÔLE CONFORMITY AND CONTROL CERTIFICATE



Ce document fait référence à l'appareil This document refers to the device	UF 801-P
Numéro de série / Serial number	614

Ultraflux certifie que l'appareil ci-dessus référencé a été contrôlé durant le processus de fabrication suivant les procédures Ultraflux issues du système de Qualité ISO 9001 version 2008 et élaborées pour assurer que le matériel répond aux spécifications demandées : Contrôle de la précision de la mesure du débit en usine sur un banc hydraulique étalonné.

Ultraflux certifie également que l'appareil ci-dessus référencé a été développé et testé selon les directives et standards suivants :

- Directive 2004/108/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 relative au rapprochement des législations des États membres concernant la compatibilité électromagnétique et abrogeant la Directive 89/336/EEC (si applicable).
- Directive 2006/95/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension (si applicable).

Ultraflux certifies that the above referenced device has been tested during the manufacturing process in accordance with applicable Ultraflux procedures. These procedures are ISO 9001: 2008 controlled and are designed to assure that the instrument will meet its published specification: Factory flow meter accuracy control on a calibrated hydraulic test bench.

Ultraflux also certified that the above referenced device has been developed and subjected to testing agency certification tests, and meets the requirements of the following directive and standards:

- Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC (if applicable).
- Directive 2006/95/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the harmonisation of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits (if applicable).

Date : 12/7/13

Noël BATTISTELLI

Responsable Qualité

Quality Manager



EXPERT IN FLOW METERS
SINCE 1974

S.A. AU CAPITAL DE 455 172 € - R.C. PONTOISE B 301 854 964
SIRET 301 854 964 00030 - APE 2611B - TVA FR 64301854964

Forme 10236 Rév d du 21/12/12

CONTRÔLE METROLOGIQUE Uf 801P Uf 811

Type d'appareils :	Uf 801 P
Type de cartes :	MK5
Version Logiciel :	5
Nom Client :	USE

Numéro :	614
N° de carte :	870
N° Commande :	20130381

CONTRÔLE SUR BANC HYDRAULIQUE PRODUCTION SONDES DE REFERENCE : 1586 AVEC CÂBLE DÉDIÉ

Valeurs mesurées	Unités	Valeurs théoriques	Unités
Valeur du Delta T0	0,29	ns	ns
Valeur du débit appareil à tester	4665	l/h	l/h
Sortie analogique 1 appareil à tester	11,53	mA	mA
Gain	30	db	db
Totalisateur appareil étalon	500	Impulsions	Impulsions
Totalisateur appareil à tester	496	Impulsions	Impulsions
Sortie Relais	CONFORME		

Option 1	OPTIONS	Option 2
Entrée PT100	CONFORME	Sans
		CONFORME

RESULTATS

Valeurs mesurées	Unités	Valeurs théoriques	Unités
Sortie analogique théorique	11,464	mA	mA
Ecart sortie analog 2 mesurée / sortie analog théorique	-0,57	%	%
Ecart totalisateur mesuré / totalisateur étalon	-0,80	%	%
Non-Conformité :			
Conformité :	CONFORME		
Appareil contrôlé le :	11/07/2013	xx/xx/xxxx	

Par :	Youssef LAARZI
-------	----------------





EMBRASUL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA

RELATÓRIO DE LIBERAÇÃO E CALIBRAÇÃO

Equipamento:	RE6000/TM/H/T/N	Sensor de corrente:	TI3000/160mm
Número de Série:	96080020	Memória de Massa:	256MB
Responsável:	Alexsander Soares	Data da liberação:	23/1/14

Alimentação:	ok	Alimentação pela Medição:	ok
Controle das Funções:	ok	Funções de Parametrização:	ok
Comunicação:	ok	Inspeção Visual:	ok

Equipamento de Referência:

Fabricante: FLUKE

Modelo: FLUKE 5500A SERIAL 6565019 RASTREADO
INMETRO CERTIFICADO SI988

CALIBRAÇÃO

TENSÃO											
FASE A			FASE B			FASE C			NEUTRO		
UMP (V)	UST (V)	INCE(V)	UMP (V)	UST (V)	INCE(V)	UMP (V)	UST (V)	INCE(V)	UMP (V)	UST (V)	INCE(V)
80,39	80,19	0,20	80,39	80,2	0,19	80,39	80,21	0,18	45,36	45,4	0,04
150,17	150,13	0,04	150,17	150,13	0,04	150,17	150,14	0,03			
215,61	215,71	0,10	215,61	215,71	0,10	215,61	215,71	0,10			
Classe de Exatidão de Tensão 0,5% - 30 a 300 V											
CORRENTE											
FASE A			FASE B			FASE C			NEUTRO		
UMP (A)	UST (A)	INCE(A)	UMP (A)	UST (A)	INCE(A)	UMP (A)	UST (A)	INCE(A)	UMP (A)	UST (A)	INCE(A)
50,2	50,2	0,000	50,200	50,210	0,010	50,200	50,210	0,010	50,200	50,220	0,020
98,4	98,3	0,100	98,400	98,300	0,100	98,400	98,300	0,100			
Classe Exatidão para Corrente 0,5% entre 5% a 100% da Escala de Corrente Mais o Erro do Sensor											
FATOR DE POTÊNCIA											
FASE A 150 V - 50 A			FASE B 150 V - 50 A			FASE C 150 V - 50 A			LEGENDA		
UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE	UMP: Unidade de Medida Padrão		
0,628	0,63	0,002	0,628	0,63	0,002	0,628	0,63	0,002			
FASE A 220 V - 500 A			FASE B 220 V - 500 A			FASE C 220 V - 500 A			UST: Unidade Sendo Testada		
UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE			
0,636	0,636	0,000	0,636	0,636	0,000	0,636	0,636	0,000	INCE: Incerteza		

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Temperatura (°C): 23,0°

Umidade Relativa do Ar(%): 54,00

Este equipamento foi aprovado, apresentando resultados satisfatórios em todos os testes. Ao instalar verifique cuidadosamente se as ligações estão de acordo com os esquemas apresentados no manual. Se houverem dúvidas ou mau funcionamento entre em contato com nosso depto. Técnico pelo fone (051) 3358-4000.

Alexsander Soares
RESPONSÁVEL



EMBRASUL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA

RELATÓRIO DE LIBERAÇÃO E CALIBRAÇÃO

Equipamento:	RE6000/TM/H/T/N	Sensor de corrente:	T13000/160mm
Número de Série:	96080022	Memória de Massa:	256MB
Responsável:	Alexsander Soares	Data da liberação:	23/1/14

Alimentação:	ok	Alimentação pela Medição:	ok
Controle das Funções:	ok	Funções de Parametrização:	ok
Comunicação:	ok	Inspeção Visual:	ok

Equipamento de Referência:

Fabricante: FLUKE

Modelo: FLUKE 5500A SERIAL 6565019 RASTREADO
INMETRO CERTIFICADO SI988

CALIBRAÇÃO

TENSÃO											
FASE A			FASE B			FASE C			NEUTRO		
UMP (V)	UST (V)	INCE(V)	UMP (V)	UST (V)	INCE(V)	UMP (V)	UST (V)	INCE(V)	UMP (V)	UST (V)	INCE(V)
80,8	80,68	0,12	80,8	80,74	0,06	80,8	80,75	0,05	45,53	45,6	0,07
150,47	150,47	0,00	150,47	150,47	0,00	150,47	150,47	0,00			
215,5	215,59	0,09	215,5	215,58	0,08	215,5	215,52	0,02			
Classe de Exatidão de Tensão 0,5% - 30 a 300 V											
CORRENTE											
FASE A			FASE B			FASE C			NEUTRO		
UMP (A)	UST (A)	INCE(A)	UMP (A)	UST (A)	INCE(A)	UMP (A)	UST (A)	INCE(A)	UMP (A)	UST (A)	INCE(A)
50,24	50,25	0,010	50,240	50,250	0,010	50,240	50,250	0,010	50,240	50,260	0,020
98,6	98,6	0,000	98,600	98,600	0,000	98,600	98,600	0,000			
Classe Exatidão para Corrente 0,5% entre 5% a 100% da Escala de Corrente Mais o Erro do Sensor											
FATOR DE POTÊNCIA											
FASE A 150 V - 50 A			FASE B 150 V - 50 A			FASE C 150 V - 50 A			LEGENDA		
UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE	UMP: Unidade de Medida Padrão UST: Unidade Sendo Testada INCE: Incerteza		
0,627	0,627	0,000	0,627	0,627	0,000	0,627	0,627	0,000			
FASE A 220 V - 500 A			FASE B 220 V - 500 A			FASE C 220 V - 500 A					
UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE	UMP	UST	INCE			
0,634	0,633	0,001	0,634	0,633	0,001	0,634	0,632	0,002			

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Temperatura (°C): 23,0°

Umidade Relativa do Ar(%): 54,00

Este equipamento foi aprovado, apresentando resultados satisfatórios em todos os testes. Ao instalar verifique cuidadosamente se as ligações estão de acordo com os esquemas apresentados no manual. Se houverem dúvidas ou mau funcionamento entre em contato com nosso depto. Técnico pelo fone (051) 3358-4000.


RESPONSÁVEL