



DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Aline Christian Pimentel Almeida Santos

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, PA - BRASIL

OUTUBRO DE 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Instituto de Tecnologia/Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia)

Santos, Aline Christian Pimentel Almeida

Desenvolvimento de modelo de sistema de informações geográficas para avaliação da eficiência hidroenergética em sistemas de abastecimento de água / Aline Christian Pimentel Almeida Santos; Orientador, José Almir Rodrigues Pereira. – Belém, 2015.

180 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2015.

1. Eficiência Energética. 2. Gestão Hidroenergética. 3. Sistemas de Abastecimento de Água. 4. Sistemas de Informações Geográfica. 5. Saneamento. I. Pereira, José Almir Rodrigues, orientador. II. Título.

CDD 22. ed. 660.28

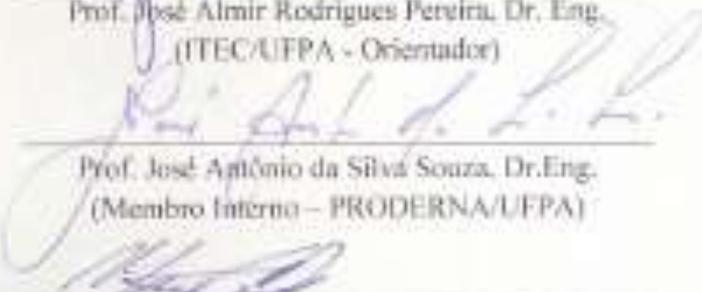
**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE SISTEMA DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA AVALIAÇÃO DA
EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA EM SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Aline Christian Pimentel Almeida Santos

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.

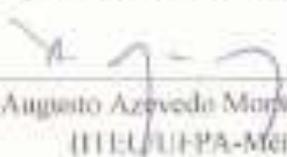
Aprovada por:


Prof. José Almir Rodrigues Pereira, Dr. Eng.
(ITEC/UFPA - Orientador)


Prof. José Antônio da Silva Souza, Dr. Eng.
(Membro Interno - PRODERNA/UFPA)


Prof. Marcelo Giulian Marques, Dr. Eng.
(UFRGS / RS- Membro externo)


Prof. Maria de Lourdes Souza Santos, Dra.
(UFRA /PA - Membro externo)


Prof. André Augusto Azevedo Morchegre Duarte, Dr. Eng.
(ITEC/UFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

OUTUBRO DE 2015

À minha avó Izibilina Almeida (*In
memorian*) e ao meu amado filho Isaac.

Foi por vocês!

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus Todo Poderoso, a Jesus de Nazaré e ao Espírito Santo, que em uma só pessoa, me guia, me blinda, me ama e me ajuda a caminhar por onde nem sonhei passar.

Aos meus pais Raimundo Nazareno e Zuila Ramos pelo amor, incentivo e dedicação que me fizeram chegar até aqui. Aos meus amados avós José de Castro (*In memorian*) e Izibilina Coelho (*In memorian*), que sem sua criação, dedicação e amor, eu não conseguiria trilhar esse caminho.

Ao meu marido Rogério Santos pelo incentivo, e às minhas tias Maria, Graça, Fátima que cuidaram tão bem de meu filho Isaac para que eu pudesse me dedicar ao desenvolvimento de tese.

Ao querido amigo, enviado por Deus, David Leão Alves, que abriu mão de parte de seu precioso tempo para me ajudar no desenvolvimento do trabalho. Sem suas contribuições o trabalho não seria o mesmo. Que o Senhor Deus o recompense com aquilo que mais deseja.

Ao professor e orientador José Almir Rodrigues Pereira pela confiança depositada, orientação e sugestões em todas as fases da execução deste trabalho, e por todas as oportunidades dadas durante minha vida acadêmica, que foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À Professora Marise Teles Condurú pela colaboração na revisão textual do trabalho. E aos amigos do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS), Karina Castro, Gleiciane Moraes, Augusto Rego, e aos demais bolsistas e colaboradores.

Aos professores Marcelo Giulian Marques, Augusto Nelson Carvalho Viana, José Antônio da Silva Souza, André Augusto Azevedo Montenegro Duarte, Petrônio Vieira Júnior e Maria de Lourdes Souza Santos, por suas valiosas contribuições nas bancas de qualificação e de defesa da tese de doutorado.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente dispuseram suas valiosas colaborações para a realização deste trabalho.

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 DE MODELO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA EM
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Aline Christian Pimentel Almeida Santos

Outubro/2015

Orientador: José Amir Rodrigues Pereira

Área de Concentração: Uso de Recursos Naturais

Desenvolvimento de metodologia para a avaliação do desempenho hidroenergético de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) utilizando modelo de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para auxiliar na tomada de decisão na operação de SAAs. O modelo desenvolvido em plataforma SIG possibilita o registro, a sistematização e a espacialização dos dados hidroenergéticos, a fim de evitar gastos excessivos com a energia elétrica agregada ao volume de água disponibilizado para consumo. Na 1ª Etapa foram identificados os parâmetros hidroenergéticos utilizados nos atuais métodos de gerenciamento de SAA e, em seguida, definidos os dados e indicadores para a representação espacial no modelo do desempenho hidroenergético por setor e por unidade de abastecimento de água. Na 2ª Etapa foi desenvolvido o modelo de gestão em SIG por meio da IDE Delphi XE5 e da plataforma TatumGis, em três fases: Construção do banco de dados geográfico (Fase 1); Construção do módulo SIG (Fase 2) e Construção do módulo hidroenergético (Fase 3). A última Etapa (3ª Etapa) foi destinada a avaliação da funcionalidade do modelo desenvolvido, sendo simulado o funcionamento do SAA Bolonha, da Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil, o que permitiu a espacialização dos dados e indicadores para identificação dos setores com melhor e com pior desempenho hidroenergético. A ferramenta de construção de mapas de graduação de cores mostrou-se eficiente, permitindo a rápida identificação do melhor resultado do índice de consumo de energia elétrica no setor 9 da Zona Central (0,62 KWh/m³), bem como do pior índice de perda total no setor 7 da

Zona Central (54,29%). Além da ferramenta para sinalização de alerta para os indicadores acima da meta estabelecida pelo usuário, que possibilitou a identificação do setor 7 com o pior índice de consumo de energia elétrica (0,85 KWh/m³). Com o trabalho foi constatado que o modelo SIGHE2A é uma ferramenta que permite e agiliza a avaliação do desempenho hidroenergético de SAA, especialmente por facilitar a identificação do problema e a tomada de decisão.

Palavras-Chave: Sistemas de Informações Geográficas; Eficiência Energética; Perdas; Abastecimento de Água.

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.)

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM MODEL DEVELOPMENT FOR
EVALUATE THE HYDRO-ENERGY EFFICIENCY OF WATER SUPPLY SYSTEMS

Aline Christian Pimentel Almeida Santos

Outubro/2015

Advisor: José Almir Rodrigues Pereira

Research Area: Use of Natural Resources

Development of methodology for evaluating the performance of hydro-energy Water Supply Systems (WSS) using System Model of Geographical Information (GIS) to assist in decision-making in the SAAs operation. The model developed in GIS platform enables registration, systematization and the spatial distribution of hydro data in order to avoid excessive spending on electricity aggregate the volume of water available for consumption. In Stage 1 the hydro-energy parameters were identified WSSs used in current management methods and then set the data and indicators for the spatial representation in the model of the hydro-energy performance by sector and water supply unit. In the 2nd stage was developed the management model in GIS through Delphi IDE XE5 and TatukGIS platform in three phases: geographic database construction (Phase 1); Construction of GIS module (Phase 2) and construction of hydro-energy module (Phase 3). The last step (Step 3) was submitted to evaluation of the model developed functionality, which simulated the operation of the WSS Bolonha, the Metropolitan Region of Belém, Pará, Brazil, which allowed the spatial data and indicators to identify the sectors with best and hydro-energy worst performance. The color grading maps building tool was efficient, allowing quick identification of the best result of the electricity consumption index in sector 9 of the Central Zone (0.62 KWh / m³) and the worst index total loss in sector 7 of the Central Zone (54.29%). In addition to the warning signs for tool for the indicators above the target set by the user, which enabled the identification of sector 7 with the worst energy consumption index (0.85 KWh / m³).

With the work it was found that the SIGHE2A model is a tool that enables and streamlines the evaluation of the hydro-Energy performance WSS, especially to facilitate problem identification and decision making.

Keywords: Geographic Information Systems; Energy efficiency; Losses; Water Supply.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| AAB | Adutora de Água Bruta |
| AAT | Adutora de Água Tratada |
| ABES | Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental |
| BDE | <i>Borland Database Engine</i> |
| CAESB | Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal |
| CMB | Conjunto Motor e Bomba |
| DSN | <i>Data SourceNames</i> |
| DEX | Despesa de Exploração |
| DTA | Documento Técnico de Apoio |
| EEAB | Estação Elevatória de Água Bruta |
| EEAT | Estação Elevatória de Água Tratada |
| EPA | <i>Environmental Protection Agency</i> |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| ESRI | <i>Environmental Systems Research Institute</i> |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| GDB | <i>Geodatabases</i> |
| GMF | Universidade Politécnica de Valência – Espanha |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> |
| IMTA | Instituto Mexicano de Tecnologia da Água |
| IWA | <i>International Water Association</i> |
| ODBC | <i>Open Database Connectivity</i> |
| PMSS | Programa de Modernização do Setor Saneamento |
| PNCDA | Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água |
| PNEf | Plano Nacional de Eficiência Energética |
| Procel Sanear | Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental |
| RAD | <i>Rapid Application Development</i> |
| RAP | Reservatório Apoiado |
| REL | Reservatório Elevado |
| RMB | Região Metropolitana de Belém |
| SAA | Sistemas de Abastecimento de Água |
| SGBD | Sistema Gerenciador de Banco de Dados |

| | |
|---------|---|
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |
| SIGHE2A | Sistema de Informações Geográficas para o Desempenho hidroenergético de Abastecimento de Água |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| XP | <i>Extreme Programming</i> |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1 – Potência de Escoamento..... | 37 |
| Equação 2 – Energia Mínima Teórica..... | 38 |
| Equação 3 – Índice de Perda física na Adução de Água Bruta..... | 85 |
| Equação 4 – Índice de consumo de energia em horário de ponta..... | 85 |
| Equação 5 – Índice de Perda Real na Produção..... | 85 |
| Equação 6 – Índice de Perda Real no Tratamento..... | 86 |
| Equação 7 – Índice de consumo de energia em ETA em horário de ponta..... | 86 |
| Equação 8 – Índice de consumo de energia em EEAT da ETA em horário de ponta | 86 |
| Equação 9 – Índice de despesas por volume produzido..... | 86 |
| Equação 10 – Índice de consumo de energia em EEAT do Setor em horário de ponta.. | 86 |
| Equação 11 – Índice de Perda Real no Reservatório Apoiado..... | 87 |
| Equação 12 – Índice de Perda Real no Reservatório Elevado..... | 87 |
| Equação 13 – Índice de Perda na Distribuição..... | 87 |
| Equação 14 – Índice de Perda na Arrecadação..... | 87 |
| Equação 15 – Índice de população não hidrometrada..... | 87 |
| Equação 16 – Índice Total de Perda Real..... | 87 |
| Equação 17 – Índice de despesas com energia elétrica no SAA..... | 88 |
| Equação 18 – Índice de consumo de energia em SAA em horário de ponta..... | 88 |
| Equação 19 – Água não Faturada..... | 88 |
| Equação 20 – Índice de volume faturado por economia ativa..... | 88 |
| Equação 21 – Índice de volume arrecadado por economia ativa..... | 88 |

LISTA DE ESQUEMAS

| | |
|---|-----|
| Esquema 1 – Perdas nas unidades de obtenção, processamento e distribuição de água | 30 |
| Esquema 2 – Perdas reais e de faturamento em Sistema de Abastecimento de Água.... | 32 |
| Esquema 3 – Visão proposta para organização espacial dos dados hidroenergéticos.... | 49 |
| Esquema 4 – Estrutura geral de SIG..... | 52 |
| Esquema 5 – Conjunto de camadas de informações sobre uma determinada região | 53 |
| Esquema 6 – Camadas de informação associadas a uma única localização..... | 54 |
| Esquema 7 – Álgebra de mapas..... | 54 |
| Esquema 8 – Composição básica dos GDBs pessoal e multiusuários..... | 60 |
| Esquema 9 – Desenvolvimento de <i>software</i> utilizando a metodologia <i>Extreme Programming</i> | 67 |
| Esquema 10 – Formação de uma aplicação Delphi..... | 69 |
| Esquema 11 – Acesso e manipulação de um banco de dados em Delphi | 70 |
| Esquema 12 – Etapas do desenvolvimento de modelo de gestão hidroenergética de SAAs..... | 72 |
| Esquema 13 – Resumo do processo de construção do modelo proposto para controle do desempenho hidroenergético em SAAs..... | 77 |
| Esquema 14 – Etapas do gerenciamento de dados hidroenergéticos utilizando o modelo proposto | 78 |
| Esquema 15 – Dados hidroenergéticos utilizados na construção do modelo | 79 |
| Esquema 16 – Diagrama de classes do modelo SIGHE2A | 90 |
| Esquema 17 – Desenvolvimento do banco de dados do modelo..... | 91 |
| Esquema 18 – Etapas da captação, produção e distribuição de água no SAA Bolonha | 113 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 – Pirâmide de agregação de dados para construção de índices de desempenho de SAAs..... | 43 |
| Figura 2 – Visualização da janela de desenvolvimento do <i>Software Excel</i> da <i>Microsoft</i> | 47 |
| Figura 3 – Evolução da Tecnologia SIG | 52 |
| Figura 4 – Estrutura vetorial de representação da realidade..... | 56 |
| Figura 5– Estrutura matricial de representação da realidade..... | 56 |
| Figura 6 – Exemplo de classes de feições no GDB | 61 |
| Figura 7 – Exemplo de conjunto de dados de feições | 61 |
| Figura 8 – Exemplo de Tabelas | 62 |
| Figura 9 – Estrutura de um <i>Geodatabase</i> | 62 |
| Figura 10 – Construção do banco de dados geográfico “SetoresGEO” no <i>MySQL Workbench</i> | 92 |
| Figura 11 – Construção do banco de dados “Setores” no <i>MySQL Workbench</i> | 92 |
| Figura 12 – Conector ODBC para <i>MySQL</i> | 93 |
| Figura 13 – Configuração do Conector ODBC para <i>MySQL</i> | 94 |
| Figura 14 – Construção das ferramentas básicas do SIGHE2A por meio do componente <i>TatukGis</i> | 95 |
| Figura 15 – Janela de visualização do SIGHE2A..... | 96 |
| Figura 16 – Janela de visualização da ferramenta “Adicionar” do SIGHE2A..... | 97 |
| Figura 17 – Ferramenta <i>Zoom</i> do SIGHE2A | 97 |
| Figura 18 – Aba <i>Layer</i> da ferramenta de configuração das feições no SIGHE2A..... | 98 |
| Figura 19 – Aba <i>Section</i> da ferramenta de configuração das feições no SIGHE2A | 98 |
| Figura 20 – Aba <i>Renderer</i> da ferramenta de configuração das feições do SIGHE2A ... | 99 |
| Figura 21 – Ferramenta de configuração de cores das feições do SIGHE2A | 100 |
| Figura 22 – Ferramenta de configuração do texto das feições do SIGHE2A..... | 100 |
| Figura 23 – Ferramenta <i>Chart</i> do SIGHE2A..... | 101 |
| Figura 24 – Ferramenta <i>Coordinate System</i> do SIGHE2A..... | 102 |
| Figura 25 – Ferramenta <i>Localizar</i> do SIGHE2A..... | 102 |
| Figura 26 – Ferramenta de acesso à biblioteca de ajuda do SIGHE2A..... | 103 |
| Figura 27 – Biblioteca de ajuda do SIGHE2A | 103 |

| | |
|---|-----|
| Figura 28 – construção da barra de ferramentas do modelo na Janela de desenvolvimento da plataforma Delphi XE5..... | 104 |
| Figura 29 – Construção da ferramenta Cadastro na plataforma Delphi XE5 | 105 |
| Figura 30 – Construção de <i>submenus</i> da ferramenta Cadastro na plataforma Delphi XE5 | 105 |
| Figura 31 – Ferramenta de Cadastro para a feição “EEAB” na plataforma Delphi XE5 | 106 |
| Figura 32 – Construção da ferramenta de saída de dados na plataforma Delphi XE5 . | 107 |
| Figura 33 – Construção da ferramenta “calcular indicadores” do SIGHE2A | 107 |
| Figura 34 – Construção da Ferramenta “Alerta” do SIGHE2A | 109 |
| Figura 35 – Construção da ferramenta para geração de mapas de graduação de cor ... | 110 |
| Figura 36 – Ferramenta de configuração de feições para mapas de graduação de cor. | 110 |
| Figura 37 – Mapa de localização do SAA Bolonha | 112 |
| Figura 38 – Limite dos Setores de Abastecimento de Água..... | 118 |
| Figura 39 – Adutoras e unidades do sistema de Abastecimento de Água..... | 118 |
| Figura 40 – Base viária da Zona Central de Abastecimento de Água..... | 118 |
| Figura 41 – Hidrografia da Área em estudo | 118 |
| Figura 42 – Coluna IdGeo na tabela de atributos do geodatabase “Setores” | 120 |
| Figura 43 – Geodatabases adicionados em Projeto para simulação no modelo SIGHE2A | 121 |
| Figura 44 – Cadastro de dados hidroenergéticos da EEAB Bolonha no modelo SIGHE2A | 122 |
| Figura 45 – Cadastro de dados hidroenergéticos da ETA Bolonha no modelo SIGHE2A | 122 |
| Figura 46 – Cadastro de dados hidroenergéticos das EEATs do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A | 123 |
| Figura 47 – Cadastro de dados hidroenergéticos dos RAPs do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A | 123 |
| Figura 48 – Cadastro de dados hidroenergéticos dos RELs do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A | 124 |
| Figura 49 – Cadastro de dados hidroenergéticos dos setores do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A | 124 |
| Figura 50 – Importação dos dados organizados no <i>Microsoft Excel</i> para o banco de dados do MySQL..... | 125 |

| | |
|--|-----|
| Figura 51 – Banco de dados SIGHE2Ano MySQL..... | 126 |
| Figura 52 – Determinação dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha para o mês de julho de 2013 no modelo SIGHE2A..... | 127 |
| Figura 53 – Dados e indicadores de desempenho hidroenergético do Setor 04 do SAA Bolonha – Zona Central armazenados no banco de dados geográfico do SIGHE2A .. | 128 |
| Figura 54 – Procedimento para construção de mapas de Graduação de cor no SIGHE2A | 130 |
| Figura 55 – Procedimento para configuração da feição na construção de mapas de Graduação de cor no SIGHE2A | 131 |
| Figura 56 – Índices de Perda Total no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 132 |
| Figura 57 – Índices de Perda na distribuição no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 133 |
| Figura 58 – Índices de População não hidrometrada no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 134 |
| Figura 59 – Índices de água não faturada no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 135 |
| Figura 60 – Índices de Perda na arrecadação no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 136 |
| Figura 61 – Índices de Consumo de energia elétrica no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 137 |
| Figura 62 – Índice de despesas com energia elétrica por setor do SAA, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A | 138 |
| Figura 63 – Índice de despesas com energia elétrica por volume produzido para o setor de abastecimento, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A..... | 139 |
| Figura 64 – Procedimento de aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice de consumo de energia elétrica na feição setores no SIGHE2A | 140 |
| Figura 65 – Cadastro de metas de Setores de abastecimento para a aplicação da ferramenta “Alerta” no SIGHE2A..... | 141 |
| Figura 66 – Aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice de consumo de energia elétrica na feição setores no SIGHE2A | 142 |
| Figura 67 – Aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice perda no tratamento de água no SIGHE2A | 143 |

| | |
|--|-----|
| Figura 68 – Aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice de consumo de energia elétrica no SIGHE2A..... | 143 |
| Figura 69 – Aplicação da ferramenta “Chart” (A) e definição das cores e das variáveis das séries (B) para a construção dos gráficos de controle de metas espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A..... | 144 |
| Figura 70 – Gráficos de controle de metas do índice de perda total espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A..... | 145 |
| Figura 71 – Gráficos de controle de metas do índice de consumo de energia elétrica espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A..... | 145 |
| Figura 72 – Gráficos de índices de Volume Faturado e Volume Arrecadado espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A..... | 146 |

LISTA DE FLUXOGRAMAS

| | |
|--|-----|
| Fluxograma 1 – Construção da ferramenta “Alerta” do SIGHE2A | 108 |
| Fluxograma 2 – Funções do modelo SIGHE2A para geoprocessamento de dados hidroenergéticos..... | 111 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Volume produzido, consumido e perdido de água nos SAAs brasileiros em 2013 | 33 |
| Gráfico 2 – Índice de perdas de água no Brasil e a média em países desenvolvidos | 33 |
| Gráfico 3 – Representação dos vários tipos de potência em u1qm SAA | 37 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Balanço Hídrico proposto pela IWA | 40 |
| Quadro 2 – Arquivos gerados no desenvolvimento em Delphi..... | 69 |
| Quadro 3 – Dados gerais de sistema de abastecimento de água..... | 80 |
| Quadro 4 – Dados comerciais de sistema de abastecimento de água..... | 80 |
| Quadro 5 – Dados energéticos de sistema de abastecimento de água..... | 80 |
| Quadro 6 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Estação Elevatória de Água Bruta..... | 81 |
| Quadro 7 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Adutora de Água Bruta – AAB..... | 81 |
| Quadro 8 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Estação de Tratamento de Água - ETA | 82 |
| Quadro 9 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Reservatório apoiado ... | 82 |
| Quadro 10 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Estação Elevatória de Água Tratada do setor de distribuição..... | 83 |
| Quadro 11 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Adutora de Água Tratada – AAT..... | 83 |
| Quadro 12 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Reservatório Elevado do Setor de distribuição | 83 |
| Quadro 13 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Rede de distribuição .. | 84 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Consumo e perdas de água e energia elétrica e despesas com energia elétrica em SAAs..... | 35 |
| Tabela 2 – Dados da unidade Estação Elevatória de Água Bruta do SAA Bolonha do mês de julho de 2013..... | 114 |
| Tabela 3 – Dados da unidade Estação de Tratamento de Água do Bolonha do mês de julho de 2013..... | 114 |
| Tabela 4 – Dados da unidade Reservatório Apoiado dos setores 04, 06, 07, 08 e 09 do SAA Bolonha Zona central do mês de julho de 2013..... | 115 |
| Tabela 5 – Dados da unidade Estação Elevatória de Água tratada da ETA e dos setores 04, 06, 07, 08 e 09 do SAA Bolonha Zona Central do mês de julho de 2013..... | 115 |
| Tabela 6 – Dados da unidade Reservatório Elevado dos setores 04, 06, 07, 08 e 09 do SAA Bolonha Zona Central do mês de julho de 2013..... | 115 |
| Tabela 7 – Dados dos Setores de Abastecimento de Água do SAA Bolonha Zona Central do mês de julho de 2013..... | 116 |
| Tabela 8 – Dados dos Setores de Abastecimento de Água do SAA Bolonha Zona de Expansão do mês de julho de 2013..... | 117 |
| Tabela 9 – Índices de consumo mínimo de energia para as EEATs do SAA Bolonha | 119 |
| Tabela 10 – Comparação entre os índices de consumo de energia nas EEATs e o consumo mínimo de energia necessária | 128 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO | 24 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 26 |
| 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO | 27 |
| CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 28 |
| 2.1 PERDA DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO..... | 30 |
| 2.2 CONSUMO E DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA..... | 34 |
| 2.2.1 Energia Mínima Teórica necessária no SAA | 36 |
| 2.3 LIMITAÇÕES NO CONTROLE DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA | 38 |
| 2.3.1 Balanço Hídrico da IWA | 39 |
| 2.3.2 Indicadores e Índices de Desempenho | 42 |
| 2.3.3 Ferramentas computacionais | 46 |
| 2.4 NECESSIDADE DE CONTROLE HIDROENERGÉTICO DO SAA | 48 |
| 2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS | 49 |
| 2.5.1 Arquitetura de SIG | 52 |
| 2.5.2 Representação de dados em SIG | 54 |
| 2.5.3 Armazenamento de dados em SIG..... | 57 |
| 2.5.4 Aplicações de SIG em Sistemas de Abastecimento de Água | 63 |
| 2.6 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES..... | 66 |
| 2.6.1 Metodologia <i>Extreme Programming</i>..... | 66 |
| 2.6.2 Ferramenta DELPHI | 67 |
| CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS..... | 71 |
| 3.1 ETAPA 1 – LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS HIDROENERGÉTICOS EM MÉTODOS DE GERENCIAMENTO ATUAIS | 73 |
| 3.1.1 Fase 1: Definição dos dados por Sistema de Abastecimento de Água | 73 |
| 3.1.2 Fase 2: Definição dos dados por Unidade do Sistema de Abastecimento de Água..... | 74 |
| 3.1.3 Fase 3: Definição dos Índices de desempenho hidroenergéticoa serem utilizados no modelo | 74 |

| | | |
|-------|--|------------|
| 3.2 | ETAPA 2 – DESENVOLVIMENTO DE MODELO COMPUTACIONAL EM PLATAFORMA SIG PARA A ANÁLISE DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO EM SAA..... | 74 |
| 3.2.1 | Fase 1: Construção do banco de dados geográfico..... | 75 |
| 3.2.2 | Fase 2: Construção do módulo SIG | 76 |
| 3.2.3 | Fase 3: Construção do módulo Hidroenergético | 76 |
| 3.3 | ETAPA 3 – SIMULAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO UTILIZANDO O ESTUDO DE CASO DO SAA BOLONHA..... | 78 |
| | CAPÍTULO 4 – RESULTADOS: MODELO DESENVOLVIDO..... | 79 |
| 4.1 | DADOS E ÍNDICES UTILIZADOS..... | 79 |
| 4.2 | MODELO COMPUTACIONAL EM PLATAFORMA SIG | 89 |
| 4.2.1 | Banco de dados geográfico..... | 91 |
| 4.2.2 | Módulo SIG..... | 94 |
| 4.2.3 | Módulo Hidroenergético..... | 103 |
| | CAPÍTULO 5 – RESULTADOS: APLICAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO NO ESTUDO DE CASO DO SAA BOLONHA | 112 |
| 5.1 | LEVANTAMENTO DOS DADOS HIDROENERGÉTICOS..... | 114 |
| 4.3 | ÍNDICE DE CONSUMO MÍNIMO DE ENERGIA..... | 118 |
| 5.2 | SIMULAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA ESTUDADO | 120 |
| 5.2.1 | Cadastro de dados hidroenergéticos do SAA Bolonha | 121 |
| 5.2.2 | Determinação dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha..... | 126 |
| 5.2.3 | Avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Bolonha utilizando o SIGHE2A | 129 |
| | CAPÍTULO 6 – CONCLUSOES, POSSIBILIDADE DE EVOLUÇÃO DO MODELO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS . | 147 |
| 6.1 | CONCLUSÕES..... | 147 |
| 6.2 | POSSIBILIDADE DE EVOLUÇÃO DO MODELO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 149 |
| | REFERÊNCIAS | 151 |
| | APÊNDICE - BIBLIOTECA DE AJUDA DO SIGHE2A..... | 159 |

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o surgimento de grandes aglomerados urbanos influenciam diretamente no aumento da demanda de água e, conseqüentemente, no consumo de energia elétrica nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), já que é um dos insumos mais utilizados na prestação desse serviço, sendo as unidades de bombeamento de água, as maiores consumidoras de energia elétrica, com aproximadamente 90% do consumo total de energia nesse sistema.

O consumo de energia elétrica destinado ao bombeamento e tratamento de água para abastecimento da população mundial varia de 2 a 3% de toda a energia utilizada. Esses dados são compatíveis com a realidade do Brasil, pois conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica nos serviços de saneamento representa de 2 a 3% da matriz energética brasileira (BRASIL, 2012a). No Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do Governo Federal brasileiro, registrado consumo total de energia elétrica de 11.076 GWh, no ano de 2013, correspondendo a 2,39% da matriz energética brasileira (BRASIL, 2013).

Além disso, os elevados índices de perdas de água contribuem para o aumento do consumo de energia elétrica em todas as unidades do SAA, já que no deslocamento da água ocorre a utilização de energia disponibilizada em uma ou mais unidades, denominada “energia agregada”. Dessa forma, para quantificar as perdas com energia elétrica agregada ao volume perdido de água devem ser considerados e somados os valores de consumo de energia elétrica de todas as unidades à montante.

Assim, são necessárias ações para racionalizar o consumo de água e de energia elétrica nos SAAs, o que requer uma gestão eficiente do desempenho operacional das unidades de produção, processamento e distribuição de água.

Para reduzir os índices de consumo de energia elétrica em SAAs, a ELETROBRAS instituiu o Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROCEL SANEAR), que atua de forma conjunta com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) e o Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), ambos coordenados pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), vinculada ao Ministério das Cidades.

As ações do PROCEL SANEAR visam o uso eficiente de energia elétrica e de água em sistemas de saneamento ambiental, como estratégia de prevenção à escassez de água destinada à geração hidroelétrica. Uma das ações do PROCEL SANEAR foi a criação da rede de Laboratórios de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), que objetivam a realização de pesquisas e disseminação de conceitos, posturas e tecnologias referentes à eficiência energética e hidráulica em saneamento, visando a redução de custos. Atualmente, existem seis laboratórios em universidades das cinco regiões do país, sendo um na Universidade Federal do Pará, denominado LENHS NORTE.

Os resultados dos últimos diagnósticos hidroenergéticos do PROCEL apontaram um potencial de economia de energia de 1.557 mil KWh/ano, de redução de demanda na ponta de 500 kW/ano e de redução de perdas reais de água de 2.118 mil m³/ano (ELETROBRÁS, 2015).

Apesar das ações já previstas e realizadas para o uso racional de água e de energia elétrica nos SAAs, a falta de sistematização dos dados operacionais e a carência de ferramentas computacionais apropriadas dificultam a avaliação do desempenho e a gestão hidroenergética dos sistemas de abastecimento.

As ferramentas computacionais atualmente utilizadas, como os *softwares* Excel e Access da *Microsoft Office*, possuem limitações para a representação espacial, permitindo apenas a visualização numérica dos problemas, o que impede a visualização global da situação hidroenergética nas unidades do Sistema de Abastecimento. A representação espacial das informações de SAAs possibilita a visualização clara do desempenho hidroenergético do sistema de abastecimento por meio da identificação do problema em sua localização geográfica, o que facilita a tomada de decisão e o deslocamento de equipes de campo até o local da intervenção.

No armazenamento dos dados hidroenergéticos são necessárias ferramentas que suportem o grande número de dados gerados nos sistemas e que possibilitem a identificação e a visualização global dos problemas de volumes perdidos de água e de consumo de energia elétrica no SAA, com a identificação espacial do local exato da ocorrência, o que pode ser obtido por sistemas que realizem a espacialização e o geoprocessamento dos dados hidroenergéticos, como os Sistemas de Informações geográficas (SIG).

Dentre os SIGs comerciais disponíveis, destacam-se o *ArcGis*, o *Spring*, o *MapInfo*, o *QuantumGIS*, o *TerraView* etc., porém esses softwares possuem design padrão, com visualização simples e ferramentas generalizadas, e, portanto, não são adequados às especificidades e necessidades do gerenciamento hidroenergético de SAAs.

Portanto, a falta de representação espacial específica para o gerenciamento do desempenho hidroenergético de SAAs dificulta a visualização e o controle dos dados nas unidades do sistema de abastecimento, sendo uma das deficiências do atual modelo de gerenciamento de serviços de abastecimento de água. Para solucionar esse problema precisam ser desenvolvidos sistemas de informação geográfica de acordo com as necessidades de utilização no setor de saneamento básico.

1.1 OBJETIVOS

- **Objetivo Geral**

Desenvolver metodologia de registro, sistematização e espacialização de dados e informações para a avaliação do desempenho hidroenergético de Sistemas de Abastecimento de Água em modelo de Sistema de Informações Geográficas.

- **Objetivos Específicos**

- Pesquisar parâmetros hidroenergéticos de modelos atualmente utilizados no gerenciamento de unidades específicas e de SAA, para fundamentar a definição dos índices de desempenho hidroenergético do modelo a ser desenvolvido;
- Construir banco de dados geográfico para armazenamento dos dados hidroenergéticos de SAA;
- Desenvolver modelo computacional de gerenciamento hidroenergético, utilizando plataforma de programação em SIG, para possibilitar o

registro, sistematização e espacialização de dados e informações hidroenergéticas de unidades e de SAA;

- Verificar a funcionalidade do modelo desenvolvido na avaliação do desempenho hidroenergético de SAA em escala real;

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente tese está organizada em 7 capítulos, além das referências. No capítulo 1 é exposto, de forma sintetizada, o panorama hídrico e energético dos SAAs do Brasil e a necessidade de ferramentas de controle do desempenho hidroenergético, os objetivos, os procedimentos metodológicos e a presente estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica da pesquisa, tendo como propósito descrever os principais conceitos envolvidos com a temática do trabalho, por exemplo, a abordagem em relação à perda real de água nos sistemas de abastecimento; as citações e discussões sobre o consumo e as despesas com energia elétrica em SAAs; as limitações nos atuais modelos de controle do desempenho hidroenergético de SAAs, como o balanço hídrico da IWA, os indicadores de desempenho e as ferramentas computacionais; e a necessidade de controle hidroenergético em SAAs.

Ainda no capítulo 2, é abordada a temática de Sistemas de Informações Geográficas, sua arquitetura, tipos de representação e armazenamento de dados, além de exemplos de aplicação de SIG em SAAs, e apresentados os principais conceitos da metodologia e das ferramentas de desenvolvimento de aplicações utilizadas na elaboração do modelo, denominado Sistema de Informações Geográficas para o Desempenho hidroenergético de Abastecimento de Água (SIGHE2A).

O capítulo 3 consiste na metodologia utilizada na elaboração do modelo SIGHE2A. No capítulo 4 é apresentado o modelo desenvolvido, e no capítulo 5 apresentados os resultados de sua aplicação por meio do estudo de caso do SAA Bolonha. O capítulo 6 é constituído pelas conclusões, possibilidades de evolução do modelo e recomendações para trabalhos futuros. Após o último capítulo, são expostas as referências consultadas e utilizadas ao longo do texto.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No setor de saneamento são consumidos, aproximadamente, 7% do consumo total de energia no planeta (RECESA, 2008). Estudos de Ormsbee e Walki (1989), Reheis e Griffin (1984) e Little (1976) destacam que o percentual de energia elétrica utilizada nas unidades de bombeamento de água nos Estados Unidos é cerca de 90% do consumo total e energia nos SAAs americanos, que por sua vez, foi cerca de 7% do total consumido do país no setor.

Os gastos com energia elétrica nos SAAs brasileiros, no ano de 2013, foram a segunda maior Despesa de Exploração (DEX) em abastecimento de água, tendo totalizado R\$ 3.070,6 milhões (10,9%) (BRASIL, 2013).

Assim, ações prioritárias devem ser realizadas para o uso racional de água e de energia elétrica nos sistemas de saneamento, mais especificamente no SAA, sendo necessário atender as exigências em relação à qualidade dos serviços e uso racional de água e energia elétrica, conforme previsto na Lei 11.445/2007, que estabelece diretrizes para o saneamento básico e predispõe:

[...] a inclusão, no contrato de concessão ao titular dos serviços, das metas progressivas e graduais de expansão dos serviços, de qualidade, de eficiência e de uso racional da água, da energia e de outros recursos naturais, em conformidade com os serviços a serem prestados (BRASIL, 2007, p. 4).

Essas diretrizes são definidas pela lei com o objetivo de promover a melhoria nos serviços de saneamento básico por meio da universalização do atendimento e da qualidade da prestação de serviços, o que pode ser alcançado com planejamento e gestão eficiente. Essa Lei também tem como um dos princípios fundamentais a Eficiência e sustentabilidade econômico-financeira do SAA.

Para Alegre (2009), a eficiência é a medida de até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, ou seja, refere-se à relação entre os resultados obtidos e os recursos empregados. Já sustentabilidade, para Siche *et al.* (2007) é originada do latim “*sustentare*”, e significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Assim, sustentável é tudo aquilo que é capaz de ser suportado, mantido.

Dessa forma, para o alcance da eficiência e da sustentabilidade de SAAs é necessário planejamento e monitoramento das unidades do sistema de abastecimento, a

fim de evitar as elevadas perdas de água e, conseqüentemente, de energia elétrica na obtenção, processamento e distribuição de água.

Para um sistema ser eficiente e sustentável, Gloss (1991) observa ser preciso alcançar eficiência sob vários aspectos não excludentes, que podem ocorrer simultaneamente:

- a) relacionando o uso com a menor quantidade possível de água para satisfazê-lo;
- b) eficiência econômica aproveitando a água com os máximos benefícios econômicos;
- c) eficiência social que vise estender seus benefícios a maior parte de suas demandas na comunidade;
- d) eficiência ecológica que deve, antes de tudo, garantir a conservação dos recursos naturais;
- e) eficiência institucional que qualifica o funcionamento de uma instituição em relação a suas atribuições relacionadas com a água.

O Decreto N° 7.217, de 21 de junho de 2010 regulamenta a Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007 e ressalta a importância do uso racional de água e de energia elétrica, conforme transcrito abaixo:

Art. 3º Os serviços públicos de saneamento básico possuem natureza essencial e serão prestados com base nos seguintes princípios:
[...] V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais, não causem risco à saúde pública e promovam o uso racional da energia, conservação e racionalização do uso da água e dos demais recursos naturais; [...] (BRASIL, 2010c, p.3).

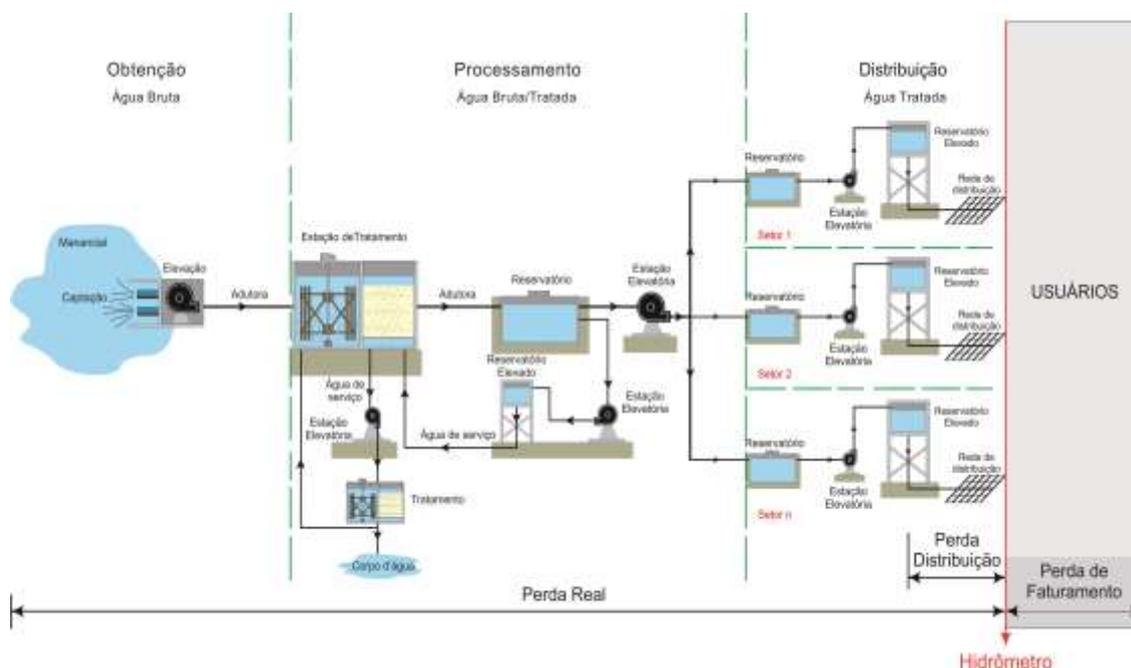
Os elevados volumes perdidos de água resultam em desperdício de energia elétrica, o que é diretamente relacionado com a sustentabilidade do abastecimento, e também com a conservação dos recursos naturais, uma vez que exerce forte pressão sobre o meio ambiente quando da necessidade de aumento do volume retirado dos mananciais. Por isso, o combate às perdas de água e energia elétrica deve ser encarado como um dos principais focos de ação de um programa de uso racional da água, promovendo a ecoeficiência no uso dos recursos naturais de forma a garantir o desenvolvimento sustentável.

A seguir são abordados temas referentes aos principais itens a serem controlados na promoção da sustentabilidade do sistema de abastecimento de água.

2.1 PERDA DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Pereira e Condurú (2014) observam que nos Sistemas de Abastecimento de água podem ocorrer perdas reais e perdas de faturamento. Para os autores, a perda real de água é a diferença entre o volume captado de água bruta e o volume de água utilizado pelos usuários, ou seja, corresponde ao volume que não chega ao consumidor. Já a perda por faturamento corresponde à diferença, em moeda corrente, dos valores faturados e arrecadados, sendo, portanto, o recurso monetário referente ao serviço prestado que não entra no caixa da empresa por falta de pagamento do consumidor. No Esquema 1 são representadas as perdas nas unidades de obtenção, processamento e distribuição de água.

Esquema 1 – Perdas nas unidades de obtenção, processamento e distribuição de água



Fonte: Pereira e Condurú (2014).

As perdas por vazamentos podem ocorrer na captação, na adução de água bruta, no tratamento, na reservação, na adução de água tratada e na distribuição. A lavagem de filtros e descargas na rede quando provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação, também são considerados vazamentos (BRASIL, 2006).

As perdas reais na captação podem ocorrer devido ao excesso de água utilizada na limpeza geral, incluindo o poço de sucção, sendo geralmente pequena e função das características hidráulicas do projeto e da qualidade da água bruta (BRASIL, 2004).

Já as perdas na adução de água acontecem geralmente devido a vazamentos e rompimentos nas tubulações das adutoras e subadutoras, e às descargas excessivas realizadas para facilitar reparos ou limpeza na tubulação. Essas perdas são as mais preocupantes, devido às condições das tubulações e do material utilizado; à idade da tubulação; à pressão, às atividades de manutenção preventiva etc., variam de acordo com o estado das tubulações, às pressões e à eficiência operacional e de manutenção preventiva, podendo se agravar em adutoras de grande extensão e/ou deterioradas (WERDINE, 2002).

As perdas na ETA são associadas ao excesso de volume de água utilizado na lavagem dos filtros, nos floculadores, nos decantadores e nas descargas de lodo; ou ainda, por vazamentos, devido a falhas (trincas) na estrutura de equipamentos e tubulações, na impermeabilização e na estanqueidade insuficiente de comportas. Essas perdas geralmente variam entre 2 a 10%, dependendo do estado das instalações e da eficiência operacional (BRASIL, 2004; WERDINE, 2002).

Devido à necessidade de lavagem dos equipamentos, não é possível eliminar totalmente as perdas no tratamento, mas é possível reduzi-la para a diminuição dos desperdícios (BRASIL, 2004).

Já as perdas nas unidades de reservação ocorrem principalmente por procedimentos operacionais, como na limpeza de reservatórios, ou em operações inadequadas, provocando extravasamentos, ou ainda, em deficiências estruturais da obra, com trincas ou falhas na impermeabilização, ou seja, as perdas em reservatórios podem variar de acordo com o estado das instalações e com a eficiência operacional. No caso de extravasamentos, é possível diminuir ou eliminar a ocorrência com o uso de alarmes ou controle automático de níveis de vazões (BRASIL, 2004).

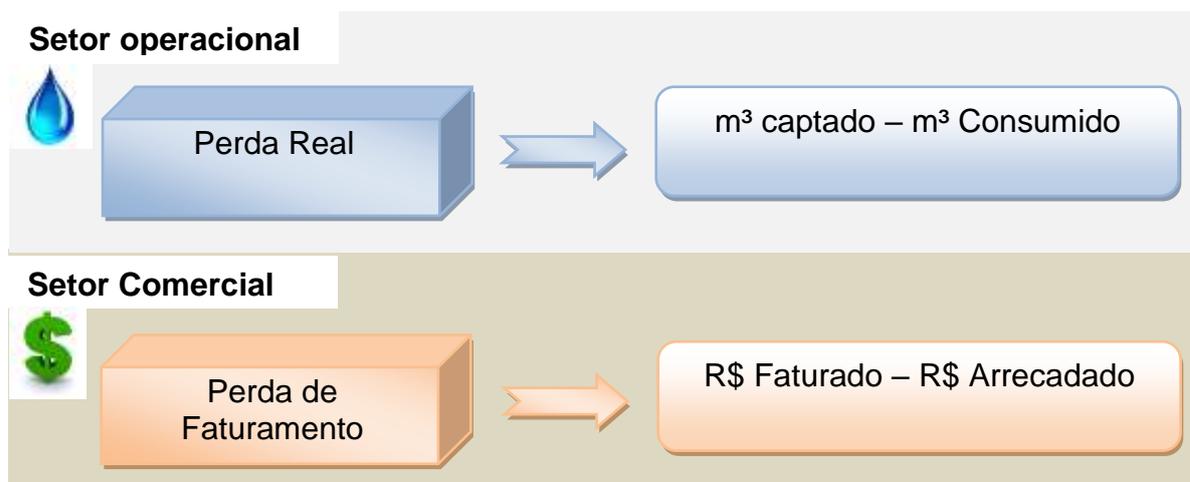
Werdine (2002) observa que as perdas na distribuição ocorrem por meio de vazamentos na rede de distribuição e em ramais prediais, além das perdas decorrentes das descargas realizadas para limpeza das tubulações. As perdas nessa unidade são as mais significativas de todo o sistema, e as ações corretivas são complexas e onerosas.

Não existem, na prática, redes totalmente estanques, sendo inevitável a ocorrência de fugas ou extravasamentos. Alegre (2009) destaca a importância de intervenção no caso de volumes de perdas reais elevados, ainda que o valor econômico da água perdida seja insuficiente para justificar essa ação, pois a ocorrência de perdas significa que a rede de distribuição não está em boas condições.

Por sua vez, as perdas de faturamento consistem nos volumes consumidos, mas não contabilizados pelo prestador do serviço. Esses volumes são decorrentes de fraudes, falhas de cadastro, falta de micromedidores, ligações clandestinas ou na imprecisão dos equipamentos dos sistemas de macromedição e micromedição, ocorrendo, principalmente, devido à falta de controle do cadastro comercial dos consumidores (HIRNER; LAMBERT, 2000).

No Esquema 2 são representadas as perdas reais e de faturamento em Sistema de abastecimento de água.

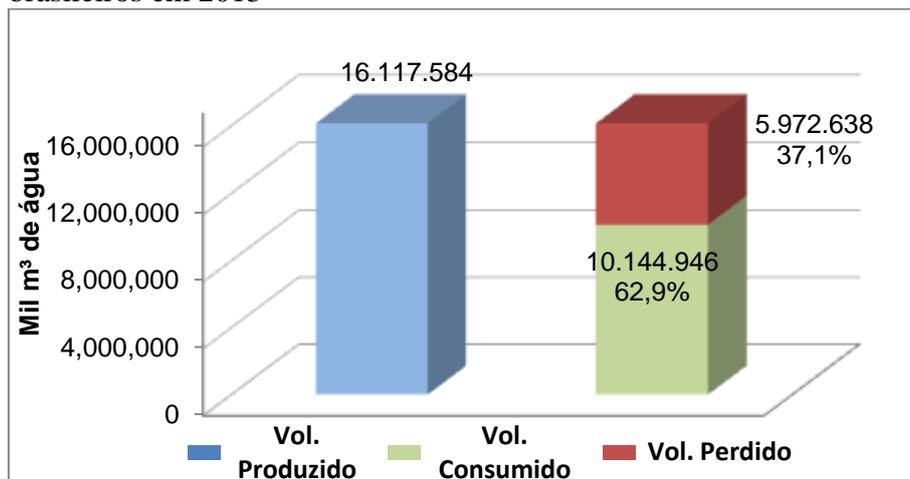
Esquema 2 – Perdas reais e de faturamento em Sistema de Abastecimento de Água



As perdas em sistemas de abastecimento são comuns em todos os SAAs, sendo uma das principais fontes de ineficiência das entidades gestoras de abastecimento de água (BRASIL, 2004). Para Tsutiya (2006), em cada fase do SAA há condições específicas que podem destacar um ou outro tipo de perda. Em tubulações de adutoras, por exemplo, quando são utilizadas adutoras de aço, é provável que as perdas físicas sejam insignificantes em relação às perdas de faturamento.

No Gráfico 1 são apresentados os volumes produzido, consumido e perdido de água nos sistemas de abastecimento de água do Brasil, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2013).

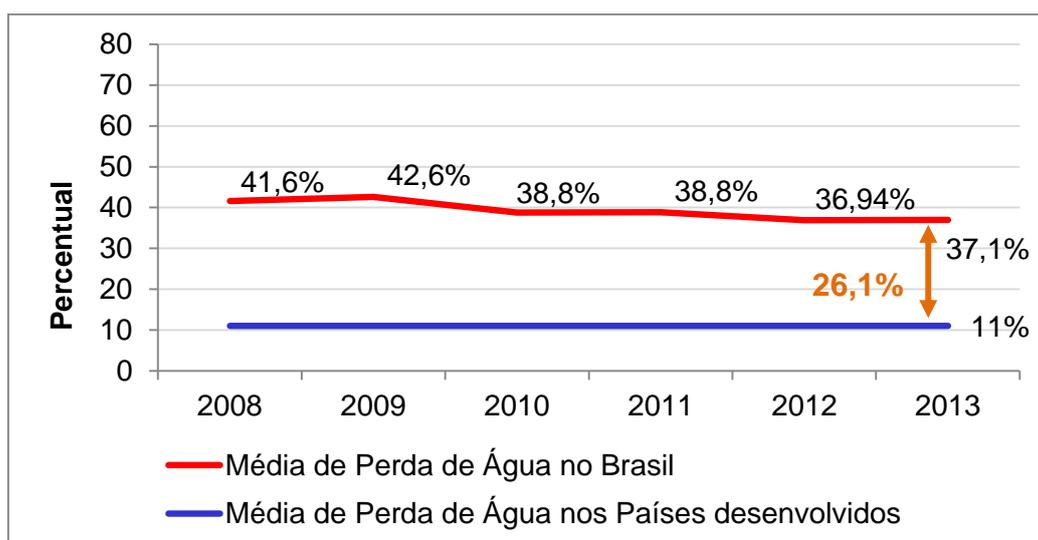
Gráfico 1 – Volume produzido, consumido e perdido de água nos SAAs brasileiros em 2013



Fonte: BRASIL (2013).

Segundo dados do SNIS, em 2013 foram produzidos 16.117.584 m³ de água nos SAAs brasileiros, sendo consumidos 10.144.946 m³ de água, cerca de 62% do volume total produzido no país (BRASIL, 2013). O percentual de perdas no Brasil variou de 41,6% a 36,94% nos anos 2008 a 2013, enquanto nos países desenvolvidos é em média 11%, segundo dados da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2013). Dessa forma, para que o Brasil possa alcançar o índice de perdas de países desenvolvidos, deve reduzir seus índices em torno de 26%, conforme mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Índice de perdas de água no Brasil e a média em países desenvolvidos



Fonte: BRASIL (2008;2009;2010;2011;2012;2013).

Para reverter esse quadro, é necessária a conscientização do problema, o conhecimento de técnicas e o envolvimento de todos os profissionais da concessionária

de saneamento. Por exemplo, no controle e na redução de perdas de água na adução é fundamental a realização de manutenção preventiva e a adoção de procedimentos operacionais e treinamento de pessoal para a realização de manobras adequadas (BRASIL, 2004).

Esse gerenciamento de perdas exige, antes de tudo, o seu conhecimento pleno, ou seja, identificar e quantificar corretamente as perdas constitui-se em condição essencial e indispensável para eficiência na implementação de ações de combate. Nesse contexto, recursos tecnológicos facilitam a identificação e possibilitam medições cada vez mais precisas dos volumes de água perdidos (HELLER; PÁDUA, 2006).

Para Gleick (2014), o conhecimento do volume de água consumido e da demanda necessária para o consumo pode facilitar o gerenciamento dos sistemas e o controle de perdas de água, melhorando o desempenho de SAAs e apoiando os esforços de planejamento recursos hídricos locais e estaduais. Esse conhecimento é fundamental para o controle de perdas e para a eficiência hidroenergética de companhias de saneamento, pois sistemas de abastecimento bem operados e gerenciados possuem baixos índices de perdas.

Dessa forma, o controle de perdas reais pode ser alcançado com o monitoramento dos volumes de água nas unidades de obtenção, processamento e distribuição de água, o que, segundo Cooley (2014), pode trazer benefícios à agricultura, ao consumo humano, à proteção da qualidade da água, os custos com energia elétrica e o aumento de lucros.

As perdas de água possuem relação direta com o consumo de energia elétrica, já que quanto maior o consumo de água, mais elevado é o consumo de energia elétrica nos sistemas de produção e distribuição de água.

2.2 CONSUMO E DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O elevado volume perdido de água e a conseqüente despesa com energia elétrica, aliados a outros problemas de gestão resultam na precária situação do

abastecimento de água potável no Brasil, o que demonstra a necessidade de controle mais abrangente do desempenho hidroenergético dos SAAs.

Essa situação é demonstrada na Tabela 1, onde são apresentados os valores médios de consumo de água e as perdas na distribuição, que são as mais representativas de todo o sistema de abastecimento, além dos consumos e despesas com energia elétrica e as tarifas praticadas nos SAAs das regiões brasileiras.

Tabela 1 – Consumo e perdas de água e energia elétrica e despesas com energia elétrica em SAAs

| REGIÃO | CONSUMO DE ÁGUA | PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO | CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SAA (KWh/m ³) | TARIFA MÉDIA DE ENERGIA COM TRIBUTOS (R\$) | DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA |
|----------------|-----------------|------------------------|--|--|-------------------------------|
| Norte | 49,22% | 50,78% | 0,65 | 356,30 | 14,39% |
| Nordeste | 54,97% | 45,03% | 0,77 | 342,10 | 12,06% |
| Sudeste | 66,65% | 33,35% | 0,64 | 350,13 | 11,00% |
| Sul | 64,94% | 35,06% | 0,67 | 325,98 | 9,23% |
| Centro-Oeste | 66,60% | 33,40% | 0,77 | 357,50 | 9,58% |
| Total Nacional | 63,05% | 36,95% | 0,68 | 344,89 | 10,86% |

Fonte: BRASIL (2013; 2015).

Para Pereira e Condurú (2014), a determinação da energia agregada é essencial para a quantificação da energia elétrica desperdiçada no volume perdido de água no SAA, ou seja, a energia elétrica utilizada na produção de 1 m³ de água perdido na rede de distribuição é correspondente à energia consumida em todas as unidades à montante no SAA.

Barry (2007) observa que os sistemas de bombeamento representam a maior parcela de consumo e de despesas com energia elétrica dos SAAs, que segundo o SNIS, no ano de 2013, foi em média a 10,9% do total das despesas com exploração de água, sendo necessário cerca de 0,6 KWh, com custo de R\$ 0.16, para cada metro cúbico de água produzido (BRASIL, 2013; GIUSTOLISI *et al.*, 2012), o que mostra que

eficiência hidráulica e a eficiência energética são fundamentais para o bom desempenho de sistemas de abastecimento de água.

Dados do SNIS demonstram a situação do Brasil em relação ao consumo de energia elétrica nos SAAs, com 11.076,565 GWh, no ano de 2013, e despesa referente a esse consumo de R\$ 3.070.647.501,18, sendo o índice de consumo de energia elétrica de 0,68 (BRASIL, 2013).

Para reduzir o elevado consumo de energia elétrica em SAAs, Tsutiya (2001) destaca a necessidade da prática de algumas ações, como o diagnóstico do SAA existente, com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia; monitoramento do sistema, possibilitando a manutenção preventiva das instalações e equipamentos, e ações administrativas, objetivando o uso racional da água e da energia elétrica.

Para isso, é importante que seja determinado o consumo mínimo de energia necessária para o funcionamento das unidades, o que é essencial para a identificação do consumo excessivo de energia e para o combate às perdas.

2.2.1 Energia Mínima Teórica necessária no SAA

A energia mínima teórica necessária para o funcionamento das unidades do SAA e para o abastecimento de água em todos os pontos de consumo pode ser obtida por meio da equação da Potência de escoamento (Equação 1), conforme Azevedo Netto (1998), o que permite a determinação e a comparação com a energia efetivamente consumida, possibilitando a identificação da energia desperdiçada em cada unidade do sistema de abastecimento.

$$Pe_{min} = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Pe_{min} = Potência mínima do escoamento (W);

γ = peso volumétrico da água (9800 N/m³);

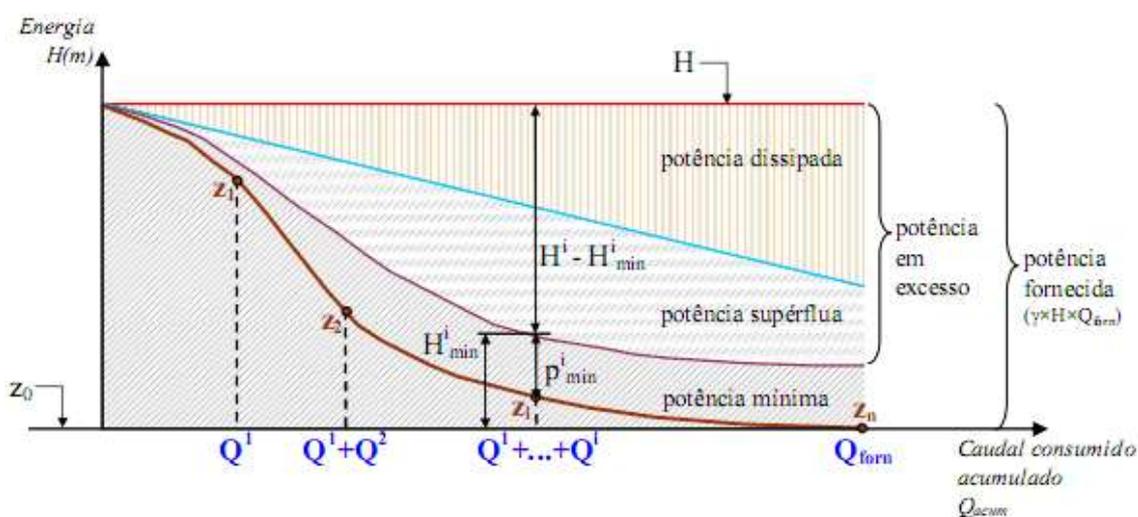
Q = vazão escoada (m³ /s);

H = carga hidráulica na seção em relação a um dado referencial (m.c.a).

Os vários tipos de potência de escoamento em um SAA são destacadas por Duarte *et al.* (2008) e representadas no Gráfico 3.

- Potência fornecida, que quantifica toda a potência efetivamente fornecida ao sistema no instante em análise (nas diversas origens), medida em relação à cota de referência adotada;
- Potência mínima (teórica), que resulta da soma das potências necessárias em todos os pontos de consumo para satisfazer as respectivas pressões mínimas ($p_{i_{min}}$), medidas em relação à cota de referência adotada;
- Potência em excesso (teórica), que corresponde à diferença entre a potência fornecida e a potência mínima;
- Potência dissipada, que quantifica a potência dissipada no escoamento (ou seja, nas perdas de carga);
- Potência disponível, que é dada pela diferença entre a potência fornecida e a potência dissipada;
- Potência supérflua, que corresponde à potência fornecida ao sistema além da soma da potência mínima com a potência dissipada.

Gráfico 3—Representação dos vários tipos de potência em um SAA



Fonte: Duarte *et al.* (2008).

A energia mínima teórica necessária para o SAA é dada pelo produto da Potência mínima teórica com o Tempo, de acordo com a Equação 2.

$$E_{min} = P_{min} \cdot T \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

E_{min} = Energia mínima Teórica (Wh);

P_{min} = Potência mínima do escoamento (W);

T = Tempo de consumo.

Para Vicentin (2014), a promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Com isso, para o gerenciamento hidroenergético adequado do SAA por meio da eficiência energética, é fundamental a determinação do consumo mínimo necessário e, conseqüentemente, das perdas de energia nas unidades do sistema de abastecimento.

2.3 LIMITAÇÕES NO CONTROLE DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para promover a sustentabilidade do SAA, por meio do uso racional da água e da energia elétrica utilizada para captar, tratar, bombear e disponibilizar água à população é necessário o controle do desempenho de todas as suas unidades, ou seja, o monitoramento do volume de água na entrada e na saída do SAA, além das informações comerciais e de demais despesas de exploração.

Para Alegre (2009), o bom funcionamento de qualquer SAA pressupõe que os consumidores tenham continuamente à sua disposição, água com qualidade, em quantidade suficiente, à pressão adequada e com o menor custo possível. Para isso, é necessário que a infraestrutura existente seja adequada, que os recursos naturais disponíveis sejam racionalmente utilizados e que este conjunto seja gerido com eficácia e sustentabilidade.

Porém, atualmente, os prestadores de serviço de abastecimento de água dispõem de poucas ferramentas para o controle do desempenho hidroenergético de SAAs. Em algumas empresas são utilizados os:

- a) balanço hídrico proposto pela *International Water Association* (IWA)¹,
- b) indicadores e índices de desempenho e;
- c) ferramentas computacionais.

A seguir são comentadas as principais formas de controle de parâmetros hidroenergéticos em prestadores de serviços de abastecimento de água.

2.3.1 Balanço Hídrico da IWA

Os elevados índices de perdas físicas em SAAs e os diferentes processos de avaliação de perdas em cada sistema de abastecimento motivaram o estudo de alternativas de controle e redução de perdas. Com isso, a IWA, com a intenção de padronizar o entendimento dos componentes dos usos da água em um sistema de abastecimento, desenvolveu o Método do Balanço Hídrico (TSUTIYA, 2006), onde são inseridas e contabilizadas as perdas reais ou físicas e as perdas de faturamento ou aparentes. Atualmente, esse método é o mais utilizado para gerenciamento de perdas de água.

Segundo Hirner e Lambert (2000), o referido método é utilizado para determinação das perdas reais e aparentes, com base nos valores de macromedição e de micromedição.

A perda real se refere ao volume perdido de água que não chega ao consumidor, já a perda aparente, segundo Lambert (2001), consiste nos volumes consumidos, mas não contabilizados e não autorizados, decorrentes de fraudes do consumidor, falhas de cadastro, ligações clandestinas, ou na imprecisão dos equipamentos dos sistemas de macromedição e micromedição.

¹A IWA é uma rede global que conta com mais de dez mil profissionais de SAA, visando a contínua relação entre pesquisa e prática e que abrange todos os aspectos do ciclo da água.

O balanço hídrico é a relação entre os volumes de entrada, consumido e as perdas em determinado limite do SAA. Para Tsutiya (2006), o balanço hídrico de um SAA é uma forma de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema e seus valores absolutos e relativos.

Portanto, o balanço hídrico da IWA é uma ferramenta utilizada para estimar o volume de água que não atinge os consumidores finais, e pode ser um instrumento eficaz na avaliação das perdas reais de água. Porém, requer medições ou estimativas criteriosas em cada ponto de controle definido no sistema.

No Quadro 1 é apresentado o balanço hídrico proposto pela IWA para controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.

Quadro 1 – Balanço Hídrico proposto pela IWA

| | | | | |
|---|--------------------|---------------------------------|---|---------------------|
| 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 (macro e micromedição) | |
| | | Perdas reais | Vazamentos nas adutoras de água bruta e nas estações de tratamento de | |
| | | | Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição | |
| | | | Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro | |
| | | | Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de | |

Fonte: IWA (apud Hirner e Lambert, 2000).

O cálculo do balanço hídrico demanda dados de volumes de água em cada ponto de controle, ou seja, a medição da água captada, produzida, aduzida e armazenada

(incluindo os importados e exportados) e entradas ou saídas em cada setor de distribuição ou zona de medição. Assim, é possível verificar perdas nas unidades dos SAAs como vazamentos, rupturas de tubulações e extravasamentos nos reservatórios.

Porém, o método do balanço hídrico proposto pela IWA possui limitações e alguns equívocos, pois de acordo com Pereira e Condurú (2014), no referido método, o termo perda aparente é adotado de forma equivocada, sendo incluída como uma das perdas de água não faturada, e chamada de perdas comerciais.

Segundo os autores, o conceito de perda aparente tem sido confundido com o de perda de faturamento, que corresponde à diferença entre o valor faturado e o arrecadado. Para Gomes e Jerolimski (2008), perda aparente é o volume de água distribuída para os usuários, mas não contabilizado devido à submedição e fraudes, sem considerar o valor não pago pelo consumo da água, sendo possível entender essa perda aparente como perda real de água na unidade de distribuição, razão para não ser confundida com a perda de faturamento, que é a diferença entre os valores faturados e os arrecadados.

Além disso, são observadas outras limitações no método do balanço hídrico da IWA, como a avaliação do desempenho do SAA por meio de medição de consumos e de perdas, como os volumes de água de uso não autorizado e de erros de medição, que não podem ser determinados com exatidão, mas sim estimados, não permitindo a visualização da real situação do sistema.

A quantificação de perdas por vazamentos nas adutoras de água bruta, nas Estações de Tratamento de Água, em redes de distribuição, em ramais prediais e reservatórios de distribuição são itens do método que são passíveis apenas de estimativas, dada a dificuldade de obtenção desses dados e a alta probabilidade de erros na avaliação do desempenho. Além disso, o método do balanço hídrico avalia o desempenho do sistema como um todo, não permitindo a inserção de dados por unidade do SAA, o que impossibilita a avaliação pontual e a detecção de problemas nas unidades do sistema.

No contexto desse trabalho, uma das limitações importantes é a falta de parâmetros energéticos no modelo como, consumo e despesas com energia elétrica nas unidades do SAA, principalmente nas unidades de bombeamento de água, permitindo apenas a avaliação parcial do desempenho do sistema. Esses parâmetros não foram

incluídos no modelo da IWA, pois não permitem a comparação da eficiência energética entre sistemas diferentes, limitando-se a comparações de cenários para um único sistema, ou a comparar eficiências médias normalizadas de equipamentos de bombeamento. No entanto, são úteis e aplicáveis neste contexto do desempenho hidroenergético de SAAs (Moura, 2010).

Outro ponto é a falta de espacialização dos dados e informações hidroenergéticas das unidades do SAA, o que dificulta a visualização e o entendimento do elevado número de dados necessários para a avaliação do desempenho do sistema.

2.3.2 Indicadores e Índices de Desempenho

Os termos indicadores e índices de desempenho são, muitas vezes, confundidos e utilizados como sinônimos. Porém, para Mueller *et al.* (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, já um índice é descrito por Shields *et al.* (2002), como um valor agregado final de todo um procedimento de cálculo que revela o estado de um sistema ou fenômeno, podendo utilizar, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem (SICHE *et al.*, 2007). Nesse contexto, é possível afirmar que todo índice é um indicador, porém, nem todo indicador é um índice.

No caso do desempenho de SAAs, geralmente são utilizados dados primários para a construção de índices de desempenho dos sistemas de abastecimento, conforme representado na Figura 1, de modo a traduzir os aspectos mais relevantes do desempenho operacional e econômico-financeiro de uma concessionária de saneamento, simplificando sua análise. Pena e Abicalil (1999) observam a característica de avaliação do desempenho do SAA ao longo do tempo por meio de índices de desempenho, possibilitando a comparação com outras organizações do setor.

Figura 1 – Pirâmide de agregação de dados para construção de índices de desempenho de SAAs



Para Alegre (2009), os índices de desempenho são medidas da eficiência e da eficácia das entidades gestoras. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, e a eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos.

A principal característica dos índices é a sua capacidade de quantificar e simplificar a informação. Um bom indicador é aquele que tem a capacidade de medir, avaliar e expressar, com fidelidade, os fenômenos ao qual se refere, entretanto sua relevância consiste na sua confiabilidade, tempo de resposta ao estímulo, integridade, estabilidade, solidez, relação com as prioridades do planejamento, utilidade para o usuário, eficiência e eficácia (SANTOS, 2004 apud SANTOS, 2009).

O Ministério das Cidades por meio do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), no seu Documento Técnico de Apoio (DTA) A2 estabelece diretrizes para o levantamento de dados e construção de indicadores de perdas nos SAAs, onde é proposta a utilização de índices de desempenho por SAA e por unidade do sistema de abastecimento. Porém, os índices propostos pelo PNCDA não levam em consideração o desempenho energético do sistema, utilizando somente parâmetros de perda real e de faturamento.

Além disso, os documentos do PNCDA apenas apresentam a proposta de índices, não sendo aplicados em nenhum SAA, ou seja, não existe banco de dados contendo os indicadores calculados para determinado sistema de abastecimento, como no caso do banco de dados do SNIS, que é o maior do setor de saneamento brasileiro.

O SNIS é administrado desde a sua criação no âmbito do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS) e apresenta dados da prestação dos serviços sob os aspectos institucional, administrativo, econômico-financeiro, técnico-operacional e da qualidade. No SNIS são coletadas informações primárias dos SAAs de prestadores de serviços de saneamento do Brasil, e com base nesses dados, o próprio Sistema calcula os índices de desempenho dos SAAs (BRASIL, 2009).

Assim, os Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos do SNIS disponibilizam os dados primários, as informações e os índices de desempenho referentes aos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário de todo o país, além da análise de alguns aspectos importantes da prestação dos serviços, segundo a amostra de prestadores de serviços que respondeu ao SNIS, no caso, as companhias estaduais, autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, as próprias Prefeituras (BRASIL, 2013).

Os índices do SNIS são agrupados em cinco grandes grupos: Índices econômico-financeiros e administrativos, Índices Operacionais do abastecimento de água, Índices Operacionais do esgotamento Sanitário, Índices sobre qualidade e Indicadores de balanço contábil. Destes, apenas três são diretamente relacionados com energia elétrica:

- a) índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água;
- b) índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário;
- c) índice de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgotos.

Condurú e Pereira (2010) observam que a metodologia de trabalho do SNIS abrange as fases de coleta (busca de informações primárias que são analisadas e transformadas em indicadores), tratamento (processo de análise e correção de erros; cálculo dos indicadores; composição de tabelas de trabalho), organização e armazenamento (apresentados em tabelas, no glossário e em listas dos indicadores calculados e expressões de cálculo) e recuperação e divulgação dos dados registrados na base desse sistema (impressos, CD-ROM e Internet).

A atualização do banco de dados do SNIS é realizada anualmente, com informações de amostra de prestadores de serviços do país, para os serviços de água e esgotos, e com informações de amostra de municípios, para os serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos. A fase de coleta de dados ocorre, geralmente, entre os meses de maio a julho de cada ano (COLETA..., 2013). Esses dados são fornecidos voluntariamente pelos prestadores de serviços e municípios convidados a participar do sistema.

Em estudos de Condurú e Pereira (2010) foi analisada a representatividade dos dados e informações referentes ao consumo de água e de energia elétrica disponibilizados pelo SNIS, onde foi observada a insuficiência de informações para análise de desempenho hidroenergético nos SAAs, sendo as informações hidroenergéticas primárias subdivididas em dois grupos, as diretas e as indiretas. Como diretas são considerados: a) o consumo total de energia elétrica nos sistemas de água; b) as despesas com energia elétrica; c) as despesas de exploração. As informações indiretas são as despesas totais com os serviços, as despesas fiscais ou tributárias computadas na DEX, outras despesas de exploração e outras despesas com os serviços trazem embutidas informações de energia elétrica.

Dessa forma, os Índices utilizados no SNIS são limitados como instrumentos para avaliação do desempenho hidroenergético de SAAs, devido a fatores que dificultam a análise do desempenho e a detecção e correção de problemas nas unidades do sistema, que são:

- a) grande número de indicadores existentes, dificultando a organização e a síntese de indicadores realmente relevantes para o controle de SAAs;
- b) falta de confiabilidade nos dados disponibilizados pelas companhias de saneamento, já que não são realizadas auditorias para confirmação dos dados;
- c) falta de detalhamento na categoria de indicadores energéticos;
- d) insuficiência de informações em sua totalidade, o que ocorre pela falta de repasse das informações ou pela inexistência de dados;

- e) falta de desagregação dos dados por sistema e por unidade de abastecimento de água, já que são organizados e divulgados utilizando uma visão municipal ou por concessionária;
- f) visualização tabular dos dados, sendo armazenados em banco de dados, impossibilitando o usuário ou gestor a ter uma visualização espacial do desempenho hidroenergético do sistema de abastecimento.

Portanto, nenhum dos modelos ou propostas de indicadores de desempenho satisfaz a necessidade da agregação e da visualização espacial de informações hidroenergéticas das unidades de SAAs, o que permitiria a visão geral e pontual dos sistemas, facilitando a manutenção preventiva e corretiva das instalações e a tomada de decisão.

2.3.3 Ferramentas computacionais

As ferramentas mais utilizadas nas empresas prestadoras dos serviços de abastecimento de água, para o controle do desempenho dos SAAs, são os pacotes da *Microsoft Office (Excel ou Access)*, onde são armazenados os dados gerais, operacionais, comerciais e financeiros do sistema. O *Microsoft Excel* utiliza planilhas eletrônicas para realização de cálculos ou apresentação de dados, onde cada tabela é formada por uma grade composta de linhas e colunas. O Excel é uma ferramenta limitada para armazenamento e sistematização de dados e não é considerado banco de dados.

Já o *Microsoft Access* é um banco de dados para uso em micros desktops e não em servidores. Esta é a principal diferença dele para os demais bancos Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), como o Oracle, SQL Server e MySQL, por exemplo. Contudo, ele tem sido muito usado em pequenas e médias empresas para armazenamento de dados em pequenas quantidades e permite o desenvolvimento rápido de aplicações que envolvem tanto a modelagem e estrutura de dados como também a interface a ser utilizada pelos usuários, por meio da linguagem de programação *Microsoft Visual Basic for Applications*. Para Siebra (2010) essa ferramenta não é

considerada um SGBD completo, por não possuir todas as características de um, como Atomicidade (alteração integral e simultânea no banco de dados por diferentes usuários), Consistência (a execução de uma transação deve levar ao banco de dados de um estado consistente a outro também consistente, não violando a integridade do banco de dados), Isolamento (Uma transação não deve tornar suas atualizações visíveis a outras transações antes do seu fim) e Durabilidade (Após o termino de uma transação, suas atualizações não podem ser perdidas por causa de falhas futuras).

Essas ferramentas permitem o relacionamento entre as variáveis para a geração de indicadores e construção de gráficos, facilitando a visualização numérica do desempenho do sistema.

Na Figura 2 é exemplificada a janela de visualização do *software Excel*, contendo o banco de dados do Relatório de Informações Gerenciais da COSANPA, para o município de Belém, no ano 2012.

Figura 2 – Visualização da janela de desenvolvimento do *Software Excel* da *Microsoft*

| Companhia de Saneamento do Pará | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| RELATÓRIO DE INFORMAÇÕES GERENCIAIS - RIG 2012 | | | | | | | | | | | |
| BELÉM - Mosquito | | | | | | | | | | | |
| | jan-12 | fev-12 | mar-12 | abr-12 | mai-12 | jun-12 | jul-12 | ago-12 | set-12 | out-12 | |
| INFORMAÇÕES OPERACIONAIS | | | | | | | | | | | |
| 16 | 7.302.094 | 7.239.243 | 7.819.171 | 7.024.242 | 6.938.573 | 7.110.074 | 7.311.670 | 7.067.227 | 7.040.420 | 7.062.871 | |
| 17 | 7.220.426 | 7.081.450 | 6.964.473 | 6.879.411 | 6.716.870 | 6.362.971 | 6.946.352 | 6.562.673 | 6.886.235 | 6.907.385 | |
| 18 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | 1090,06 | |
| 19 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | 234,20 | |
| INFORMAÇÕES COMERCIAIS | | | | | | | | | | | |
| 20 | 8.341.636 | 8.306.223 | 8.752.338 | 8.245.547 | 8.388.823 | 8.039.331 | 8.852.000 | 8.626.212 | 8.221.328 | 8.163.366 | |
| 21 | 8.233.201 | 8.245.415 | 8.111.440 | 8.207.897 | 8.233.232 | 8.215.659 | 8.222.210 | 8.231.238 | 8.231.728 | 8.245.395 | |
| 22 | 1.052.643 | 1.060.808 | 1.056.893 | 1.037.650 | 1.065.594 | 1.023.672 | 1.115.419 | 1.119.655 | 1.000.600 | 1.058.970 | |
| 23 | 7.543.921 | 7.549.204 | 6.994.547 | 7.170.147 | 7.247.563 | 7.191.987 | 7.106.791 | 7.506.557 | 7.231.028 | 7.106.966 | |
| 24 | 4.895.441 | 4.716.780 | 4.782.201 | 4.620.245 | 4.730.143 | 4.720.028 | 4.655.024 | 4.720.071 | 4.718.415 | 4.590.636 | |
| 25 | 4.718.141 | 4.712.452 | 4.710.908 | 4.711.430 | 4.711.102 | 4.710.670 | 4.710.202 | 4.710.195 | 4.710.108 | 4.710.102 | |
| 26 | 687.238 | 666.218 | 664.211 | 664.165 | 664.961 | 664.352 | 664.511 | 664.508 | 664.508 | 664.508 | |
| 27 | 3.112.441 | 3.113.231 | 3.102.391 | 3.114.034 | 3.115.235 | 3.106.388 | 3.105.650 | 3.105.223 | 3.100.211 | 3.112.110 | |
| INFORMAÇÕES FINANCEIRAS | | | | | | | | | | | |
| 28 | 4.847.714 | 5.543.723 | 4.756.765 | 4.670.363 | 4.888.563 | 5.524.046 | 4.443.620 | 4.415.246 | 5.077.626 | 5.143.861 | |
| 29 | 2.022.002 | 1.609.522 | 1.831.876 | 1.831.664 | 1.841.443 | 1.734.350 | 1.966.526 | 2.034.505 | 2.261.562 | 2.044.362 | |
| 30 | 791.150 | 688.567 | 103.335 | 716.454 | 760.021 | 660.642 | 683.507 | 705.964 | 620.496 | 661.576 | |
| 31 | 1.470.417 | 1.960.144 | 1.639.202 | 1.620.812 | 1.712.362 | 1.693.395 | 1.636.363 | 1.674.600 | 1.975.347 | 1.702.607 | |
| 32 | 436.152 | 1.449.418 | 152.967 | 325.860 | 763.971 | 1.449.538 | 424.529 | 844.818 | 761.808 | 1.450.027 | |
| 33 | 38.190 | 23.838 | 23.210 | 18.121 | 27.819 | 4.300 | 16.154 | 20.192 | 12.390 | 15.001 | |
| 34 | - | - | - | 12.212 | 12.212 | - | 20.817 | 31.31 | 181.430 | 3.313 | |
| 35 | 1.444.234 | 1.761.104 | 1.444.234 | 1.444.234 | 1.444.234 | 1.444.234 | 1.444.234 | 1.444.234 | 1.444.234 | 1.444.234 | |
| 36 | 71.845 | 64.170 | 75.470 | 68.225 | 74.905 | 81.882 | 92.525 | 77.875 | 73.270 | 71.725 | |
| 37 | 6.262.506 | 6.185.624 | 6.427.036 | 7.064.954 | 6.927.222 | 6.941.200 | 6.962.922 | 6.743.420 | 6.667.677 | 6.667.677 | |

Fonte: COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (2012).

Os softwares *Microsoft Excel* e *Access* possibilitam o registro e a sistematização dos dados hidroenergéticos das unidades do SAA, permitindo a construção de gráficos para visualização da situação, com base nos dados primários e em indicadores de desempenho. Porém, assim como o EPANET, não possui módulo

para espacialização e georreferenciamento dos dados hidroenergéticos do SAA, dificultando o controle espacial do desempenho do sistema.

2.4 NECESSIDADE DE CONTROLE HIDROENERGÉTICO DO SAA

A dificuldade para o controle do desempenho hidroenergético em SAA pode acarretar diversas consequências, desde problemas econômico-financeiros na empresa de saneamento até a racionalização da água. Um exemplo disso pode ser observado no Estado de São Paulo, que enfrenta grave crise hídrica nos anos 2014 e 2015, com redução do volume útil de água e a utilização do volume morto de água dos mananciais, o que, naturalmente, resulta em menor fornecimento de água para a população.

A busca por modelo para avaliação do desempenho e do gerenciamento de dados hidroenergéticos de SAAs que satisfaça o conceito de eficiência no uso racional de água e de energia elétrica é imprescindível, já que é necessária a atuação direta no controle de perdas, no consumo e nas despesas com energia elétrica em cada unidade do sistema, de modo a associar cada indicador às suas unidades específicas, promovendo, sobretudo, a conservação do recurso natural Água.

Avaliando os modelos de controle de desempenho existentes, como o balanço hídrico da IWA, os indicadores de desempenho e os *softwares* como o Excel e o Access da *Microsoft*, é possível perceber a dificuldade na visualização do grande número de dados e informações hidroenergéticas de SAAs, na forma de indicadores em bancos de dados, já que essa visualização se dá de maneira não espacial, o que prejudica a análise e a tomada de decisão estratégica.

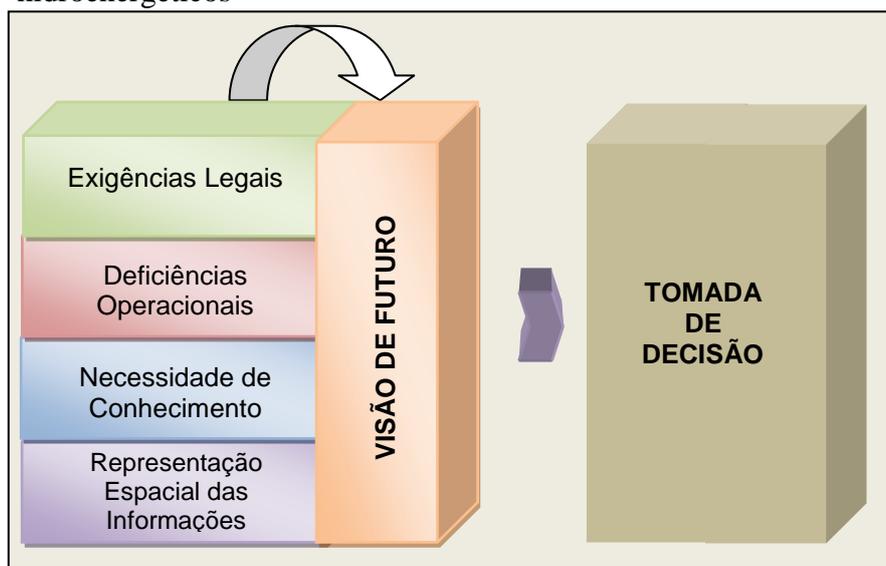
A falta de controle operacional nos SAAs dificulta o conhecimento do volume perdido e o controle do sistema, fazendo-se necessária a implantação de um sistema para gerenciamento do SAA, no qual seja possível a espacialização e a visualização dos dados tabulares e cartográficos.

Além disso, o cumprimento das exigências legais impostas pela lei 11.445/2007 depende de informações confiáveis para promover a sustentabilidade e o alcance do uso racional da água e da energia elétrica nos sistemas de abastecimento, o que pode ser obtido com o auxílio de ferramentas para representação espacial dessas

informações, facilitando a tomada de decisão na gestão de SAAs. Assim, a utilização de modelo de SIG para gerenciamento de dados hidroenergéticos de SAAs, com base na espacialização de indicadores pode ser essencial para o controle eficiente do desempenho do sistema.

O Esquema 3 ilustra a visão proposta para o novo modelo de organização e monitoramento de dados hidroenergéticos em SAA.

Esquema 3 – Visão proposta para organização espacial dos dados hidroenergéticos



2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Para Casanova *et al.* (2005), o termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado à sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações, não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também por meio de sua localização espacial.

O SIG é uma ferramenta de geoprocessamento que opera por meio de elementos gráficos, como: mapas, tabelas e imagens digitais. As ferramentas de visualização de dados em SIG possibilitam ao usuário a percepção de padrões e relações em grandes quantidades de dados, o que seria difícil de discernir caso esses dados fossem apresentados como listas de texto tradicionais, utilizando apenas os *softwares* de planilha eletrônica, por exemplo.

Os SIGs constituem uma categoria especial de Sistemas de Informação, que, aliado à ferramenta de visualização de dados, permite a análise e exibição dos dados e geração de novas informações na forma de mapas, sendo composto por hardware, *software*, métodos, dados e pessoal qualificado para utilização do sistema. Em geral, o SIG possui recurso de modelagem, permitindo a alteração de dados e a revisão de cenários na busca de melhores soluções.

O *software* é apenas um elemento que compõe o SIG, e pode reunir, armazenar, manipular e exibir informações geograficamente, amarrando dados com pontos, linhas, áreas de um mapa. Dessa forma, o SIG pode ser usado em apoio a decisões que requerem conhecimento sobre a distribuição geográfica de pessoas ou de outros recursos. O SIG pode ser utilizado, por exemplo, para o cálculo dos tempos de reações em situações de emergência, como desastres naturais, concessionárias de saneamento, instituições de pesquisa, dentre outros.

Alguns autores conceituam o SIG como:

“qualquer conjunto de procedimentos manuais ou baseados em computador, destinados a armazenar e manipular dados referenciados geograficamente” (ARONOFF,1989).

“um sistema de informações baseado em computador, que permite a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados georreferenciados” (WORBOYS, 2005).

"um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos” (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988);

“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (Smith *et al.*, 1987).

Desde sua origem até os dias atuais, os SIGs sofreram alterações, dividindo-os em três gerações, conforme descrito por Câmara (1995):

- **A Primeira geração**

Chamada de CAD cartográfico, a primeira geração de SIGs é caracterizada por sistemas oriundos da Cartografia, com suporte limitado de bancos de dados e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa. Desenvolvidos a partir do início da década de 80 para ambientes da classe VAX e, a partir de 1985, para sistemas PC/DOS. Utilizada principalmente em projetos isolados, sem a preocupação de gerar arquivos digitais de dados.

Na maioria das organizações, a utilização dos SIGs da primeira geração se dá como ferramentas para produção de mapeamento básico. Dada a carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais no Brasil, esta maneira de utilizar a tecnologia de Geoprocessamento já representa uma valiosa contribuição.

- **Segunda geração**

A Segunda geração é caracterizada por sistemas concebidos para operar como Bancos de dados geográficos, entendido como um banco de dados não convencional, no qual os dados tratados possuem, além de atributos descritivos, uma representação geométrica no espaço geográfico.

Essa geração foi idealizada para uso em ambiente cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens. Chegou ao mercado no início da década de 90. Com interfaces baseadas em janelas, esta geração também pode ser vista como sistemas para suporte a instituições ("*enterprise-oriented GIS*"). A segunda geração de SIG ainda está em desenvolvimento, com novos produtos sendo projetados e lançados.

- **Terceira geração**

A Terceira geração, criada a partir da década de 90, foi desenvolvida a partir de centros de dados geográficos, para o gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso por meio de intranet e/ou internet. O crescimento dos bancos de dados espaciais e a necessidade de seu compartilhamento com outras instituições e com a sociedade requerem o uso de tecnologias como bancos de dados distribuídos e

federativos. Estes sistemas seguem os requisitos de interoperabilidade, de maneira a permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos.

Figura 3 – Evolução da Tecnologia SIG



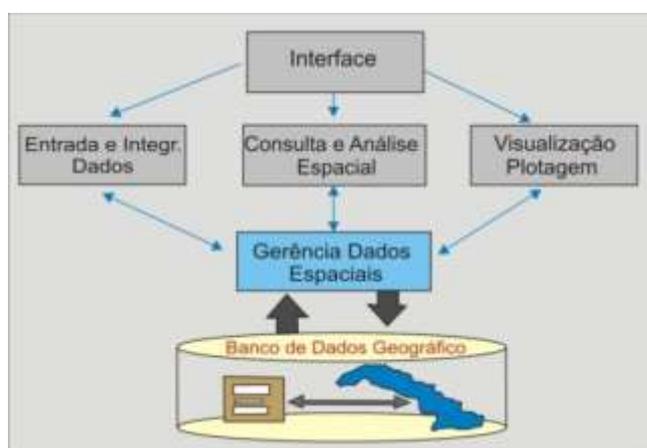
Fonte: Adaptado de CÂMARA (1995).

2.5.1 Arquitetura de SIG

Nos *softwares* de SIG é possível armazenar grandes quantidades de dados e torná-los disponíveis para operações de consulta e análise. Os SIGs fornecem importantes ferramentas que podem ser utilizadas na abordagem de assuntos geográficos e ambientais. Essas ferramentas permitem a organização de dados sobre um determinado espaço, como um conjunto temas (camadas), cada um deles exibindo uma informação a respeito de uma característica da região (ROSA, 2004).

O Esquema 4 apresenta o relacionamento entre os principais componentes de um SIG. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades implementa estes componentes de forma distinta.

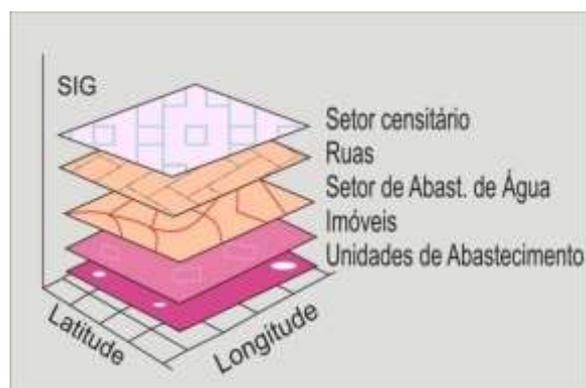
Esquema 4 – Estrutura geral de SIG



Fonte: Adaptado de CASANOVA *et al.* (2005).

Para gerar novas informações, o SIG organiza e trata os dados espaciais e de atributos em *layers* (camadas), sendo cada camada relacionada a um ou mais objetos no espaço, e cada camada é vinculada a um banco de dados georreferenciado. No Esquema 5 é exemplificado um conjunto de *layers* ou camadas utilizadas no planejamento de transporte urbano. Cada um dos mapas temáticos apresentados nessa ilustração é referenciado, individualmente, como camada, cobertura ou nível.

Esquema 5 – Conjunto de camadas de informações sobre uma determinada região



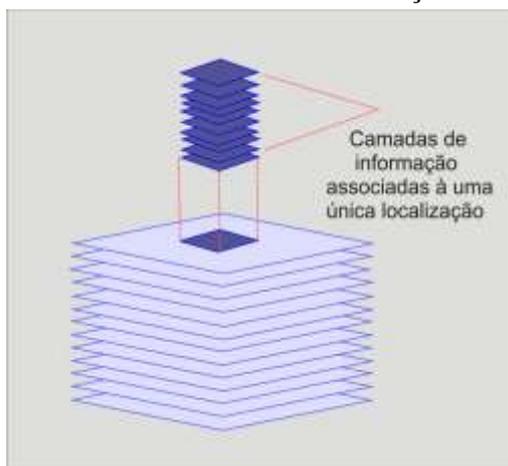
Fonte: Adaptado de Foote e Lynch (2009).

Uma vez que estes mapas foram cuidadosamente referenciados dentro de um mesmo sistema de coordenadas, as informações exibidas nas diferentes camadas podem ser comparadas e analisadas em combinação, podendo, por exemplo, ser analisadas conjuntamente:

- a) as rotas de trânsito e a localização de centros comerciais,
- b) a densidade de população e os centros de trabalho, dentre outras.

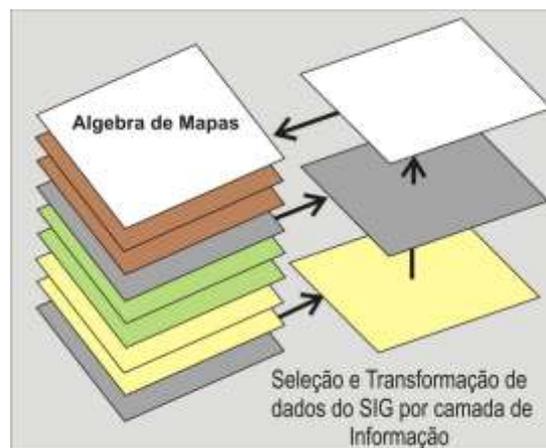
Paralelo a isso, localizações ou áreas podem ser separadas de localizações ou áreas vizinhas (Esquema 6), ou ainda serem utilizadas para a realização da álgebra de mapas, que é utilizada quando há a necessidade de considerar relações entre camadas específicas. Na álgebra de mapas as informações relativas a duas ou mais camadas podem ser combinadas (soma e subtração de informações), gerando uma nova camada a ser utilizada em análises subsequentes, conforme representado no Esquema 7.

Esquema 6 – Camadas de informação associadas a uma única localização.



Fonte: Adaptado de Foote e Lynch (2009).

Esquema 7 – Álgebra de mapas



Fonte: Adaptado de Foote e Lynch (2009).

A habilidade em separar informação em camadas, e então combiná-las com outras camadas de informação é a razão pela qual o SIG oferece tão grande potencial como ferramenta de pesquisa e apoio à tomada de decisão.

Nesse sentido, o SIG surge como uma poderosa ferramenta de gestão, podendo ser usada para diversos outros fins no SAA, auxiliando no controle do desempenho do sistema, na redução de perdas de água e na eficiência energética, além de permitir a manutenção preventiva das unidades do SAA, evitando ou reduzindo gastos com manutenção e compra de equipamentos.

2.5.2 Representação de dados em SIG

Para Yuan *et al.* (2004), a representação de dados geográficos constitui-se em um elemento central no desenvolvimento de um SIG, é a forma de comunicação da informação geográfica, por meio de uma estrutura binária em meio computacional que corresponde a um objeto, medida ou fenômeno.

Goodchild (2004) destaca que a representação em SIG inclui três aspectos dos elementos do mundo real: sua localização na superfície da terra, que é definida por meio de coordenadas; seus atributos ou dados não espaciais, que descrevem as características do elemento, e qualquer relacionamento importante entre entidades. A representação escolhida para um determinado fenômeno tem importante impacto em sua

interpretação e análise, já que proporciona fundamentos conceituais e computacionais para processar, integrar, analisar e visualizar dados geográficos (YUAN, 2010).

Codd (1980) apud Yuan *et al.* (2004) ressaltam que as análises espaciais em SIG são influenciadas pelas representações em três níveis distintos: o nível de modelo de dados, o nível de formalização e o nível de visualização. O modelo de dados é o núcleo conceitual de um sistema de informação, ele define as entidades, os relacionamentos, as operações e as regras para manter a integridade do banco de dados.

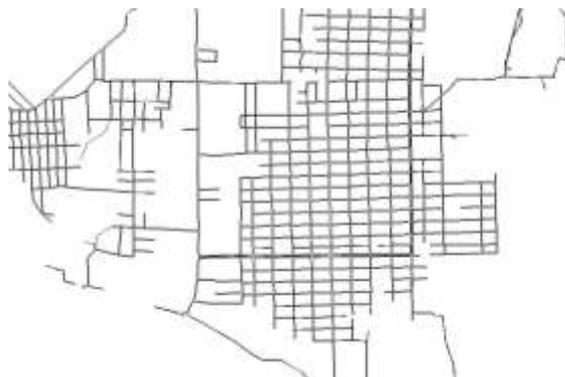
O modelo de dados é definido por Peuquet (2005) como uma descrição geral de conjuntos específicos de entidades, e das relações entre estes conjuntos de entidades. Para Worboys (2001), a representação geográfica e os modelos de dados são críticos para melhorar o processamento de consultas e as análises da informação geográfica, já que os SIG não são capazes de processar a informação que está além das capacidades de representação de seus modelos de dados.

Para Peuquet (2002), os modelos de dados são abstrações da realidade, e são utilizados para reduzir o número de complexidades e de informações consideradas em um estudo. Os modelos ou estruturas de representação de dados existentes são o modelo matricial e o modelo vetorial:

2.5.2.1 Representação Vetorial

Os sistemas vetoriais são apropriados para a modelagem de sistemas, controle terrestre, análises de redes. Para Antenucci *et al.* (1991) e Vonderohe *et al.* (1993), no sistema vetorial os elementos são representados como uma série de entidades definidas como pontos, linhas ou polígonos, que são geograficamente referenciados por coordenadas do tipo (x,y), sendo codificadas a localização e a extensão das feições espaciais, bem como as relações de incidência e conectividade ao longo das feições. Um modelo topológico de dados vetoriais enquadra-se bem nas análises de conectividade e de adjacência espacial; estes dados vetoriais definem polígonos, objetos e outras entidades complexas, que podem ser manipuladas ou mostradas graficamente tomando por base os seus atributos. As redes de transporte, de abastecimento de água, de coleta de esgoto sanitário e de resíduos sólidos, geralmente são representadas por modelos vetoriais. Na Figura 4 é apresentado um exemplo de representação vetorial.

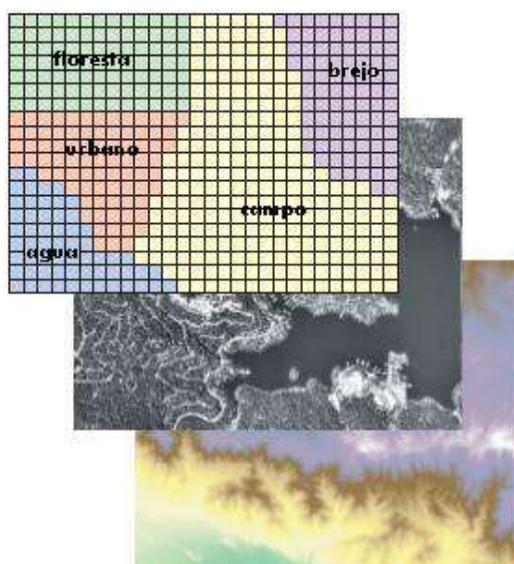
Figura 4 – Estrutura vetorial de representação da realidade



2.5.2.2 Representação Matricial

Os sistemas matriciais são geralmente utilizados no processamento de imagens de satélite, tendo múltiplas aplicações nos setores florestal, marítimo, ambiental e militar, dentre outros. De acordo com Pontífice Universidade Católica (2007), esse sistema divide o espaço em elementos discretos, consistindo de uma matriz de células homogêneas (geralmente quadradas), obtidas a partir de uma malha com linhas horizontais e verticais espaçadas regularmente, conforme exemplificado na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura matricial de representação da realidade



Fonte: Universidade Federal Fluminense (2013).

A área de cada célula define a resolução espacial, onde quanto maior o tamanho da célula, menor a precisão da informação, e, quanto menor a célula, maior a base de dados resultante, pois a suposição é que em algum lugar dentro dessa célula de

grade será encontrado o objeto ponto (TIBÚRCIO, 2006). Uma célula individual em uma imagem matricial é denominada de “*pixel- Picture element*”. O pixel pode ser definido como um elemento gráfico bidimensional que apresenta o menor elemento indivisível de uma imagem, ou seja, cada pixel representa uma área no terreno, definindo a resolução espacial.

2.5.3 Armazenamento de dados em SIG

Na utilização de SIG é necessário o armazenamento de grande quantidade de dados para torná-los disponíveis para operações de consulta, manuseio e análise. Para isso, são utilizados os bancos de dados geográficos, que fazem parte do sistema dual, onde o SIG é composto de um banco de dados relacional, responsável pela gerência dos atributos não-gráficos, acoplado a um componente responsável pelo gerenciamento dos atributos espaciais (CAMARA, 1995).

Barrera (1991) descreve Banco de Dados Geográfico como uma coleção de dados referenciados espacialmente, que funciona como um modelo da realidade, por representar um conjunto selecionado de fenômenos reais associados a diferentes períodos de tempo. Os bancos de dados geográficos podem ser construídos em dois diferentes formatos utilizados para armazenamento de dados espaciais: os Shapefiles e os Geodatabases. Esses dois formatos serão detalhados a seguir.

2.5.3.1 Shapefile

O shapefile é um formato de armazenagem de dados vetoriais da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) para armazenar a posição, formato e atributos de feições geográficas. É um conjunto de arquivos relacionados e contém uma classe de feição com muitos dados associados.

Um shapefile consiste em um arquivo principal .shp, um arquivo de índice .shx, e uma tabela de atributos dBASE .dbf. O arquivo principal é um acesso direto, um arquivo-registro de comprimento variável, em que cada registro descreve uma forma com uma lista de seus vértices. No arquivo de índice, cada registro contém o

deslocamento do correspondente registro de arquivo principal a partir do início do arquivo principal. A tabela dBASE de atributos contém funcionalidade com um registro por recurso. O relacionamento “*one-to-one*” entre a geometria e os atributos é baseado no número de registros. Os registros de atributo no arquivo dBASE devem estar na mesma ordem em que os registros no arquivo principal (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 1998).

O formato shapefile foi originalmente criado na década de 1990 para uso com o ArcView inicial, e foi historicamente utilizado em aplicativos GIS desktop, tais como, ArcGIS for Desktop e ArcGIS Explorer Desktop. Esse formato de arquivo está sujeito a muitas limitações, dentre elas: a falta de numérico nulos, nomes de colunas muito curtas, datas de resolução de dia e strings ASCII curtas.

Atualmente, além do ArcGis, o formato *shapefile* é suportado por diversos *softwares* de Geoprocessamento e SIG, como o *Spring*, o *Geomedia*, o *QuantumGIS*, o *SuperGIS*, o *gvSIG*, entre outros.

Em comparação com o formato geodatabase, que podem ser lidos diretamente pela maioria das aplicações de SIG, inclusive as aplicações *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), os shapefiles geralmente são maiores, mais lentos e menos flexíveis do que os arquivos *Geodatabases*. Apesar disso, o *shapefile* ainda é considerado praticamente um formato universal, embora já esteja defasado tecnologicamente e não seja mais a melhor opção de armazenamento de dados geográficos em estruturas vetoriais.

2.5.3.2 GeoDataBase

Geodatabases (GDB) são bancos de dados relacionais que armazenam dados geográficos. O Geodatabase funciona como um *container* para armazenar dados espaciais e de atributo e relacionamentos que existem entre eles. Entre as vantagens de usar um Geodatabase em comparação com a utilização de arquivos individuais como o *shapefile* podemos citar (HOLANDA, 2008):

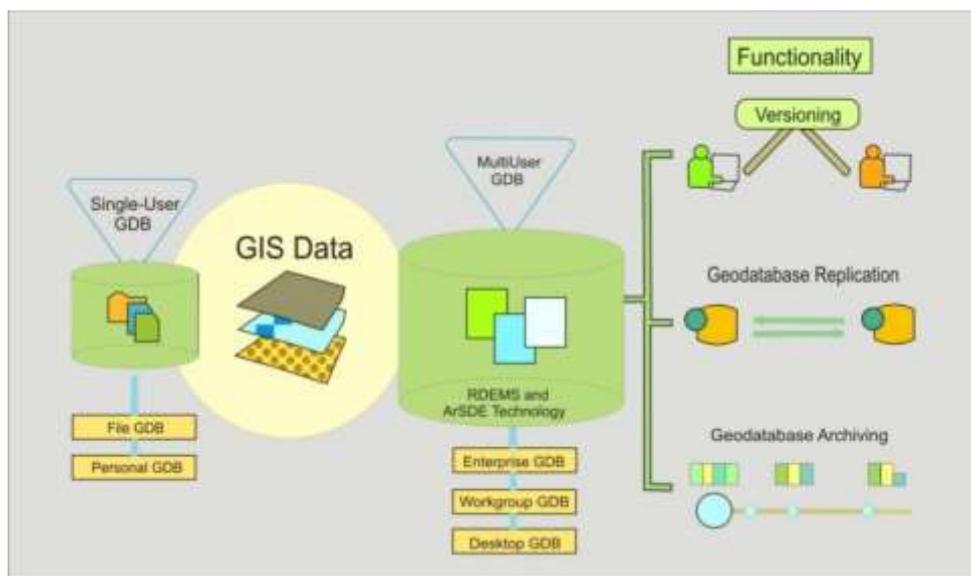
- a) Gerenciamento de dados espaciais de forma centralizada;
- b) Conjuntos de feições contínuos;

- c) Geometria de feições avançadas;
- d) Suporte COGO (geometria de coordenadas), esse suporte permite a importação de arquivos de coordenadas x,y,z e atributos no formato txt e xls;
- e) Subtipos de feições;
- f) Topologia flexível, baseada em regras;
- g) Edição de dados mais precisa;
- h) Anotações ligadas a feições;
- i) Feições personalizadas;
- j) Redes geométricas;
- k) Referenciamento linear;
- l) Edição desconectada;
- m) Suporte a UML (linguagem de modelagem unificada) e ferramentas CASE que auxiliam nas atividades de engenharia de *software*, desde a análise de requisitos e codificação até a simulação.

O GDB pode ser classificado como Pessoal ou Multi usuários. O GDB Pessoal possui a extensão .mdb, formato utilizado pelo *software Microsoft Access*, e pode ser lido por vários usuários ao mesmo tempo, mas editado por somente uma pessoa por vez. Possui tamanho máximo de 2 GB e armazena dados vetoriais.

Os GDBs multiusuários são adequados para implementações em aplicações SIG para grandes grupos de trabalhos e empresas. Podem ser lidos e editados por múltiplos usuários ao mesmo tempo, e armazenam dados vetoriais e raster. São compreendidos pelo *software ArcSDE* e um SGBD, tal como IBM DB2, Informix, Oracle ou SQL Server. Os dados espaciais são armazenados no SGBD e o ArcSDE permite a visualização e a manipulação de dados a partir de seus aplicativos de SIG (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2010). No Esquema 8 é representada a composição básica dos GDB pessoal e multiusuários.

Esquema 8 – Composição básica dos GDBs pessoal e multiusuários



Fonte: Adaptado de ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (2010).

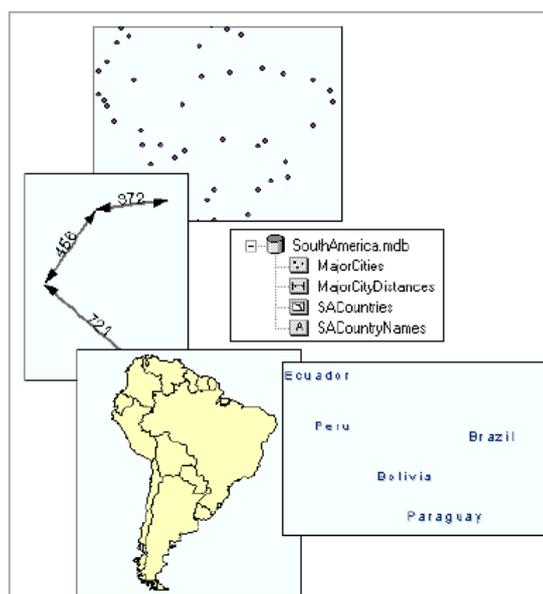
O GDB possui em sua estrutura três componentes primários: as classes de feições, o conjunto de dados de feições e tabelas (HOLANDA, 2008).

- **Classes de feições**

Materiais disponibilizados pela *Environmental Systems Research Institute* (2015) descrevem classe de feição como uma coleção de feições geográficas que compartilham o mesmo tipo de geometria (ponto, linha ou polígono), os mesmos atributos, e a mesma referência espacial, também podem armazenar anotações e podem existir independentemente em um geodatabase como classes de feições independentes ou pode agrupá-las em conjuntos de dados de feições.

Para exemplificar o conceito de classes de feições, na Figura 6 é representado o *geodatabase South America*, que contém quatro classes de feições independentes: uma classe de feição ponto de cidades, uma classe de feição dimensão de distâncias entre cidades, uma classe de feição polígono de países, e uma classe de feição anotação de nomes de países.

Figura 6 – Exemplo de classes de feições no GDB

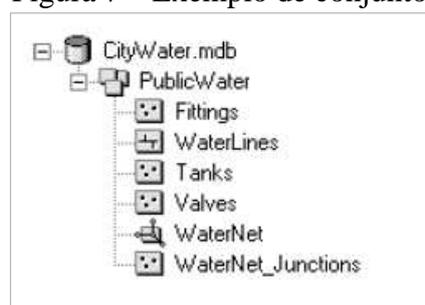


Fonte: ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (2010).

- **Conjunto de dados de feições**

O conjunto de dados de feições é o agrupamento das classes de feições (Figura 7), de forma que as classes de feições possam participar em relacionamentos topológicos entre si. Devem estar georreferenciados no mesmo sistema de coordenadas e dentro da mesma extensão geográfica (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2015).

Figura 7 – Exemplo de conjunto de dados de feições



Fonte: ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (2010).

- **Tabelas**

As tabelas são constituídas pelos dados não espaciais (atributos) que podem ser associados às classes de feições. São exibidas no formato tradicional de linha-e-coluna.

Um geodatabase é composto inteiramente de tabelas, porém na maioria dos *softwares*, como o *ArcCatalog* ou *ArcMap*, elas são ocultadas. A interação do usuário com as tabelas é gerenciada pelo *software* (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2015).

O usuário pode interagir com apenas dois tipos de tabelas diretamente: tabelas de classe de feição e tabelas de atributos não-espaciais. As tabelas de classe de feição possuem uma ou mais colunas que armazenam a geometria da feição, já as tabelas não-espaciais contêm apenas dados de atributo (sem geometria de feição). Na Figura 8 é apresentado um exemplo de tabelas em GDB.

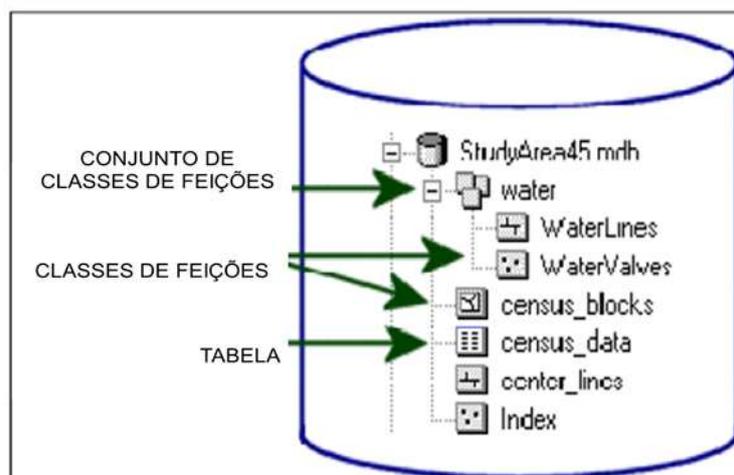
Figura 8 – Exemplo de Tabelas

| OBJECTID* | Shape* | LINESIZE | Shape_Length | Enabled |
|-----------|----------|----------------|------------------|---------|
| 1 | Polyline | Main line - 6" | 482.900475457775 | True |
| 2 | Polyline | Main line - 6" | 156.857647146086 | True |
| 3 | Polyline | Main line - 6" | 170.320723075381 | True |
| 4 | Polyline | Main line - 6" | 817.316797104889 | True |
| 5 | Polyline | Main line - 6" | 291.709322038185 | True |
| 6 | Polyline | Main line - 6" | 523.911389165154 | True |
| 7 | Polyline | Main line - 6" | 778.902694104686 | True |

Fonte: ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (2010).

Na Figura 9 é exemplificada a estrutura de relacionamento de um geodatabase, onde é possível visualizar a organização das classes de feições, do conjunto de classes de feições e das tabelas.

Figura 9 – Estrutura de um *Geodatabase*



Fonte: ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (2010).

2.5.4 Aplicações de SIG em Sistemas de Abastecimento de Água

O SIG pode ser aplicado no planejamento e cadastro urbano, com a finalidade de armazenar e relacionar as informações cartográficas e descritivas do espaço urbano, como infraestrutura, características da população e limites do SAAs.

Em um SAA existem diferentes tipos de dados e informações específicas necessárias para um bom gerenciamento. Assim, todos os setores da empresa devem ter suas informações armazenadas e interligadas no SIG, como, o setor comercial (com o sistema de informação de clientes), setor de projetos e planejamento, setor operacional (com o registro de operações, manutenções e do estado da rede de distribuição e equipamentos), gerência de infraestrutura, gerência de fugas e gerência administrativa.

Santos (2008) observa que, para o controle de perdas em rede de distribuição de água utilizando SIG, é fundamental a organização das informações, tanto as referentes à cartografia da área que se deseja monitorar, quanto os dados necessários para a realização de tal monitoramento, isto é, informações cartográficas e dados e informações técnicas.

Para Dorca, Luvizotto Jr. e Andrade (2006), as possibilidades de armazenamento e gestão da informação em SIG são praticamente ilimitadas, já que o gestor pode visualizar todos os elementos da rede de distribuição e de suas características, gerar estatísticas, realizar o gerenciamento de consumidores e dos equipamentos, verificar o estado de funcionamento do sistema etc.

Sargaonkar e Islam (2009) desenvolveram modelo SIG para aplicação em rede de distribuição de água, utilizando como estudo de caso as tubulações da rede de distribuição da área *Moinbagh* em *Hyderabad*, na Índia. Em conjunto com o SIG foi utilizado modelo matemático denominado “modelo-Pipe de avaliação do estado (PCA)”, que espacializa informações da rede de distribuição de água, rede de esgoto, ralos e do solo, além de dados sobre as propriedades físicas da rede, bem como parâmetros operacionais. O modelo foi considerado satisfatório para monitoramento de problemas na rede de distribuição, apontando as falhas com base nos dados operacionais armazenados.

Elgy, Charnocke Hedges(1996) abordaram o uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na avaliação da demanda de água,

analisando aplicações de sensoriamento remoto em SIGs comerciais para detecção de vazamentos e avaliação da qualidade da água em tubulações de uma rede de distribuição em *Birmingham*, UK., sendo, com isso, identificados os vazamentos e as perdas de água na rede de distribuição estudada, e armazenados os dados de qualidade da água distribuída à população, obtendo uma correlação entre os fatores vazamentos x qualidade da água.

Maksimović e Prodanović (1996) aplicaram os princípios básicos de SIG combinados com técnicas para análise hidráulica da rede de abastecimento de água e para a interpretação dos resultados da modelagem hidrodinâmica, utilizando o pacote de SIG comercial IDRISI. Os autores descrevem os resultados satisfatórios da aplicação de SIG, porém, ressaltam que para aplicações em áreas maiores e com maior número de dados podem ser desenvolvidos modelos específicos, ou mais adequados ao uso.

Mcdonald *et al.* (2000) apontam a necessidade de atendimento da demanda de água no Reino Unido, utilizando como exemplo a rede de distribuição de água da cidade de Leeds, no norte da Inglaterra, onde o SIG foi aplicado para a análise dos pontos problemáticos.

O SIG também foi aplicado por Tabesh, Yekta e Burrows (2009) na avaliação das perdas em uma rede de distribuição de água na Inglaterra, UK, por meio da utilização do "balanço hídrico anual" e da "vazão mínima noturna", com o auxílio do EPANET e do aplicativo de SIG comercial ArcGis, para avaliar os componentes de perdas de água, mapeando a rede de distribuição e os pontos de vazamentos, resultando na identificação dos fatores favoráveis ao surgimento de vazamentos na rede de distribuição.

Junqueira, Lautenschlager e Paredes (2009) abordam o cruzamento de dados do SAA da região do Jardim Higienópolis, em Maringá-PR, por meio de aplicações com o *software Arcview* 3.1. Nesse trabalho foram utilizados dados dos setores de manobras, contendo informações de quantidade de vazamentos, análises de cloro residual, variação de população, consumo de água, economias residenciais, industriais e comerciais. Esses dados foram cruzados com suas respectivas áreas de influência, e por meio de análise em ambiente SIG, foi possível obter informações que indicassem a necessidade de manutenção nas válvulas redutoras de pressão (VRP) das áreas mais afetadas, bem como direcionar as equipes de geofonamento, que é a utilização de aparelho geofone para detecção de vazamentos não visíveis.

Outro exemplo de utilização de SIG em SAA foi realizado por Santos (2008), que aplicou SIG no SAA na recuperação de vazamentos do 3º setor de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (RMB). A autora utilizou o *software* ArcView 3.3 para registro dos dados de vazamentos ocorridos no período de um ano, o que permitiu a elaboração do relatório das ocorrências de vazamentos na área em estudo e a construção de indicadores, com a visualização dos pontos de vazamentos e suas características.

Mühlhofer e Silva (2009) utilizaram geoprocessamento na manutenção preventiva em redes de distribuição de água e de esgotamento sanitário, por meio do estudo de caso das cidades do Gama e do Recanto das Emas no Distrito Federal, nas quais a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) atua na distribuição de água e coleta de esgoto sanitário. Os autores ressaltam a importância da manutenção preventiva, uma vez que dados pré-existentes sobre execução de serviços de manutenção corretiva em redes de distribuição de água e em redes coletoras de esgoto sanitário estão disponíveis para subsidiar processos de gestão de manutenção preventiva nessas redes. Nesse trabalho, os autores recomendam o uso de geoprocessamento para auxiliar no controle e gerenciamento de rede de distribuição de água e rede de coleta de esgoto, proporcionando resultados positivos aliados ao bom desempenho do sistema, impactando na redução e perdas físicas e no custo com manutenção de rede.

No estudo de Santos (2007) foram investigados os níveis de perdas físicas de água na rede de distribuição de água de Rondonópolis-MT, que é operada pela concessionária municipal “Serviço de Saneamento Ambiental de Rondonópolis – SANEAR”. Nesse estudo foi utilizado o *software* de SIG *MapInfo*, da *MapInfo Corporation*, para a espacialização dos dados cartográficos e tabulares do sistema, o que possibilitou a representação espacial dos dados monitorados e a identificação de trechos com elevados índices de perdas de água.

Entretanto, as atuais aplicações de SIG no gerenciamento de dados de SAA se limitam à realização de simulações hidráulicas e monitoramento de dados de perdas reais em redes de distribuição, o que auxilia no combate às perdas reais, porém são insuficientes para a avaliação do controle de perdas de água e de energia elétrica em todas as unidades do sistema de abastecimento. Além disso, na maioria dos casos, são

utilizados *softwares* de SIG já conhecidos, comercializados, e utilizados para aplicações gerais na temática saneamento/meio ambiente.

Embora o SIG seja uma ferramenta útil aos gestores de sistemas de saneamento, sua implantação efetiva requer cuidadoso planejamento, para evitar prejuízos e deficiência nos benefícios. Alguns requisitos são necessários para a implantação satisfatória do SIG, por exemplo, pessoal técnico qualificado, recursos financeiros para a aquisição de plantas, mapas e imagens. Além da contratação de consultores especializados para suporte e manutenção do sistema, treinamentos de funcionários etc.

Algumas aplicações requerem adequações em suas funcionalidades para adaptação às particularidades de seu uso, o que necessita do desenvolvimento de novas ferramentas ou de um novo aplicativo SIG. A seguir são apresentadas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do modelo de SIG proposto.

2.6 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES

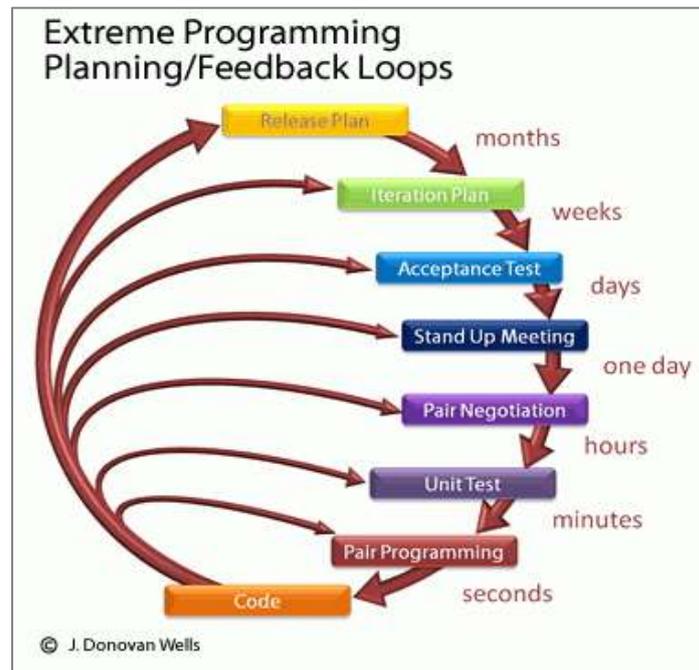
A seguir são apresentadas a metodologia e as ferramentas de programação utilizadas para o desenvolvimento do modelo de SIG.

2.6.1 Metodologia *Extreme Programming*

A *Extreme Programming* (XP) é uma metodologia ágil para desenvolvimento de *software* com requisitos vagos e em constante mudança. Para isso, adota a estratégia de acompanhamento constante e realização de vários pequenos ajustes durante o desenvolvimento do *software* (TELES, 2005).

Na metodologia XP o programador pode, a qualquer momento do desenvolvimento do sistema, voltar à etapa anterior e alterar sua codificação para correção de problemas ou melhorias no modelo. Etapas essas, realizadas em curtos períodos de tempo, com apresentação de partes do trabalho desenvolvido. O Esquema 9 ilustra o processo de desenvolvimento de *software* utilizando a *Extreme Programming* (FELIX *et al.*, 2015).

Esquema 9 – Desenvolvimento de *software* utilizando a metodologia *Extreme Programming*



Fonte: Felix *et al.* (2015).

A metodologia XP utiliza a refatoração, ou seja, o processo de fazer mudanças em um código existente e funcional, sem alterar seu comportamento externo. Em outras palavras, alterar como ele faz, mas não o que ele faz, com o objetivo de aprimorar a estrutura interna. É uma forma disciplinada de limpar o código minimizando a chance de introduzir *bugs* (ASTELS, 2003; FOWLER, 2000).

Para Medeiros (2009), essa metodologia é fundamentada em agilidade e qualidade de projetos, apoiada em valores como coragem, simplicidade (com *design* simples), comunicação e *feedback* em ciclos curtos entre o desenvolvedor e o usuário, possibilitando a correção de problemas de forma mais simples e rápida.

2.6.2 Ferramenta DELPHI

A plataforma Delphi foi criada pela empresa *Borland Software Corporation*, que utiliza a linguagem *Object Pascal*, linguagem essa oriunda do Pascal, porém fornecendo suporte à programação orientada a objetos. Atualmente é comercializada pela Embarcadero Delphi,

É uma ferramenta do tipo *Rapid Application Development* (RAD) e uma *Integrated Development Environment* (IDE), é de fácil utilização, sendo possível: editar código, testar a aplicação desenvolvida, verificar os erros e retornar até a linha com problemas, além de compilar a aplicação para execução no sistema operacional (GAJIC, 2011).

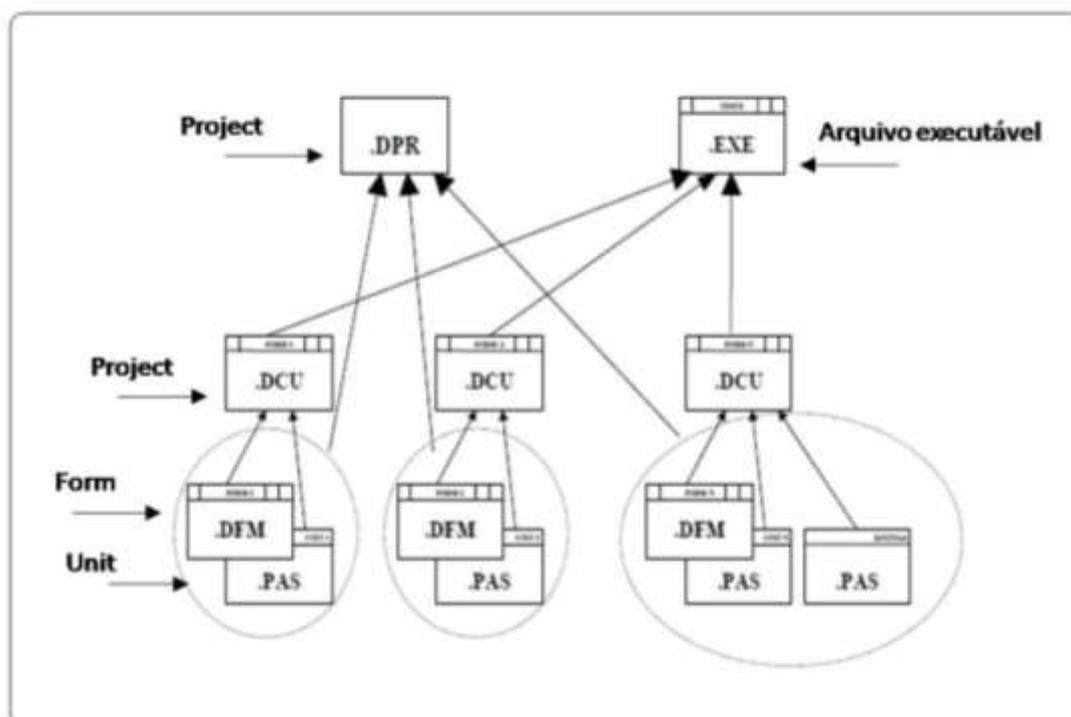
Piske e Seidel (2006) destacam que RAD é uma metodologia de desenvolvimento de aplicações que visa ser simples e evita ser necessário digitar uma quantidade excessiva de códigos. A IDE RAD agrega componentes visuais e já escreve o código fonte, agilizando o desenvolvimento da aplicação, ou seja, as propriedades dos componentes incluem classes que são utilizadas e que se relacionam com outros objetos, a partir do momento em que um objeto é selecionado, tudo isso já é escrito pelo Delphi no código fonte, sem precisar digitar toda a codificação. Os autores ainda observam que, no RAD, o processo de design e de desenvolvimento (codificação), acontece simultaneamente, tornando-o mais ágil para um melhor prazo de entrega de um produto final.

O RAD surgiu na década de 70, onde para se desenvolver um sistema, levava-se tanto tempo que em muitas vezes antes mesmo de o sistema estar pronto os requisitos já haviam mudado.

Seraphim e Fortes (1999) ressaltam que o ambiente de projeto no Delphi é constituído inicialmente por duas divisões: uma *Unit* com várias linhas de código, que é associada a um *Form* (Formulário); e um *Project*, que engloba todos os *Forms* e *Units* da aplicação. Para todo *Form* tem-se pelo menos uma *Unit* (Código do Form), mas é possível ter *Units* sem *Form* (códigos de *procedures*, funções etc.).

No Esquema 10 é ilustrada a formação de uma aplicação Delphi e no Quadro 2 são relacionadas as extensões dos arquivos gerados no desenvolvimento de aplicativos em Delphi.

Esquema 10 – Formação de uma aplicação Delphi



Fonte: Seraphim e Fortes (1999).

Quadro 2 – Arquivos gerados no desenvolvimento em Delphi

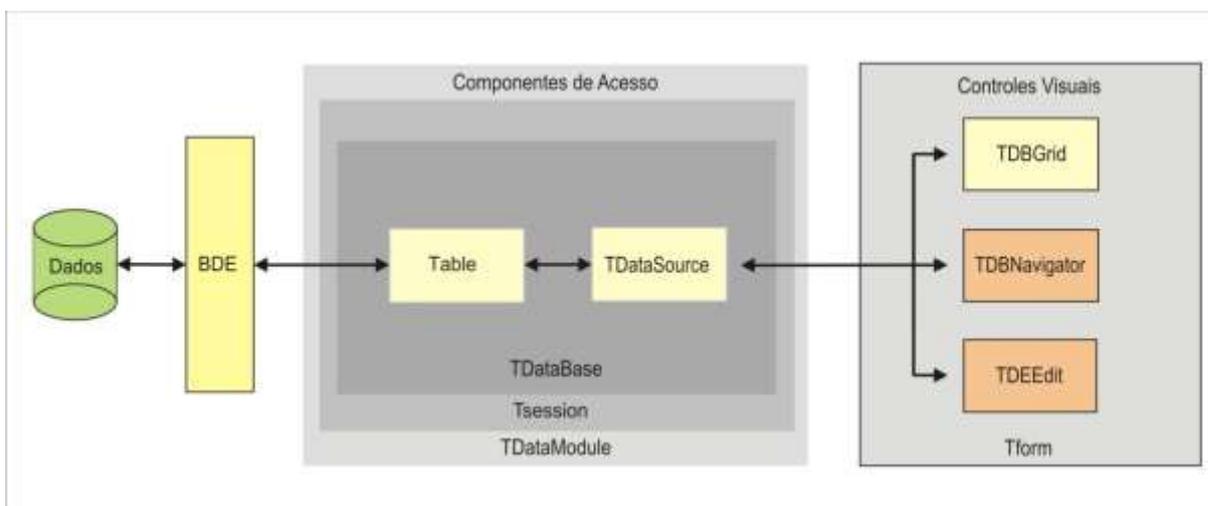
| Extensão Arquivo | Definição | Função |
|------------------|--------------------------------------|--|
| .DPR | Arquivo do Projeto | Código fonte em Pascal do arquivo principal do projeto. Lista todos os formulários e units no projeto, e contém código de inicialização da aplicação. Criado quando o projeto é salvo. |
| .PAS | Código fonte da Unit (Object Pascal) | Um arquivo .PAS é gerado por cada formulário que o projeto contém. Seu projeto pode conter um ou mais arquivos .PAS associados com algum formulário. Contem todas as declarações e procedimentos incluindo eventos de um formulário. |
| .DFM | Arquivo gráfico do formulário | Arquivo binário que contém as propriedades do desenho de um formulário contido em um projeto. Um .DFM é gerado em companhia de um arquivo .PAS para cada formulário do projeto. |
| .OPT | Arquivo de opções do projeto | Arquivo texto que contém a situação corrente das opções do projeto. Gerado com o primeiro salvamento e atualizado em subseqüentes alterações feitas para as opções do projeto. |
| .RES | Arquivo de Recursos do Compilador | Arquivo binário que contém o ícone, mensagens da aplicação e outros recursos usados pelo projeto. |
| .DSK | Situação da Área de Trabalho | Este arquivo armazena informações sobre a situação da área de trabalho específica para o projeto em opções de ambiente (Options Environment). |
| .~PA | Arquivo de Backup da Unit | Se um .PAS é alterado, este arquivo é gerado. |

Fonte: Seraphim e Fortes (1999).

O Delphi é bastante utilizado no desenvolvimento de aplicações desktop, aplicações multicamadas e cliente/servidor, compatível com os bancos de dados mais conhecidos do mercado, e pode ser utilizado para diversos tipos de desenvolvimento de projeto, inclusive para desenvolvimento de aplicações Web (EMBARCADERO, 2015).

De acordo com Seraphim e Fortes (1999), o acesso e manipulação de um banco de dados em Delphi são realizados através da *Borland Database Engine* (BDE). Os controladores da BDE podem ser usados para acessar bases de dados *dBase*, *Paradox*, *Access*, *FoxPro*, *Interbase*, *Oracle*, *Sybase* e *MS-SQL Server*, *DB2*, *Informix*, além de um controlador de acesso a arquivos texto, não acessando os dados diretamente, conforme ilustrado no Esquema 11.

Esquema 11 – Acesso e manipulação de um banco de dados em Delphi



Fonte: SERAPHIM e FORTES (1999).

A BDE fornece a capacidade de acesso padronizado a banco de dados para Delphi, oferecendo um variado conjunto de funções para auxiliar no desenvolvimento de aplicações *Desktop* e Cliente/Servidor. Assim, para uma aplicação de bancos de dados funcionar é preciso que a BDE esteja instalada na máquina, não bastando apenas o arquivo executável.

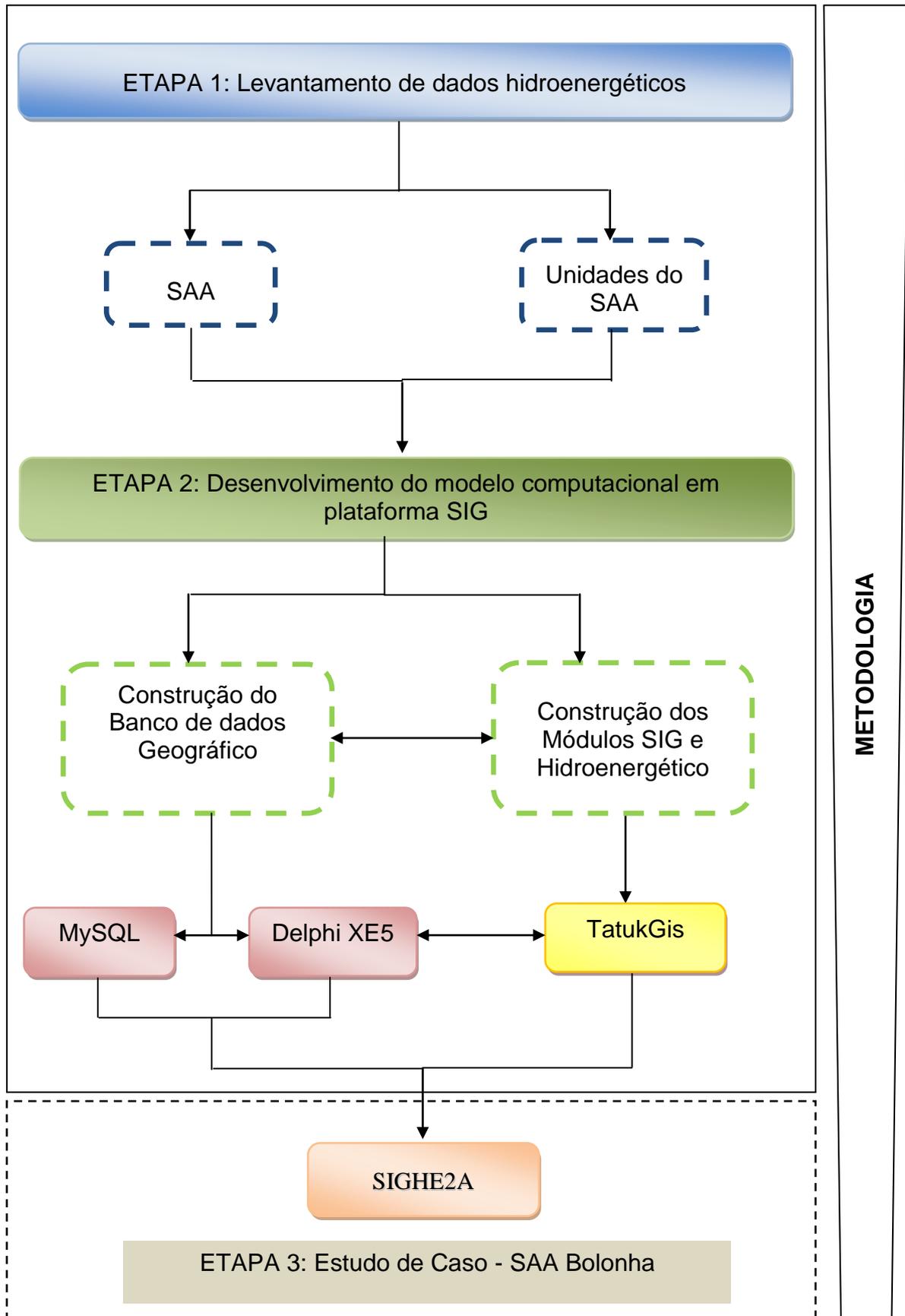
Com base na revisão de literatura apresentada, e, considerando a existência no mercado de softwares de SIG com ferramentas básicas para aplicação generalizada, é possível observar a importância do desenvolvimento de ferramentas específicas para o registro, sistematização e representação espacial georreferenciada dos dados hidroenergéticos de SAAs, com vistas ao uso racional de água e de energia elétrica nesses sistemas.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

As deficiências de sistema de gerenciamento, controle e espacialização de dados hidroenergéticos em SAA aumentam a necessidade do modelo de gestão hidroenergética proposto, que foi baseado na construção de indicadores, os quais servirão como instrumentos para a análise e gerenciamento do desempenho hidroenergético de SAAs em SIG, por meio da identificação e quantificação das perdas de água e do consumo de energia elétrica nas unidades do sistema de abastecimento.

Assim, o modelo para gestão hidroenergética de SAAs foi desenvolvido em 3 Etapas, conforme apresentado no Esquema 12. Na Etapa 1 foi realizado o levantamento de parâmetros hidroenergéticos utilizados em métodos atuais de gerenciamento de SAA. Na Etapa 2 foi desenvolvido o modelo computacional, em plataforma SIG, para análise do desempenho hidroenergético em SAA. Na Etapa 3 foi realizada a simulação da aplicabilidade do modelo desenvolvido utilizando o estudo de caso do SAA Bolonha.

Esquema 12 – Etapas do desenvolvimento de modelo de gestão hidroenergética de SAAs



3.1 ETAPA 1 – LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS HIDROENERGÉTICOS EM MÉTODOS DE GERENCIAMENTO ATUAIS

No desenvolvimento do modelo proposto para controle do desempenho hidroenergético de SAAs foram levantados os parâmetros referentes ao consumo de água e de energia elétrica em abastecimento de água. Para isso, foi realizada pesquisa bibliográfica de métodos e procedimentos atualmente empregados no gerenciamento de perdas de água, como o Balanço hídrico proposto pela IWA e os indicadores de perdas estabelecidos pelo SNIS e PNCDA.

Com o objetivo de facilitar o entendimento, a organização e a definição dos parâmetros, os mesmos foram organizados em dois grupos: por sistema de abastecimento de água e por unidade de abastecimento de água. Assim, a 1ª etapa foi realizada em 3 fases. Na Fase 1 foram definidos os dados de interesse hidroenergético no sistema de abastecimento de água, na Fase 2 foram definidos os dados hidroenergéticos específicos de cada unidade do Sistema de Abastecimento de Água, e na Fase 3 foram definidos os indicadores de desempenho hidroenergético a serem utilizados no modelo.

3.1.1 Fase 1: Definição dos dados por Sistema de Abastecimento de Água

Nessa fase foram estudados e categorizados os principais parâmetros utilizados no gerenciamento hidroenergético de SAAs, subdivididos em: dados gerais, dados comerciais e dados energéticos.

Os dados gerais são constituídos pelos dados populacionais, de economias e de ligações de água de cada setor do SAA a ser estudado. Os dados comerciais envolvem dados de faturamento e arrecadação (volumes e valores em reais) da concessionária de saneamento. Já os dados energéticos se referem aos diretamente relacionados com consumo e despesas com energia elétrica no SAA.

3.1.2 Fase 2: Definição dos dados por Unidade do Sistema de Abastecimento de Água

Os dados categorizados por unidade do SAA são referentes aos volumes macromedidos à montante e à jusante de cada unidade do SAA, desde a captação até a rede de distribuição, além dos dados diretamente relacionados com consumo de energia elétrica no SAA.

3.1.3 Fase 3: Definição dos Índices de desempenho hidroenergético a serem utilizados no modelo

Na Fase 3 da Etapa 1 foi realizado o levantamento de parâmetros e índices hidroenergéticos utilizados nos procedimentos atualmente utilizados para o gerenciamento de perdas de água existentes, como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento e o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, bem como definido o índice de energia mínima para comparação com os índices de consumo de energia nas unidades do SAA.

Assim, foram definidos os Índices hidroenergéticos de SAA, e classificados como índices de perdas reais, comerciais, e de energia elétrica do sistema de abastecimento para aplicação no modelo proposto.

3.2 ETAPA 2 – DESENVOLVIMENTO DE MODELO COMPUTACIONAL EM PLATAFORMA SIG PARA A ANÁLISE DE DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO EM SAA

Para entendimento e aplicação do modelo de gestão hidroenergética proposto, na Etapa 2 foi desenvolvido o modelo computacional de aplicação SIG para a análise espacial do desempenho hidroenergético de SAAs, baseado na *Extreme Programming*, por ser metodologia ágil de desenvolvimento de *software* com requisitos vagos e em constante mudança.

O modelo foi construído utilizando a refatoração e o desenvolvimento orientado a testes, sendo em cada etapa da criação de ferramentas e da codificação do modelo realizados os ajustes e correção de problemas. Sempre que necessário foi retornada à etapa anterior e realizada a refatoração, o que ocorreu à medida que a arquitetura do software evoluiu, amadurecendo e resultando na criação de novas funcionalidades.

A adoção dessas práticas auxiliou na manutenção da integridade conceitual do sistema, possibilitando manter suas características ao longo do tempo:

- a) simplicidade no modelo e clareza, com o código de fácil entendimento;
- b) adequação ao uso, com design e aplicativos voltados para a plataforma SIG;
- c) ausência de repetição de códigos;
- d) ausência de funcionalidades extras, evitando desperdício mantendo um código desnecessário no modelo.

O modelo computacional foi desenvolvido utilizando a IDE Delphi XE5 e o componente TatumGis, para a análise de desempenho hidroenergético em SAA, em três fases. Na fase 1 foi construído o banco de dados geográfico, na fase 2 foi construído o módulo SIG e na fase 3 foram criadas as funcionalidades do módulo hidroenergético. Para isso, foram codificados os dados utilizando a linguagem de programação *Object Pascal* e o componente TatumGis, adaptado à IDE Delphi XE5.

3.2.1 Fase 1: Construção do banco de dados geográfico

Para a construção do banco de dados geográfico foi utilizado o SGBD *MySQL Workbench*, da *Oracle Corporation*, sendo criados os bancos de dados geográficos para as feições Setores e Unidades do SAA, além das tabelas de atributos das respectivas feições, para armazenamento dos dados hidroenergéticos coletados na Etapa 1 e dos indicadores de desempenho. O banco de dados construído no MySQL foi vinculado ao modelo por meio do drive conector de banco de dados do Windows ODBC (acrônimo para *Open Database Connectivity*).

3.2.2 Fase 2: Construção do módulo SIG

Para a criação das ferramentas de funcionalidades inerentes ao SIG foi utilizada a linguagem de programação *Object Pascal*, por meio do componente *TatukGIS Developer Kernel* vinculado à plataforma Delphi XE5, onde foram construídos os algoritmos necessários para o funcionamento do sistema proposto para possibilitar a criação de um modelo de SIG atual e que se adéque às necessidades de sua utilização, como o controle do desempenho hidroenergético em SAAs.

A utilização do componente *TatukGis* permitiu a criação de ferramentas básicas de SIG como adicionar camada, zoom full, zoom in, zoom out, pan (mover), visualizar informação do banco de dados, exportar camada e as ferramentas de configuração do *layer*, para alteração da forma de apresentação de cada geodatabase, como a formatação de cor e espessura de linha e preenchimento de polígonos.

Além das ferramentas básicas do SIG foi criada ferramenta para graduação de cor, onde são destacados os setores de abastecimento com os maiores índices de desempenho hidroenergético; para construção de gráficos em mapas temáticos e ferramenta “Alerta” para sinalização da(s) unidade(s) com os piores índices de desempenho hidroenergético, considerando as metas estabelecidas pelo gestor na tela de cadastro.

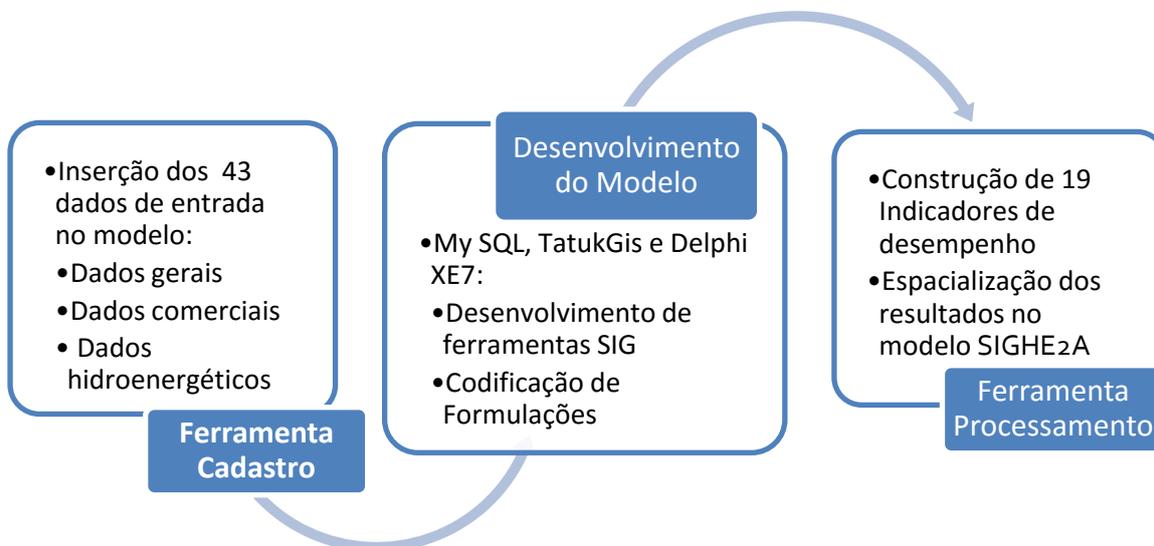
3.2.3 Fase 3: Construção do módulo Hidroenergético

Para possibilitar o armazenamento de dados no banco de dados construído foram desenvolvidas as ferramentas para entrada de dados (*Menu cadastro*) e saída de dados (*Menu Calcular indicadores*), utilizando a linguagem de programação *Object Pascal*, na ferramenta de desenvolvimento de aplicações Delphi XE5, da *Embarcadero*. Na ferramenta de cadastro poderão ser inseridos os dados gerais, comerciais, de volume, de consumo e de despesas com energia elétrica do sistema de abastecimento e nas unidades do SAA, individualmente.

Em sequência, foram codificadas as formulações dos indicadores de desempenho, possibilitando a construção de indicadores de desempenho hidroenergético e a espacialização dos resultados no SIGHE2A.

No Esquema 13 é representado o resumo do processo de construção do modelo SIGHE2A, em ambiente Delphi e SIG, para a análise do desempenho hidroenergético de SAAs.

Esquema 13 – Resumo do processo de construção do modelo proposto para controle do desempenho hidroenergético em SAAs



Dessa forma, o sistema construído será armazenado com dados do SAA, gerando assim, relatórios de indicadores de desempenho espacializados em SIG, subsidiando tomadas de decisão e planos de ação mais precisos e ágeis, para otimizar o gerenciamento integrado dos dados hidroenergéticos em SAAs. No Esquema 14 são representadas as etapas do gerenciamento e controle do desempenho hidroenergético utilizando o modelo proposto.

Esquema 14 – Etapas do gerenciamento de dados hidroenergéticos utilizando o modelo proposto



3.3 ETAPA 3 – SIMULAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO UTILIZANDO O ESTUDO DE CASO DO SAA BOLONHA

Para avaliar a aplicabilidade do modelo desenvolvido foi realizado o estudo de caso do SAA Bolonha, administrado pela COSANPA e que abastece parte dos municípios de Belém e Ananindeua, no Estado do Pará, Brasil.

O estudo de caso foi realizado em 2 fases, sendo na Fase 1 realizado o levantamento dos dados hidroenergéticos para a construção do banco de dados georreferenciado e na Fase 2 simulada a avaliação do desempenho hidroenergético no modelo desenvolvido.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS: MODELO DESENVOLVIDO

Para possibilitar a aplicação do modelo de gestão hidroenergética georreferenciada proposto foi desenvolvido modelo computacional para registro, sistematização e espacialização dos dados e índices hidroenergéticos de SAAs, denominado SIGHE2A.

4.1 DADOS E ÍNDICES UTILIZADOS

Para a construção do modelo proposto foi realizada pesquisa bibliográfica em métodos atuais de gerenciamento de perdas como o Balanço Hídrico proposto pela IWA, e os índices de perdas estabelecidos pelo SNIS e PNCDA. Com base nos dados utilizados em tais métodos foram selecionados e organizados os dados em duas categorias: por sistema de abastecimento de água e por unidade de abastecimento de água. A categoria sistema abrange os dados gerais, comerciais e energéticos dos setores do SAA, e a categoria unidades abrange dados hidroenergéticos de cada unidade, individualmente, conforme ilustrado no Esquema 15.

Esquema 15 – Dados hidroenergéticos utilizados na construção do modelo



- **Dados por SAA**

Os dados foram categorizados por SAA, e organizados em dados gerais, dados comerciais e dados energéticos, sendo criada uma sigla para cada parâmetro, a fim de facilitar a identificação e inserção dos dados no modelo.

Os dados gerais abrangem dados populacionais, dados de economias e de ligações de água de cada setor do sistema de abastecimento de água a ser estudado, conforme relacionado no Quadro 3.

Quadro 3 – Dados gerais de sistema de abastecimento de água

| Sigla | Variável |
|--------------|---------------------------------------|
| Pop_t | População total (hab) |
| Pop_{At} | População Atendida (hab) |
| Pop_{HD} | População Atendida hidrometrada (hab) |
| Ec_{At} | Nº de economias ativas |
| Ec_t | Total de economias |
| Lig_{At} | Nº de ligações ativas de água |
| Lig_t | Total de ligações |

Os dados comerciais compreendem os dados de faturamento e arrecadação da concessionária de saneamento que administra o SAA em questão, conforme relacionado no Quadro 4.

Quadro 4 – Dados comerciais de sistema de abastecimento de água

| Sigla | Variável |
|--------------|---|
| V_{fat} | Vol. de água faturado (m ³) |
| V_{Arr} | Vol. de água arrecadado (m ³) |
| Va_{Fat} | Valor faturado (R\$) |
| Va_{Arr} | Valor arrecadado (R\$) |

Os dados energéticos incluem os dados diretamente relacionados com consumo de energia elétrica no SAA, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Dados energéticos de sistema de abastecimento de água

| Sigla | Variável |
|---------------|---|
| Con_{TE-HP} | Consumo total de energia em horário de ponta (KWh/mês) |
| Con_{TE-FP} | Consumo total de energia fora de horário de ponta (KWh/mês) |
| DEX_{EE} | Valor das despesas com energia elétrica (R\$/KWh) |
| DEX_T | Despesa total de exploração |

- **Dados por Unidade do SAA**

A primeira unidade do SAA é a Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB), onde são utilizados Conjuntos Motor e Bomba (CMBs) para a retirada de água bruta dos mananciais de abastecimento. Os parâmetros relacionados com essa unidade se referem aos volumes de água de entrada e saída da unidade, além dos referentes à energia elétrica consumida nos CMBs. No Quadro 6 são relacionados os dados referentes à unidade EEAB.

Quadro 6 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Estação Elevatória de Água Bruta

| SIGLA | Variável |
|-----------------|--|
| $V_{ab_{cap}}$ | Vol. de água bruta captado/bombeado |
| $H_{man_{EAB}}$ | Altura manométrica |
| $Con_{EEAB-HP}$ | Consumo de energia elétrica na EAB em horário de ponta (KWh/mês) |
| $Con_{EEAB-FP}$ | Consumo energia elétrica na EAB fora horário de ponta (KWh/mês) |
| $DEX_{EEAB-HP}$ | Despesa de energia elétrica na EAB em horário de ponta (KWh/mês) |
| $DEX_{EEAB-FP}$ | Despesa de energia elétrica na EAB fora de horário de ponta |

A unidade subsequente é a Adutora de Água Bruta (AAB), que recebe água da EEAB e encaminha para a Estação de Tratamento de Água (ETA). Os parâmetros relacionados com essa unidade se referem aos volumes de água de entrada e saída da unidade, material e comprimento da adutora. No Quadro 7 são relacionados os dados referentes à unidade AAB.

Quadro 7 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Adutora de Água Bruta – AAB

| SIGLA | Variável |
|--------------|-------------------------------------|
| C_{AAB} | Comprimento |
| M_{AAB} | Material |
| V_{JusAAB} | Volume macromedido à jusante da AAB |

Na ETA é realizado o tratamento da água por meio de processos físicos, químicos e bacteriológicos, onde é utilizada água para lavagem dos equipamentos e energia elétrica para o funcionamento dos mesmos. No Quadro 8 são relacionados os dados referentes à unidade ETA.

Quadro 8 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Estação de Tratamento de Água - ETA

| SIGLA | Variável |
|---------------------|--|
| V_{JusETA} | Volume macromedido à jusante da ETA |
| V_{Serv} | Vol. de serviço |
| Con_{ETA-HP} | Consumo de energia elétrica na ETA em horário de ponta (KWh/mês) |
| Con_{ETA-FP} | Consumo de energia elétrica na ETA fora de horário de ponta (KWh/mês) |
| $Con_{EEAT-ETA-HP}$ | Consumo de energia elétrica na Elevatória de Água Tratada - EAT da ETA em horário de ponta (KWh/mês) |
| $Con_{EEAT-ETA-FP}$ | Consumo de energia elétrica na EAT da ETA fora de horário de ponta (KWh/mês) |

No Reservatório Apoiado (RAP) é realizado o armazenamento de água para abastecer a população. Os parâmetros relacionados a essa unidade se referem aos volumes de entrada e de saída da mesma, podendo ocorrer vazamentos e extravasamentos no RAP. No Quadro 9 são relacionados os dados referentes à unidade RAP.

Quadro 9 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Reservatório apoiado

| SIGLA | Variável |
|---------------|--------------------------------------|
| $V_{MontRAP}$ | Volume macromedido à montante do RAP |
| V_{JusRAP} | Volume macromedido à jusante do RAP |

A água armazenada no RAP é recalçada pela Estação Elevatória de Água Tratada do setor de distribuição (EEAT-Setor), e encaminhada pela Adutora de Água Tratada (AAT) até o Reservatório Elevado do setor de distribuição (REL), para então ser distribuída à população. Os parâmetros relacionados à unidade Estação Elevatória de

Água Tratada se referem principalmente aos consumos de energia elétrica nos CMBs da EEAT, conforme relacionado no Quadro 10.

Quadro 10 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Estação Elevatória de Água Tratada do setor de distribuição

| SIGLA | Variável |
|-----------------------|--|
| $H_{manEEAT}$ | Altura Manométrica |
| $Con_{EEAT-Setor-HP}$ | Consumo de energia elétrica na EAT do Setor em horário de ponta (KWh/mês) |
| $Con_{EEAT-Setor-FP}$ | Consumo de energia elétrica na EAT do Setor fora de horário de ponta (KWh/mês) |

Os parâmetros relacionados à unidade Adutora de Água Tratada se referem aos volumes de água de entrada e saída da unidade, além do material e comprimento da tubulação, conforme relacionado no Quadro 11.

Quadro 11 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Adutora de Água Tratada – AAT

| SIGLA | Variável |
|---------------|--------------------------------------|
| C_{AAT} | Comprimento |
| M_{AAT} | Material |
| $V_{MontAAT}$ | Volume macromedido à montante da AAT |
| V_{jusAAT} | Volume macromedido na saída da AAT |

Os parâmetros relacionados à unidade Reservatório Elevado (REL) do Setor de distribuição se referem aos volumes de água de entrada e saída da unidade, e assim como no RAP, as perdas podem ocorrer por vazamentos e extravasamentos, conforme relacionado no Quadro 12.

Quadro 12 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Reservatório Elevado do Setor de distribuição

| SIGLA | Variável |
|---------------|--------------------------------------|
| $V_{MontREL}$ | Volume macromedido à montante do REL |
| V_{JusREL} | Volume macromedido à jusante do REL |

A rede de distribuição é considerada a unidade com maior índice de perdas entre os sistemas de abastecimento de água, onde os principais parâmetros relacionados à perda de água e ao consumo de energia elétrica são os volumes de entrada e saída da unidade, ou seja, o volume macromedido à jusante do REL e o volume consumido pelos usuários. No Quadro 13 são relacionados os parâmetros utilizados no modelo para a unidade Rede de distribuição.

Quadro 13 – Parâmetros hidroenergéticos referentes à unidade Rede de distribuição

| SIGLA | Variável |
|--------------|---|
| V_{Hd} | Vol. de água Consumido hidrometrado (m ³) |
| V_{Cons} | Vol. Total Consumido |

- **Índices de desempenho hidroenergético a serem utilizados no modelo**

Com base na pesquisa realizada nos bancos de dados do SNIS e no PNCDA, na fase 3 foram utilizados os dados selecionados e definidos os índices de desempenho hidroenergético empregados no modelo proposto.

O SNIS considera e disponibiliza 25 variáveis primárias e 52 variáveis financeiras para determinação de 54 índices de desempenho relacionados ao abastecimento de água dos municípios brasileiros.

Já o PNCDA propõe a determinação de índices de perdas físicas para as unidades de adução de água bruta, de tratamento e de distribuição de água, além do índice total de perda física de todo o SAA, totalizando 5 índices de perdas, além de 4 índices básicos, dentre eles, os índices de comerciais.

Assim, são propostos índices de perdas físicas para cada unidade do SAA para possibilitar a intervenção na gestão hidroenergética no sistema, com vistas à redução de perdas.

Também foram definidos os índices de consumo e despesas com energia elétrica nas unidades passíveis de tal medição, como as elevatórias de água bruta e de água tratada e a Estação de Tratamento de Água, para a avaliação do desempenho energético visando o uso racional de energia elétrica nos SAAs.

Além dos índices de perdas reais e de consumo e despesas com energia elétrica, foram definidos índices comerciais para a avaliação da influência do desperdício de água e de energia elétrica no desempenho comercial de SAAs, totalizando, com isso, 19 índices de desempenho hidroenergético de SAAs para inserção no modelo de gestão.

- **Grupo Obtenção**

O grupo obtenção de água bruta é constituído pelas unidades EEAB e adutora de água bruta. Os índices hidroenergéticos dessas unidades foram determinados por meio das Equações 3 e 4.

- 1) **Índice de Perda física na Adução de Água Bruta:** É a relação entre o volume captado e o volume aduzido (afluente à ETA).

$$I_{PerdaAd.} = \frac{V_{ab_{cap}} - V_{MontETA}}{V_{ab_{cap}}} \quad (\text{Eq. 3})$$

- 2) **Índice de consumo de energia em horário de ponta na EEAB:** É o consumo total de energia elétrica em horário de ponta em Estação Elevatória de Água Bruta por volume de água captado.

$$I_{CE_EEAB_HP} = \frac{CE_HP}{V_{ab}} \quad (\text{Eq. 4})$$

- **Grupo Processamento**

O grupo processamento de água é constituído pela unidade de tratamento de água (ETA). Os índices hidroenergéticos dessas unidades foram determinados por meio das Equações 5 a 9.

- 1) **Índice de Perda Real na Produção:** Considera as perdas reais na adução de água bruta e no tratamento.

$$I_{PerdaProd} = \frac{V_{ab_{cap}} - V_{jusETA}}{V_{ab_{cap}}} \quad (\text{Eq. 5})$$

- 2) **Índice de Perda Real no Tratamento:** Resulta da relação entre o volume aduzido (montante à ETA) e o volume produzido (Jusante à ETA).

$$I_{PerdaTrat} = \frac{V_{MontETA} - V_{JusETA}}{V_{MontETA}} \quad (\text{Eq. 6})$$

- 3) **Índice de consumo de energia em ETA em horário de ponta:** É o consumo total de energia elétrica em horário de ponta em Estação de Tratamento de Água por volume de água produzido.

$$I_{ConsETA-HP} = \frac{Con_{ETA-HP}}{V_{JusETA}} \quad (\text{Eq. 7})$$

- 4) **Índice de consumo de energia em EEAT da ETA em horário de ponta:** É o consumo total de energia elétrica em horário de ponta em Estação Elevatória de Água Tratada localizada na Estação de Tratamento de Água por volume de água produzido.

$$I_{ConsEEAT-HP} = \frac{Con_{EEAT-ETA-HP}}{V_{JusETA}} \quad (\text{Eq. 8})$$

- 5) **Índice de despesas com energia elétrica por volume produzido:** É a despesa com energia elétrica por volume produzido.

$$I_{DEXVol} = \frac{Dex_{EE}}{V_{JusETA}} \quad (\text{Eq. 9})$$

- **Grupo Distribuição**

O grupo processamento de água é constituído pelas unidades de distribuição de água, como EEAT, RAP, REL e setores de abastecimento de água. Os índices hidroenergéticos dessas unidades foram determinados por meio das Equações 10 a 18.

- 1) **Índice de consumo de energia em EEAT do Setor em horário de ponta:** É o consumo total de energia elétrica em horário de ponta em Estação Elevatória de Água Tratada do Setor de abastecimento por volume de água produzido.

$$I_{ConsEEAT} = \frac{Con_{EEAT-Setor-HP}}{V_{JusETA}} \quad (\text{Eq. 10})$$

- 2) **Índice de Perda Real no Reservatório Apoiado:** É a relação entre o volume macromedido montante ao RAP e o volume macromedido jusante ao RAP, sendo determinado um índice para cada reservatório apoiado existente no SAA, inclusive no RAP da ETA.

$$I_{PerdaResProd} = \frac{V_{montRAP} - V_{jusRAP}}{V_{montRAP}} \quad (\text{Eq. 11})$$

- 3) **Índice de Perda Real no Reservatório Elevado:** É a relação entre o volume macromedido montante ao REL e o volume macromedido jusante ao REL, sendo determinado um índice para cada reservatório elevado existente no SAA.

$$I_{PerdaResProd} = \frac{V_{montRAP} - V_{jusRAP}}{V_{montRAP}} \quad (\text{Eq. 12})$$

- 4) **Índice de Perda na Distribuição:** Relaciona o volume disponibilizado para distribuição ao volume consumido.

$$I_{PerdaDist.} = \frac{V_{jusREL} - V_{Cons}}{V_{jusREL}} \quad (\text{Eq. 13})$$

- 5) **Índice de Perda na Arrecadação:** Relaciona o volume produzido e o volume arrecadado.

$$I_{PArr} = \frac{V_{jusREL} - V_{Arr}}{V_{jusREL}} \quad (\text{Eq. 14})$$

- 6) **Índice de população não hidrometrada:** Relaciona o número de habitantes não hidrometrados e o número total de habitantes da localidade.

$$I_{popnHid} = \frac{(Pop_t - Pop_{hid})}{Pop_t} \quad (\text{Eq. 15})$$

- 7) **Índice Total de Perda Real:** É a relação entre o volume captado e o volume fisicamente utilizado no SAA (vol. consumido).

$$I_{PerdaTot.} = \frac{V_{abcap} - V_{cons}}{V_{abcap}} \quad (\text{Eq. 16})$$

- 8) **Índice de despesas com energia elétrica por setor do SAA:** É a relação entre a despesa com energia elétrica pela despesa total de exploração.

$$I_{DEXEE} = \frac{Dex_{EE}}{Dex_T} \quad (\text{Eq. 17})$$

- 9) **Índice de consumo de energia por setor do SAA em horário de ponta:** É o consumo total de energia elétrica em horário de ponta por volume de água produzido.

$$I_{CEESAA} = \frac{CON_{TE-HP}}{V_{JusREL}} \quad (\text{Eq. 18})$$

Para auxiliar no controle do desempenho hidroenergético de SAAs é proposta a utilização dos seguintes índices comerciais do sistema, que poderão demonstrar a eficiência da gestão do SAA em relação aos dados de faturamento e arrecadação (Equações 19 a 21):

- 1) **Água não Faturada:** Relaciona o volume disponibilizado para distribuição ao volume faturado.

$$I_{ANF} = \frac{V_{JusREL} - V_{Fat}}{V_{JusREL}} \times 100 \quad (\text{Eq. 19})$$

- 2) **Índice de volume faturado por economia ativa:** É a relação do volume faturado por economia ativa.

$$I_{VFEA} = \frac{V_{Fat}}{EC_{At}} \quad (\text{Eq. 20})$$

- 3) **Índice de volume arrecadado por economia ativa:** É o volume arrecadado por economia ativa.

$$I_{VAEA} = \frac{V_{Arr}}{EC_{At}} \quad (\text{Eq. 21})$$

4.2 MODELO COMPUTACIONAL EM PLATAFORMA SIG

O modelo funciona com uma estrutura modular, que inclui um módulo hidroenergético e um módulo SIG, vinculados a um banco de dados geográfico para registro e armazenamento dos dados. Esses módulos podem ser atualizados e aprimorados continuamente, com inserção de novas funcionalidades, visando melhorar a avaliação da gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água.

O módulo hidroenergético registra, armazena, sistematiza os dados e calcula os índices de desempenho hidroenergético, por meio de um algoritmo de cálculo, possibilitando ao usuário a visualização dos resultados por categoria (Setor de abastecimento e unidade) e por grupo (Dados operacionais, comerciais e de consumo e despesas com energia elétrica).

O módulo SIG permite a criação/edição de projeto, a adição de *geodatabases/shapefiles*, a configuração dos dados cartográficos, a visualização do banco de dados georreferenciado, a classificação e espacialização dos índices por graduação de cores, a identificação de unidades com indicadores acima da meta pré-estabelecida pelo usuário, por meio de ferramenta de alerta, além das ferramentas básicas de zoom e mover. Esse módulo possibilita a inserção e edição da topologia e os dados vinculados a ela, por meio da utilização do mouse e dos ícones de inserção de dados cartográficos.

O modelo SIGHE2A dispõe de banco de dados para armazenamento dos dados de entrada dos SAAs, assim como para os resultados gerados por eles. Esse banco de dados é parte fundamental em todo o processo de comunicação entre o módulo SIG e o módulo hidroenergético.

Para dar base ao desenvolvimento do modelo foi construído seu diagrama de classes, onde são apresentadas as associações de composição que representam os relacionamentos utilizados no modelo para a construção dos índices de desempenho hidroenergéticos e para a espacialização dos mesmos, conforme representado no Esquema 16.

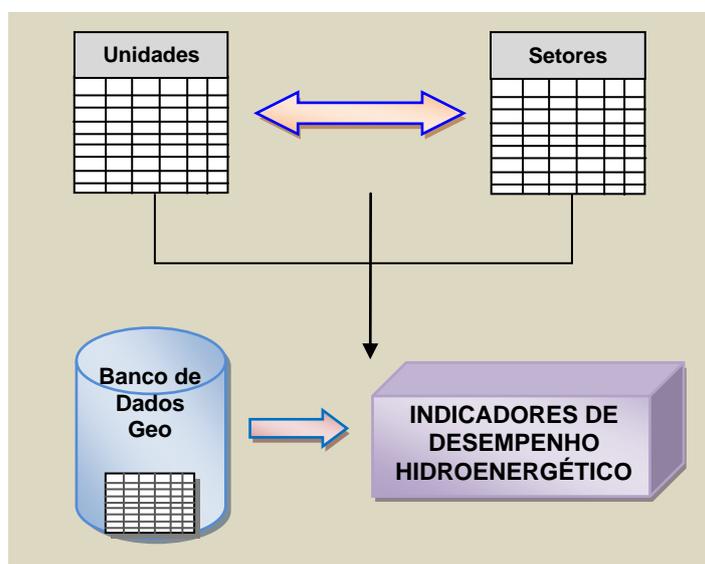
4.2.1 Banco de dados geográfico

Na construção do banco de dados foi utilizado o *MySQL*, um SGBD que usa a linguagem SQL, onde a principal interface gráfica, fornecida pela *Oracle corporation*, é denominada *MySQL Workbench*, a qual forneceu ferramentas para a execução de consultas, administração do sistema, modelagem, criação e manutenção da base de dados por meio de um ambiente integrado. A interface de modelagem de base de dados do *MySQL Workbench* possibilitou a definição das entidades da base de dados, seus atributos e relacionamentos.

Apesar de ser desenvolvido como um SIG autônomo, ou seja, com utilização independente de qualquer *software*, o SIGHE2A necessita da instalação prévia do aplicativo *MySQL* no *hardware* a ser utilizado.

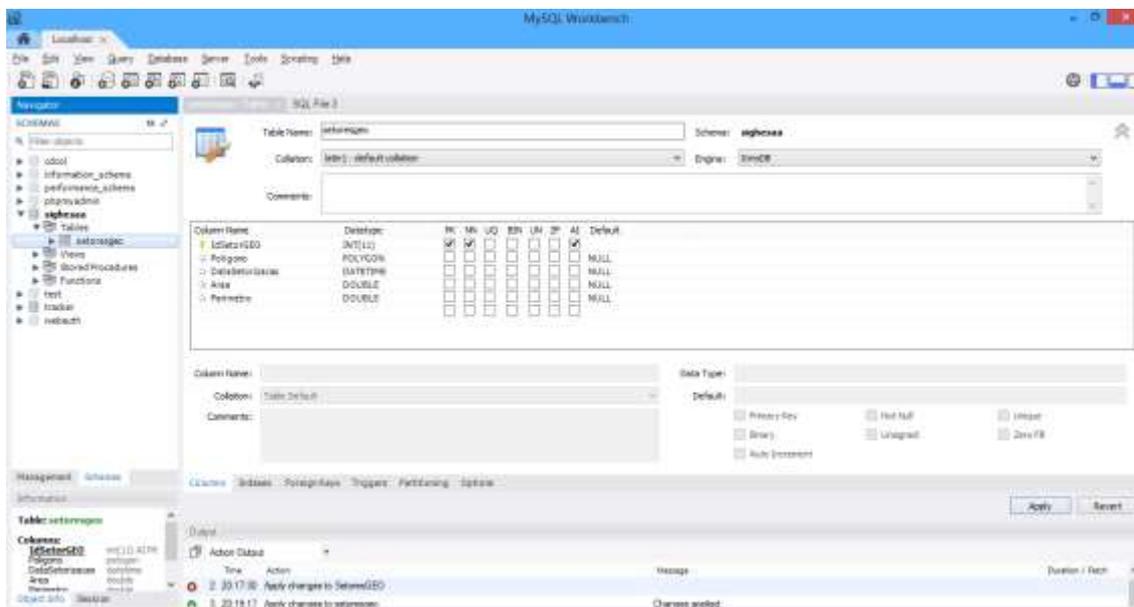
Para possibilitar o relacionamento entre as variáveis das diferentes feições a serem trabalhadas no modelo, como variáveis de pontos e linhas (feição “Unidades” - ETA, EEAB, EEAT, REL, RAP e adutoras) e polígonos (feição setores de abastecimento de água), foi construído um banco de dados constituído de cinco tabelas, uma para cada unidade do SAA. Com isso, na tese foi definida concepção e desenvolvido um banco de dados geográfico de maneira descentralizada, sendo subdividido em: banco de dados geográfico do modelo, e as tabelas de atributos das feições Unidades e Setores de Abastecimento de Água, que poderão se relacionar para a geração de indicadores de desempenho, conforme representado no Esquema 17.

Esquema 17 – Desenvolvimento do banco de dados do modelo



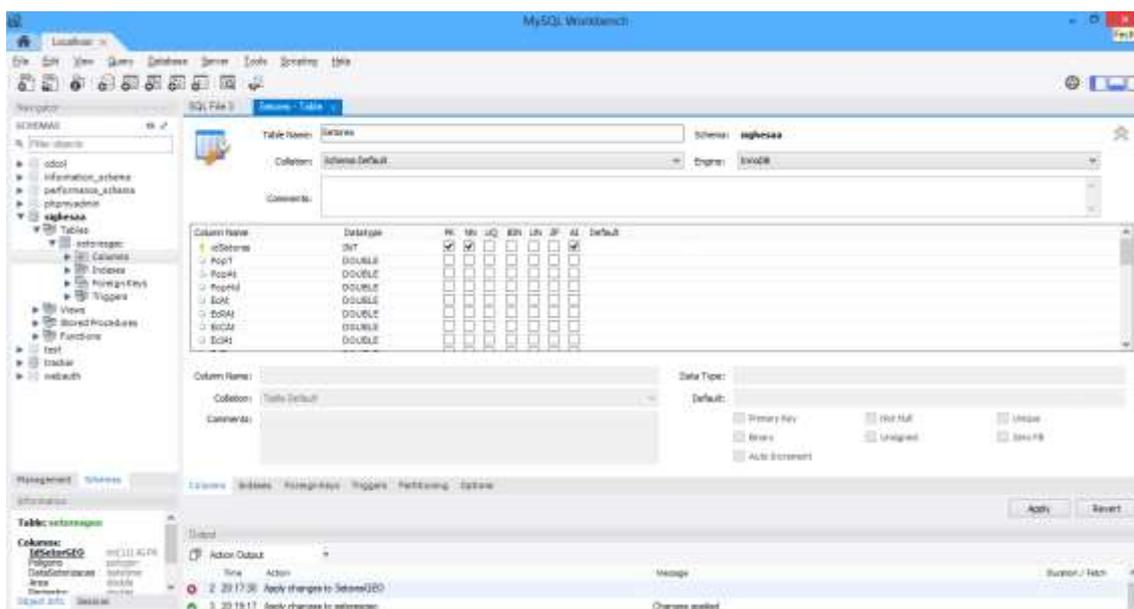
Na Figura 10 é exemplificada a construção do banco de dados geográfico “SetoresGEO”, utilizando o SGBD *MySQL Workbench*, onde foram inseridas as características dos polígonos que constituem os setores de abastecimento de água.

Figura 10 – Construção do banco de dados geográfico “SetoresGEO” no *MySQL Workbench*



Na construção das tabelas de atributos e vinculação das mesmas ao banco de dados geográfico foram inseridos, no *MySQL*, os parâmetros definidos na Etapa 1, que servirão para a construção dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA, conforme exemplificado na Figura 11 para o banco de dados “Setores”.

Figura 11 – Construção do banco de dados “Setores” no *MySQL Workbench*



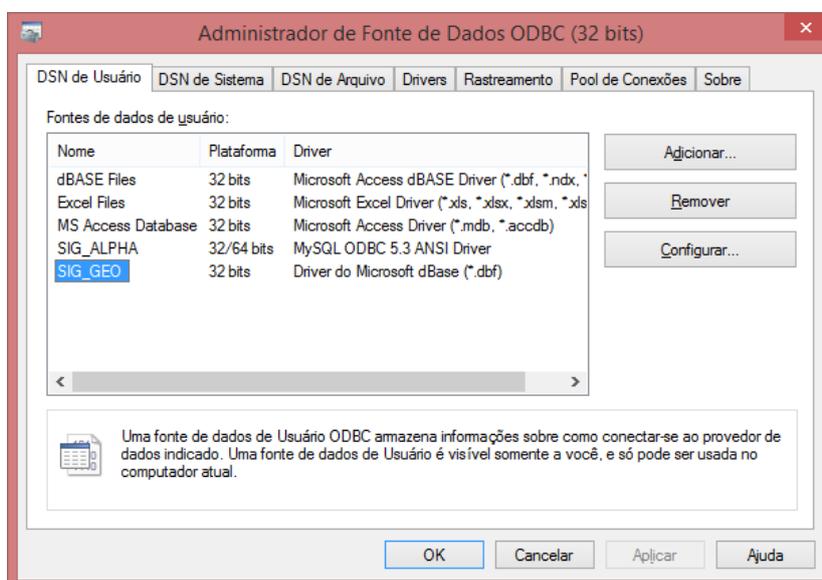
O banco de dados desenvolvido para o modelo armazena os dados hidroenergéticos primários do SAA e os índices calculados pelo sistema, que grava todas as informações inseridas no projeto com o comando “salvar projeto”, permitindo ao usuário começar um novo projeto ou abrir um projeto salvo, a cada inicialização do sistema.

No trabalho optou-se por utilizar o formato *Geodatabase* para o banco de dados geográfico, pois além de possibilitar o armazenamento e a vinculação de dados de atributos e espaciais (base cartográfica), possui várias vantagens em relação ao formato *Shapefile*, já mencionadas no capítulo 2. Porém, o modelo computacional desenvolvido permite a adição tanto do formato *shapefile* quanto do *geodatabase*, já que são os mesmos formatos utilizado pelos SIGs comerciais, o que permite a importação e exportação de dados entre os SIGs mais utilizados.

Para o registro de dados no banco de dados do MySQL foi utilizado o driver Conector ODBC (acrônimo para *Open Database Connectivity*) para MySQL, que é um driver de banco de dados padronizado para Windows. O Conector ODBC utiliza cinco componentes para se conectar ao banco de dados e realizar o registro e armazenamento dos dados.

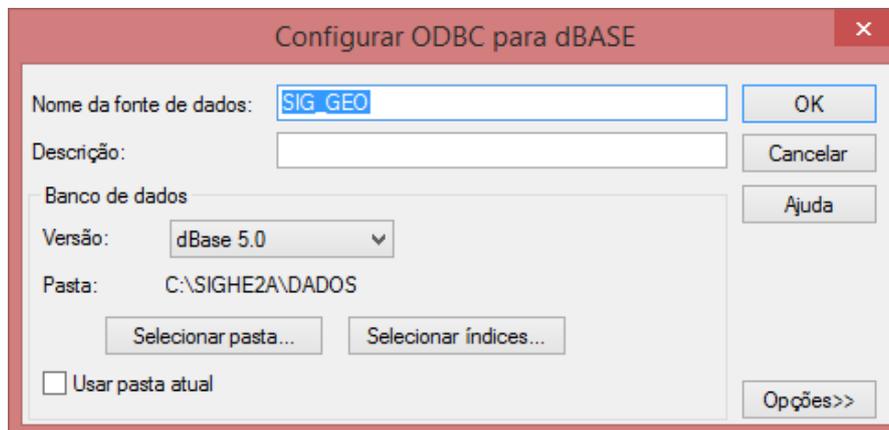
Assim, por meio da ferramenta de cadastro, o aplicativo usa o ODBC para acessar os dados do servidor MySQL. O ODBC, por sua vez, se comunica com o Gerenciador de driver, que por meio de uma aplicação *Data Source Names* (DSN) se comunica com o conector ODBC (Figura 12).

Figura 12 – Conector ODBC para MySQL



O conector ODBC foi configurado para acessar e armazenar dados no diretório criado para o projeto, no caso, C:\SIGHE2A\DADOS, onde o banco de dados MySQL foi salvo (Figura 13).

Figura 13 – Configuração do Conector ODBC para MySQL



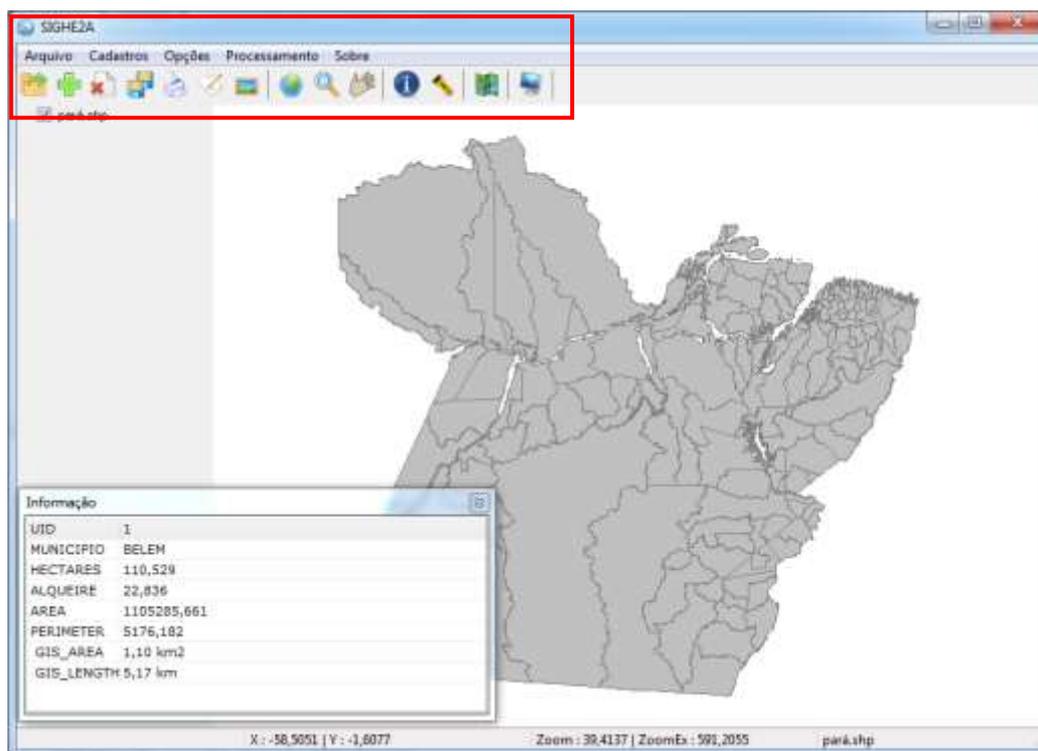
O armazenamento dos dados e indicadores na tabela de atributos dos geodatabases utilizados foi realizado por meio da criação de uma coluna em comum, que serviu de link para vinculação dos dados hidroenergéticos cadastrados com as feições dos geodatabases estudados. Assim, para cada geodatabase foi criada uma coluna em comum, denominada IdGeo, que foi utilizada na codificação dos algoritmos para lançamento dos dados e indicadores no banco de dados geográfico.

4.2.2 Módulo SIG

As ferramentas inerentes ao SIG foram desenvolvidas com o auxílio do *TatukGIS Developer Kernel*, vinculado ao Delphi XE5. O *TatukGis* é considerado um poderoso componente GIS (SDK) para o desenvolvimento de aplicações personalizadas, sendo ideal para a adição de produtos e funcionalidade GIS em *softwares* já existentes, assim como para a construção de novas aplicações, que é o caso do SIGHE2A.

Esse sistema, em sua versão inicial, oferece funcionalidades de análise de dados para gerar mapas temáticos com base nos valores de dados GIS das tabelas de atributos, além de fornecer outras ferramentas básicas de SIG. Com isso, foi possível

Figura 15 – Janela de visualização do SIGHE2A

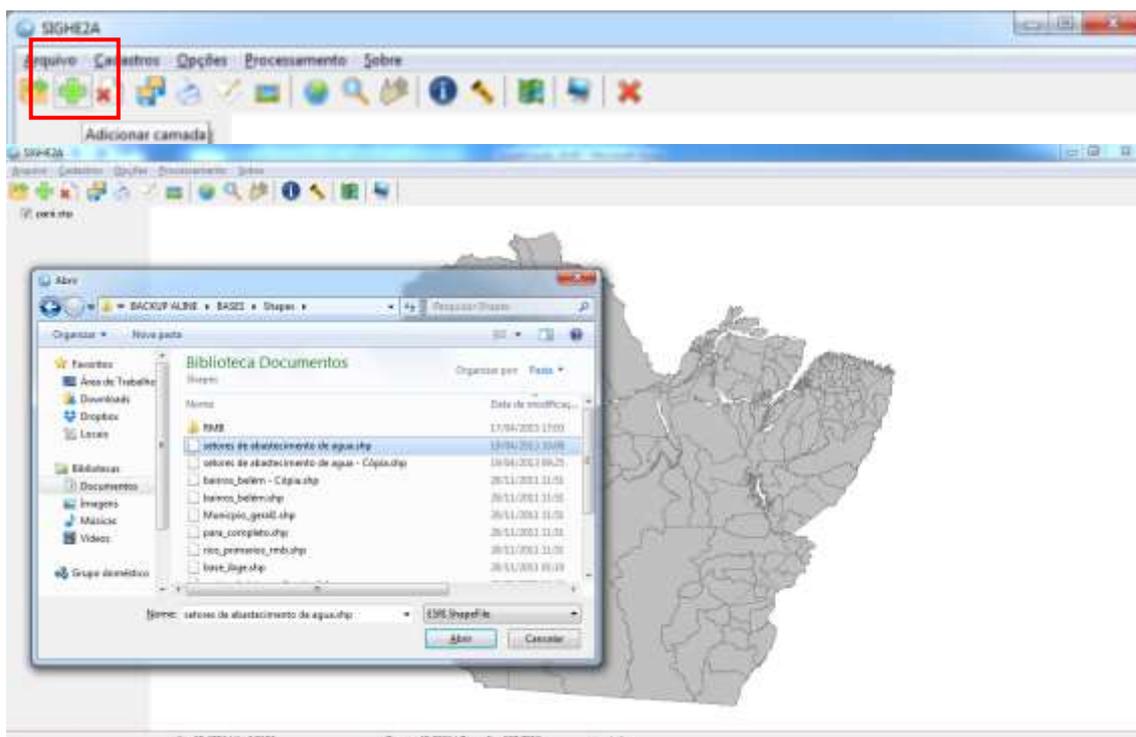


A seguir são apresentadas as principais ferramentas do módulo SIG criadas por meio do Componente TatumGis e da IDE Delphi XE5.

- **Ferramenta Adicionar Camada**

A ferramenta “Adicionar” foi desenvolvida de forma a possibilitar a seleção e a inserção dos *Geodatabases* ou *shapefiles* a serem trabalhados no modelo, por meio da janela de visualização dos arquivos, mostrada na Figura 16.

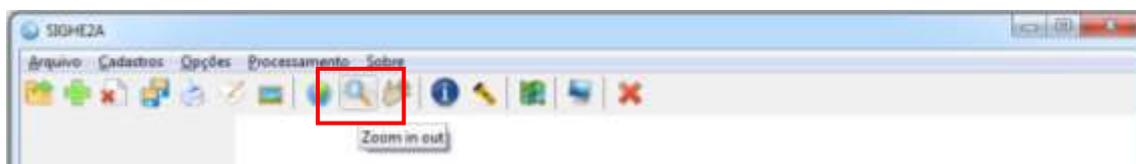
Figura 16 – Janela de visualização da ferramenta “Adicionar” do SIGHE2A



- **Ferramenta Zoom**

No módulo SIG do SIGHE2A foi prevista ferramenta de zoom para auxiliar na visualização das unidades do SAA, aumentando ou diminuindo a visualização do desenho na tela. A ferramenta zoom funciona por meio do mouse, com o cursor formando um quadrado à direita para aumentar o zoom e um quadrado à esquerda para diminuir o zoom. A ferramenta zoom é ilustrada na Figura 17.

Figura 17 – Ferramenta Zoom do SIGHE2A

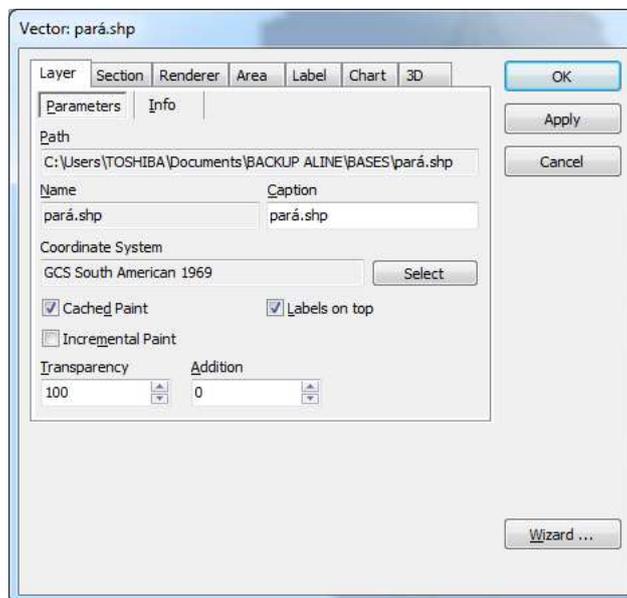


- **Ferramenta de Configuração das feições**

Para facilitar a visualização dos dados hidroenergéticos no modelo foi desenvolvida ferramenta de configuração das feições, constituída de três abas:

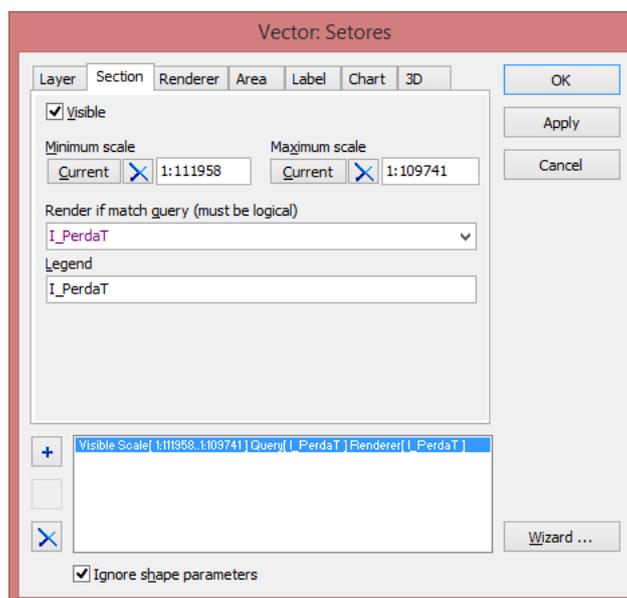
- a) A aba “*Layer*” para configuração geral da feição, contendo o endereço do arquivo no ficheiro, o nome do arquivo e o ícone para seleção da projeção de referência (*Datum*) da feição, conforme mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Aba *Layer* da ferramenta de configuração das feições no SIGHE2A



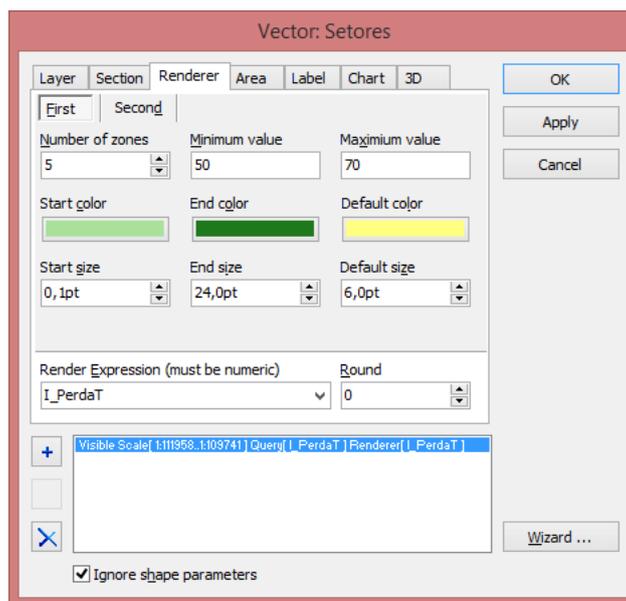
- b) A aba “*Section*” para o seccionamento ou corte da feição cartográfica, com base em um intervalo mínimo e máximo de resultados de cada coluna do banco de dados, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Aba *Section* da ferramenta de configuração das feições no SIGHE2A



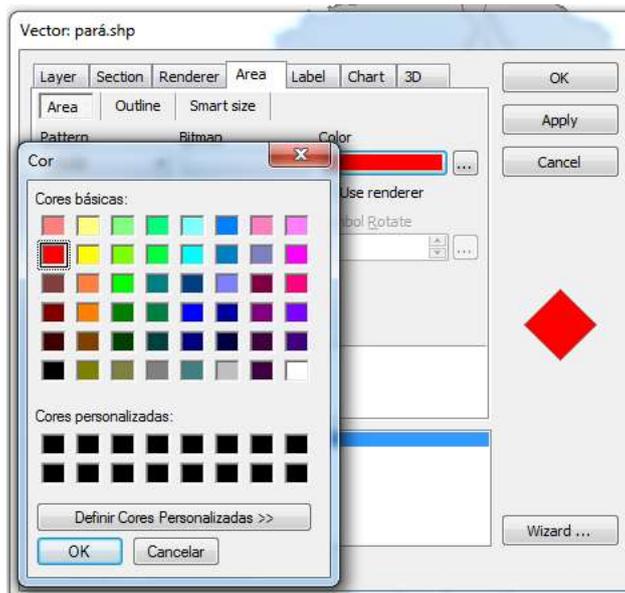
- c) A aba “*Renderer*” permite a configuração de feições para mapas de graduação de cores, possibilitando a definição do indicador de desempenho do SAA (coluna do banco de dados) e do número de classes a serem utilizados na graduação de cor, do intervalo numérico a ser classificado, das tonalidades de cores inicial e final, da espessura de linhas da feição e do tamanho de texto utilizado na feição, conforme mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Aba *Renderer* da ferramenta de configuração das feições do SIGHE2A



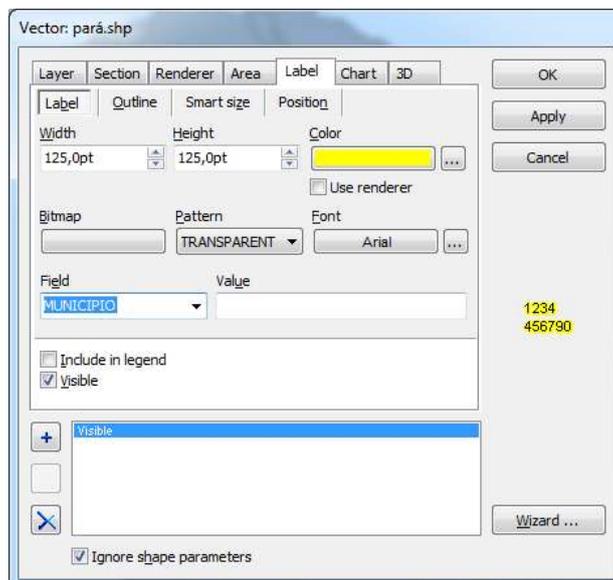
- d) A aba “*Área*” permite a configuração de cores das bordas (*Outline*), do preenchimento (*Área*) e do tamanho das feições adicionadas, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Ferramenta de configuração de cores das feições do SIGHE2A



- e) A aba “Label” possibilita a alteração do tamanho, cores e posição do texto das feições, a ser mostrado na janela de visualização do mapa, conforme mostrado na Figura 22.

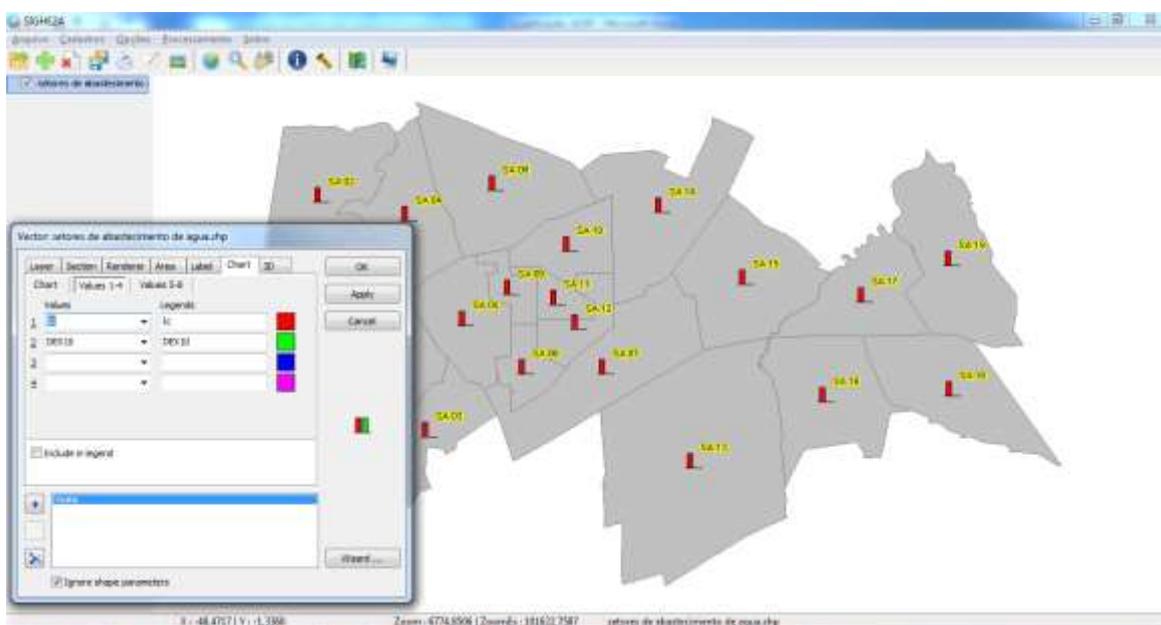
Figura 22 – Ferramenta de configuração do texto das feições do SIGHE2A



- **Ferramenta *Chart***

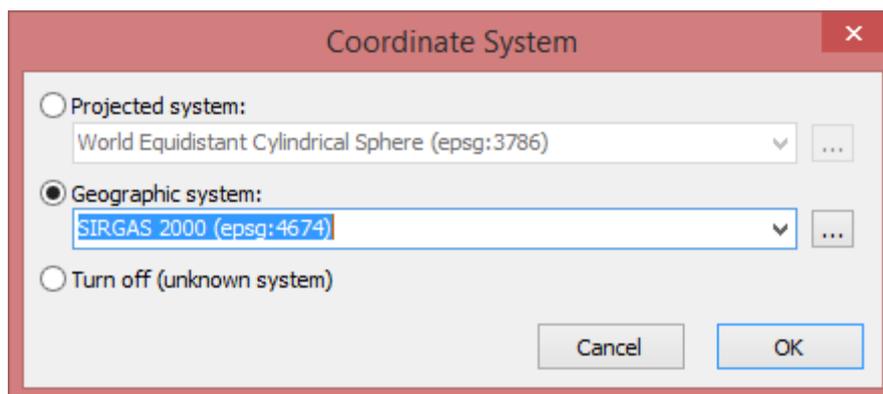
No módulo SIG também foi prevista ferramenta para construção de gráficos tipo pizza e colunas espacializados sobre o mapa, com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados dos indicadores para cada setor de abastecimento de água. Na janela de configuração de feições, o usuário poderá clicar na aba *Chart* e identificar o tamanho e o estilo do gráfico (se de coluna ou de pizza), e nas abas de valores (1 a 4 e 5 a 8), selecionar as cores e os parâmetros (indicadores) a serem utilizados na confecção dos gráficos, podendo selecionar até oito parâmetros, conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Ferramenta *Chart* do SIGHE2A



- **Ferramenta *Coordinate System***

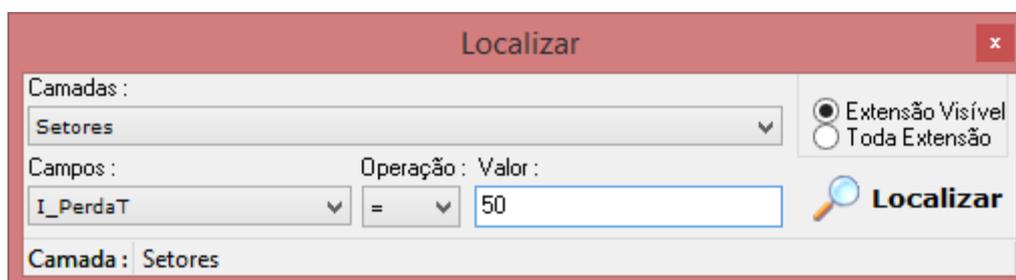
O modelo SIGHE2A possui ferramenta para seleção do sistema de coordenadas, onde podem ser configurados sistemas projetados (em metros) ou geográficos (graus), conforme mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Ferramenta *Coordinate System* do SIGHE2A

- **Ferramenta Localizar**

Também foi construída ferramenta para pesquisa, onde podem ser localizados valores no banco de dados geográfico em cada camada visível ou adicionada ao SIGHE2A, selecionando a camada, o campo (coluna) e o valor a ser pesquisado, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 – Ferramenta Localizar do SIGHE2A



- **Biblioteca de ajuda do SIGHE2A (Ferramenta Help)**

Para auxiliar os usuários do SIGHE2A, iniciantes no uso de SIG ou não, foi desenvolvida a biblioteca de ajuda que enfoca o uso desse modelo de SIG na gestão hidroenergética de abastecimento de água.

Ao passar o mouse sobre botões ou itens de *menu* no sistema, o usuário pode acessar as dicas para cada ferramenta e identificá-la facilmente na biblioteca de ajuda, apresentada no apêndice do trabalho.

A biblioteca de ajuda, em formato pdf, apresentada no apêndice do presente trabalho, pode ser acessada por meio do ícone em forma de livros, e descrito como

“Abrir a Ajuda” na barra de ferramentas do SIGHE2A, conforme mostrado na Figura 26 e na Figura 27.

Figura 26 – Ferramenta de acesso à biblioteca de ajuda do SIGHE2A

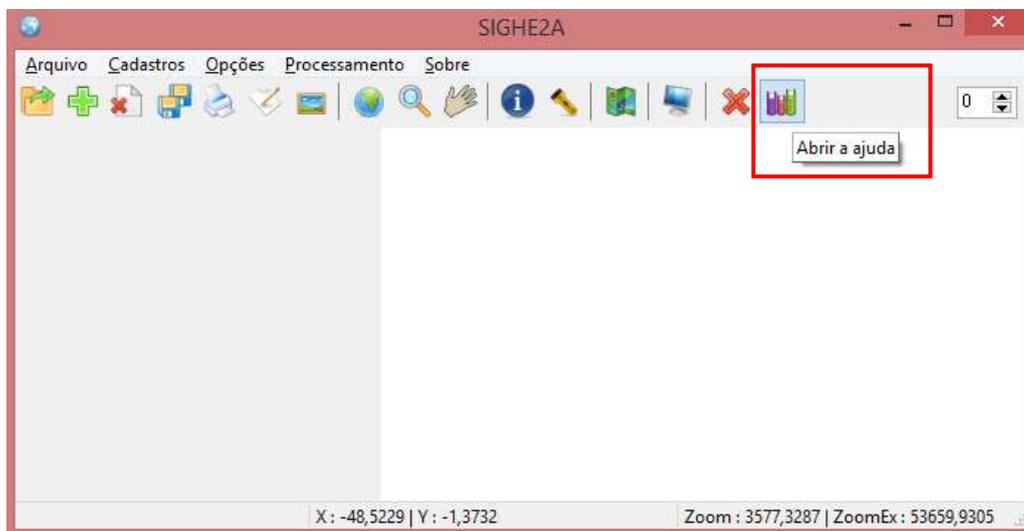
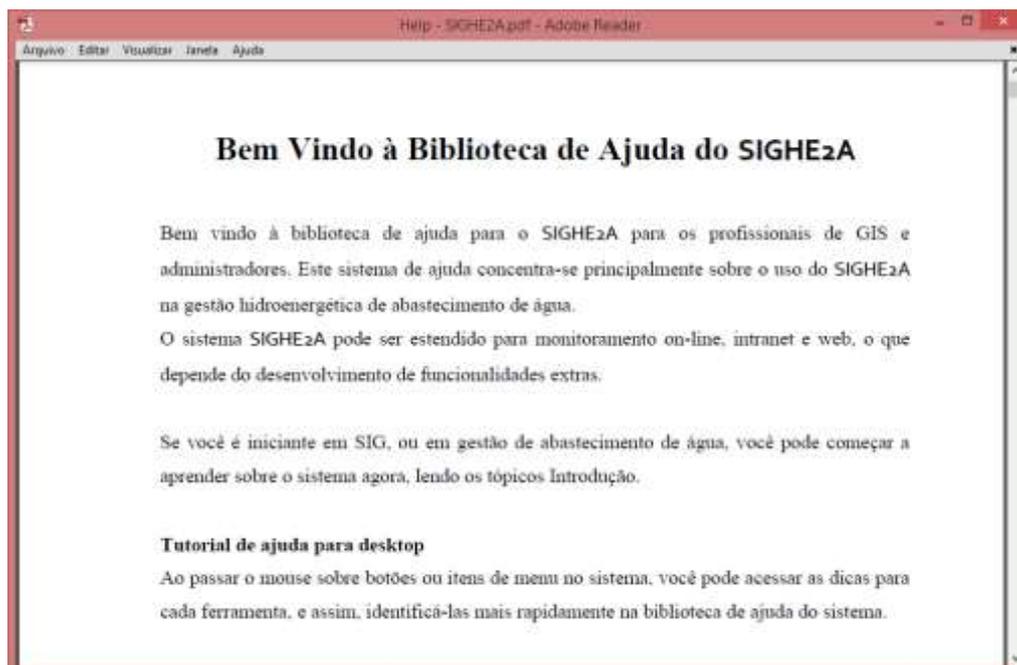


Figura 27 – Biblioteca de ajuda do SIGHE2A



4.2.3 Módulo Hidroenergético

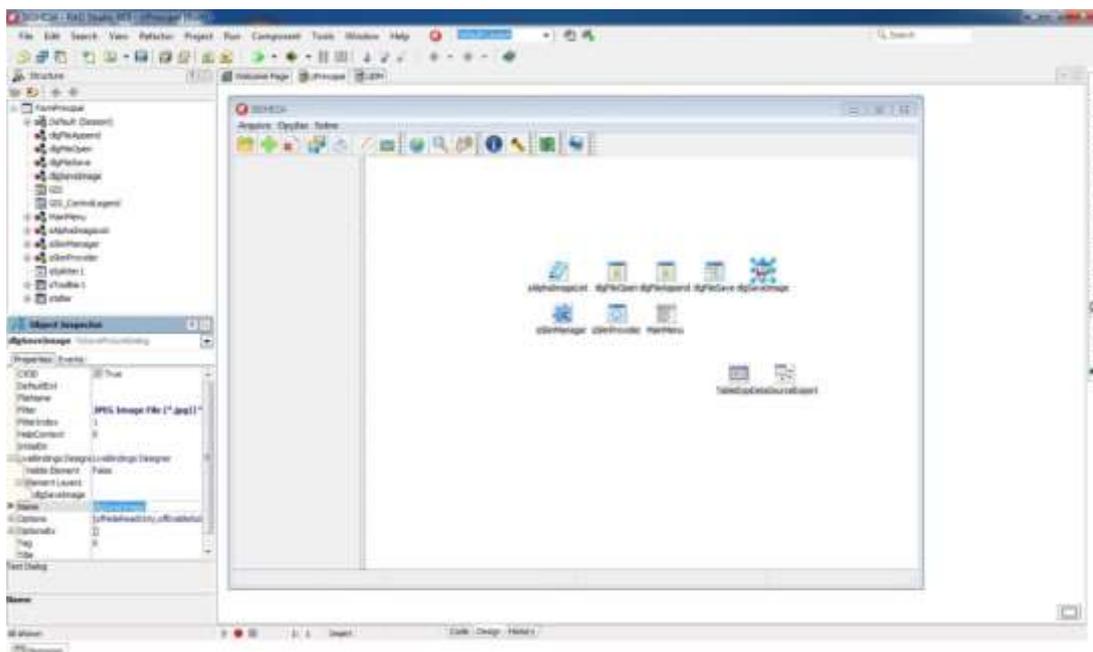
Para que o modelo de SIG seja aplicável à SAAs, é proposta a utilização de ferramentas específicas para a avaliação do desempenho hidroenergético desses sistemas. Assim, foram desenvolvidas as ferramentas de aplicação do módulo

hidroenergético e os algoritmos para as formulações já definidas na fase 3 da etapa 1, utilizando a linguagem de programação *Object Pascal*, por meio da IDE Delphi XE5, criando assim, um banco de dados contendo os dados de entrada (cadastro de variáveis primárias) e os dados de saída, que são os índices de desempenho hidroenergéticos do SAA a ser simulado.

Neste ambiente foram construídas as janelas da aplicação de maneira visual, arrastando e soltando componentes que irão compor a interface com o usuário, com o auxílio do formulário (*form*), e da *Unit*, onde foram inseridos os algoritmos para criação/adequação do banco de dados de indicadores hidroenergéticos.

Na Figura 28 é apresentada a janela de desenvolvimento da plataforma Delphi XE5, onde é possível visualizar a janela *Form* e a criação da barra de ferramentas do modelo, que, com o auxílio do componente *Main Menu* do Delphi, foram criados os ícones para as ferramentas.

Figura 28 – construção da barra de ferramentas do modelo na Janela de desenvolvimento da plataforma Delphi XE5

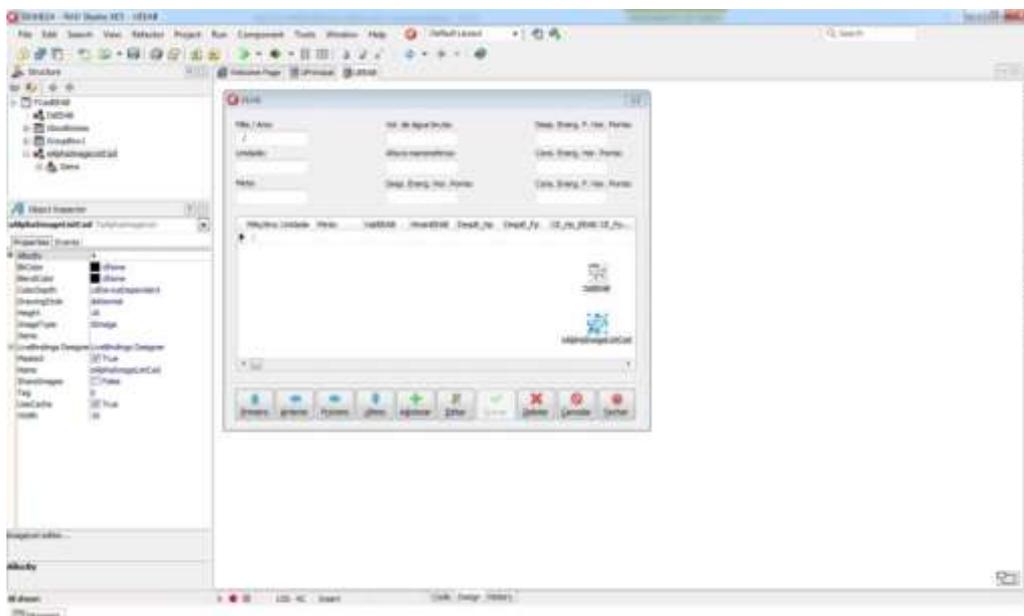


- **Ferramenta Cadastro**

Utilizando a mesma metodologia da criação da barra de ferramentas, foi criada a barra de ferramentas “Cadastro” para inserção dos dados de entrada no modelo

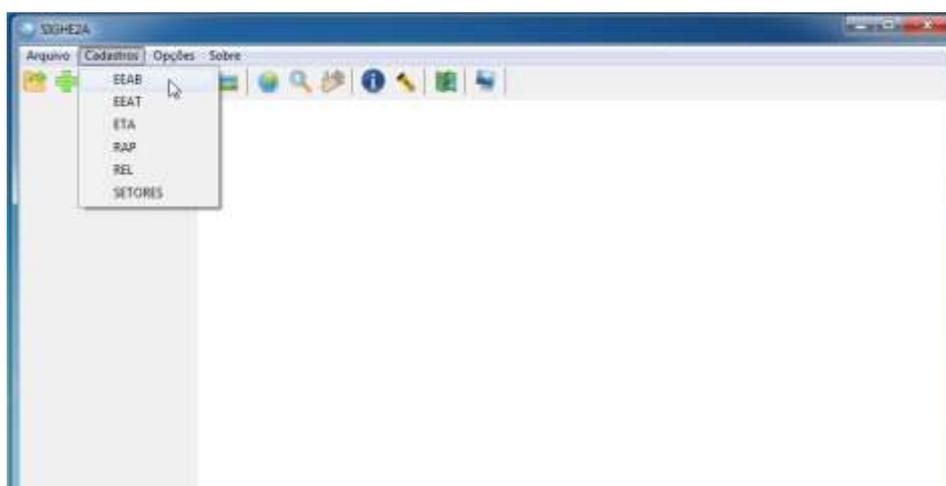
de SIG, que serão utilizados nas formulações para a construção dos indicadores de desempenho, conforme exemplificado na Figura 29.

Figura 29 – Construção da ferramenta Cadastro na plataforma Delphi XE5



Na ferramenta “Cadastro” foram configurados *submenus* para seleção da tabela de atributos a ser preenchida com os dados, ou seja, em qual feição (unidade do SAA) serão vinculados os dados inseridos. Assim, selecionando a unidade de abastecimento a qual se referem os dados é possível inserir dados de setores de abastecimento ou de unidades de abastecimento, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30– Construção de *submenus* da ferramenta Cadastro na plataforma Delphi XE5



Por exemplo, clicando na ferramenta Cadastro, e selecionando “EEAB”, uma janela de entrada de dados será aberta, para inserção dos dados hidroenergéticos apresentados na Etapa 1 do trabalho, referentes à unidade EEAB, conforme representado na Figura 31.

Figura 31 – Ferramenta de Cadastro para a feição “EEAB” na plataforma Delphi XE5

| Mês/Ano | Unidade | Meta | VabEEAB | HmanEEAB | DespE_Hp | DespE_Fp | CE_Hp_EEAB | CE_Fp... |
|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|------------|----------|
| 05/2015 | RAP03 | 2,32 | 3,22 | 4,23 | 12 | 3 | 8 | |

Nessa janela foram configurados botões para seleção da linha do banco de dados a ser editada (botões: “Primeiro”, “Anterior”, “Próximo” e “Último”, identificados com setas azuis), além de botões para adicionar, editar, gravar e deletar dados, cancelar e fechar a janela.

O modelo SIGHE2A foi desenvolvido de modo a permitir sua utilização em rede, por meio de servidor online (nuvem), o que possibilita a inserção e a atualização dos dados em todos os usuários do sistema. Em sua versão atual foi utilizado servidor em nuvem (online), com capacidade inicial de 50 GB para armazenamento dos dados hidroenergéticos do SAA simulado, que, com as vantagens da utilização do SGBD *MySQL*, facilita a atualização simultânea dos dados no modelo.

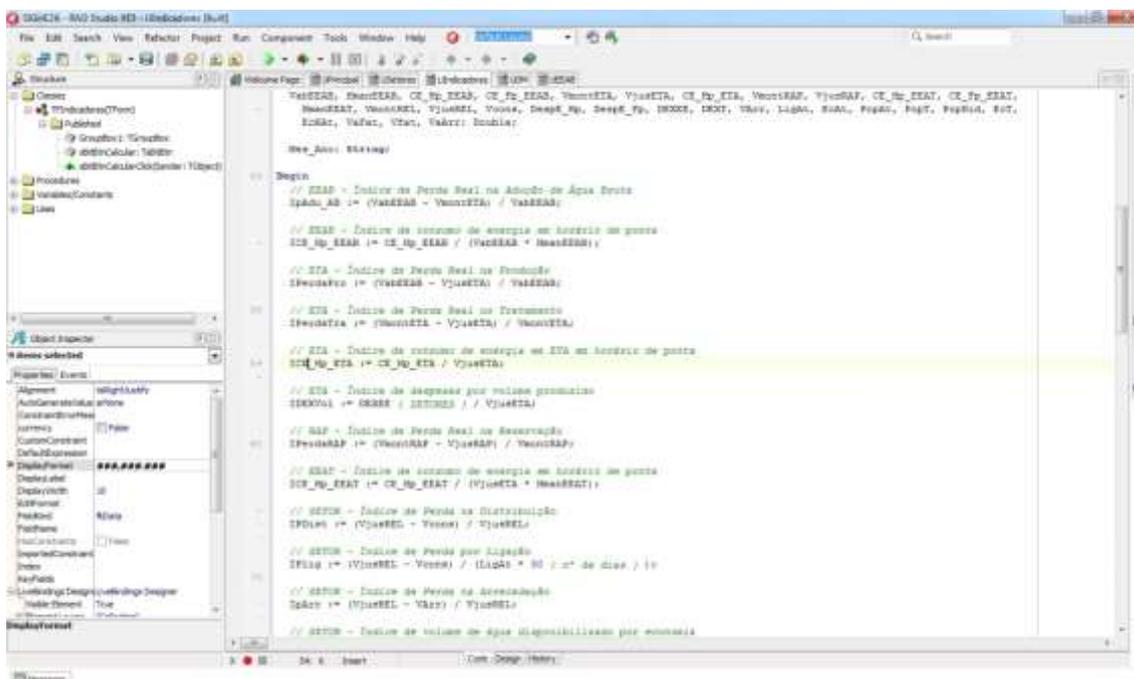
- **Ferramenta Calcular indicadores**

Para a construção da ferramenta “Calcular indicadores” foram inseridos os algoritmos das formulações para construção dos indicadores de desempenho hidroenergético de SAAs. Os parâmetros definidos e inseridos nas tabelas de atributos

do modelo se relacionarão entre si para geração da tabela de indicadores de desempenho.

Na Figura 32 é apresentada a janela de visualização na construção dos dados de saída (cálculo de indicadores de desempenho hidroenergético).

Figura 32 – Construção da ferramenta de saída de dados na plataforma Delphi XE5



Para a construção dos indicadores de desempenho hidroenergético foi criado *menu* “Processamento” e o *submenu* “Calcular indicadores”, onde o usuário do SIGHE2A poderá indicar o mês e ano de referência e calcular os indicadores, conforme mostrado na Figura 33.

Figura 33– Construção da ferramenta “calcular indicadores” do SIGHE2A



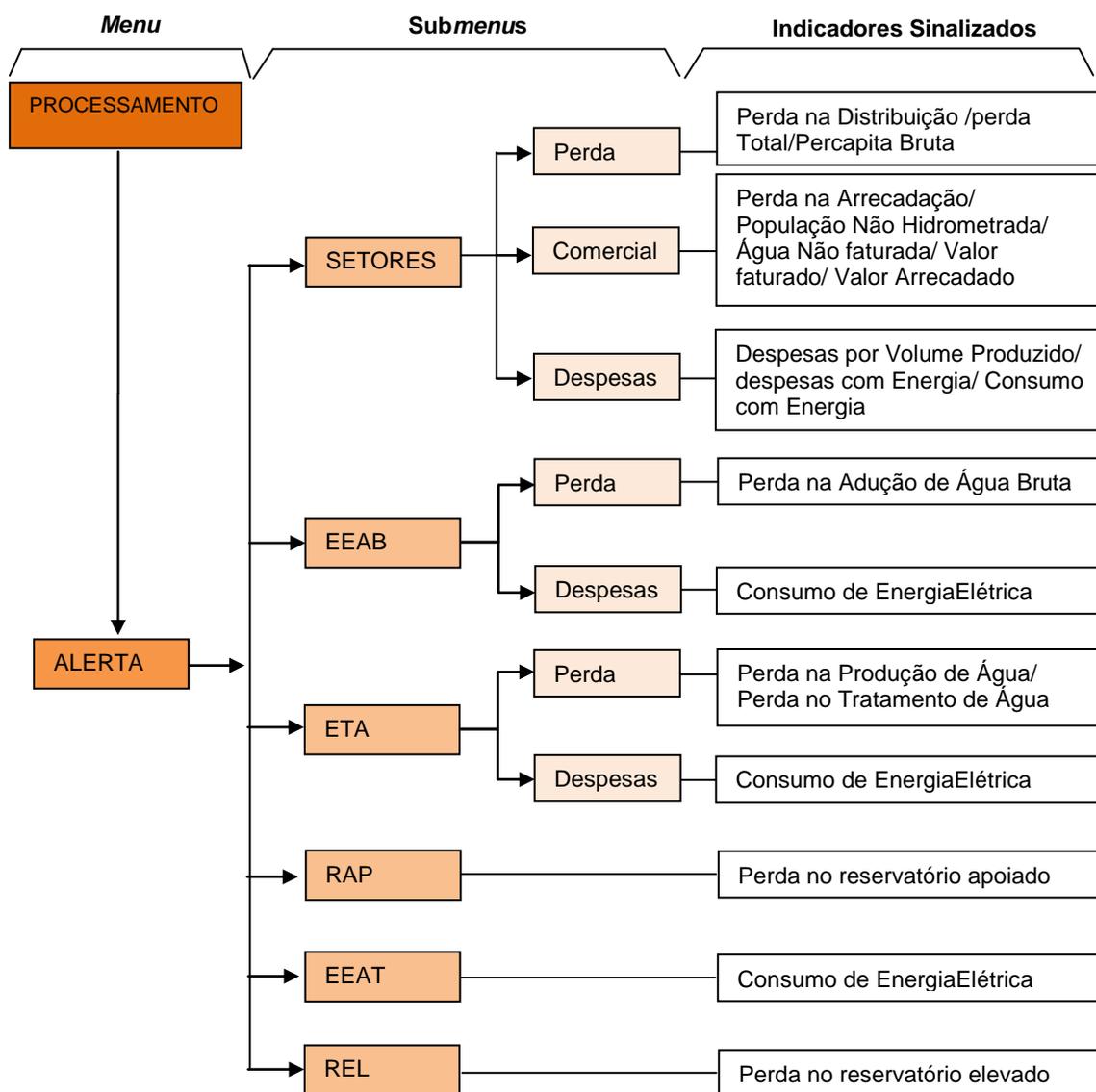
- **Ferramenta Alerta**

Além da função para calcular indicadores, na ferramenta “Processamento” foram adicionados *submenus* para a função “Alerta”, que compara os resultados dos indicadores calculados com as metas pré-estabelecidas pelo gestor, e emite sinal de

Alerta (pisca) nas feições cartográficas das unidades do sistema de abastecimento que apresentam problemas em relação à gestão hidroenergética, ou seja, as unidades cujos indicadores ficaram acima das metas pré-estabelecidas pelo usuário do sistema.

A função “Alerta” permite acionar a sinalização para cada unidade ou setores de abastecimento, e ainda por categoria de perdas de água, comerciais e de despesas de exploração, que inclui os indicadores de consumo e despesas com energia elétrica no SAA. Com isso, o usuário do sistema seleciona a ferramenta “Processamento”, a função “Alerta”, em seguida, a unidade, a categoria, e o indicador a ser comparado com a meta para sinalização da feição correspondente, conforme demonstrado no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – Construção da ferramenta “Alerta” do SIGHE2A

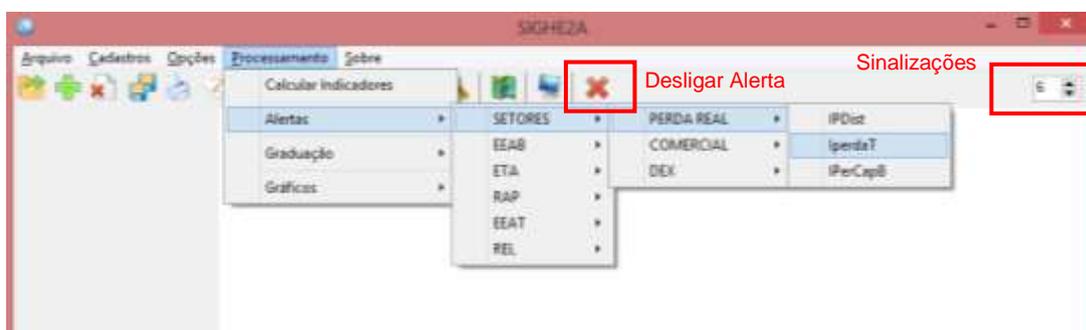


O modelo desenvolvido permite a configuração do número de sinalizações (piscas) a serem mostrados na janela de visualização, por meio de botão no canto superior direito da janela. Assim, o usuário do sistema poderá inserir, por exemplo, o número 6 na ferramenta, e a unidade do SAA com indicadores acima da meta pré-estabelecida na janela de cadastro, piscará 6 vezes.

Além disso, foi criada ferramenta para desligar as sinalizações de alerta nas unidades do sistema de abastecimento de água. Para isso, o usuário deverá clicar no botão “Desligar Alerta” representado por um X em vermelho.

Na Figura 34 são mostrados os *menus* e *submenus* da ferramenta Alerta no SIGHE2A e a ferramenta para configuração de sinalizações de alerta.

Figura 34 – Construção da Ferramenta “Alerta” do SIGHE2A



- **Ferramenta Gradação**

O modelo SIGHE2A, por meio da ferramenta “Processamento”, no *submenu* “Gradação”, permite a construção de mapas de gradação de cor para os principais indicadores hidroenergéticos relacionados à feição “Setores”, que possui a topologia em polígonos, o que possibilita o preenchimento de cores. ‘

Dessa forma, os resultados dos indicadores hidroenergéticos relacionados aos setores de abastecimento de água são representados por meio de diferentes tonalidades, usualmente, com o pior indicador com a tonalidade mais forte e o melhor com a tonalidade mais fraca, possibilitando uma melhor visualização e análise do desempenho hidroenergético nos setores de abastecimento de água.

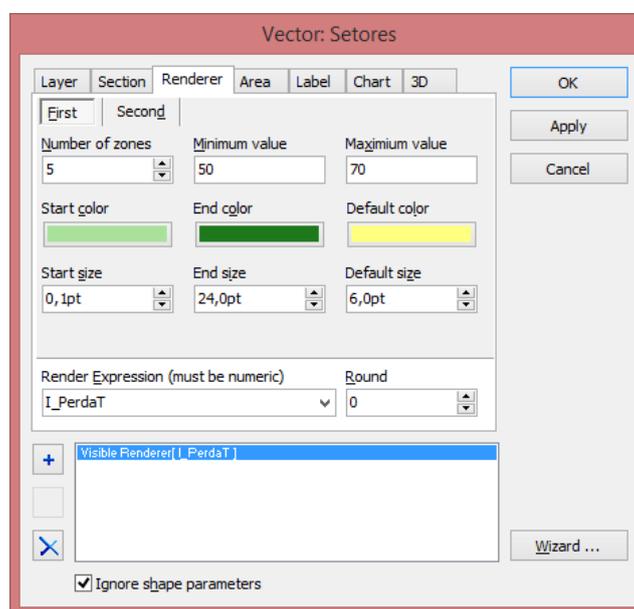
Ao clicar no *menu* “Processamento”, e nos *submenus* “Gradação” e selecionar os indicadores (Figura 35), o modelo SIGHE2A automaticamente gera o mapa de gradação de cor com configurações padrão, que podem ser alteradas por meio

da ferramenta de configuração de feições, na aba *Renderer*, já apresentada no item 4.2.2 (Figura 36).

Figura 35 – Construção da ferramenta para geração de mapas de graduação de cor

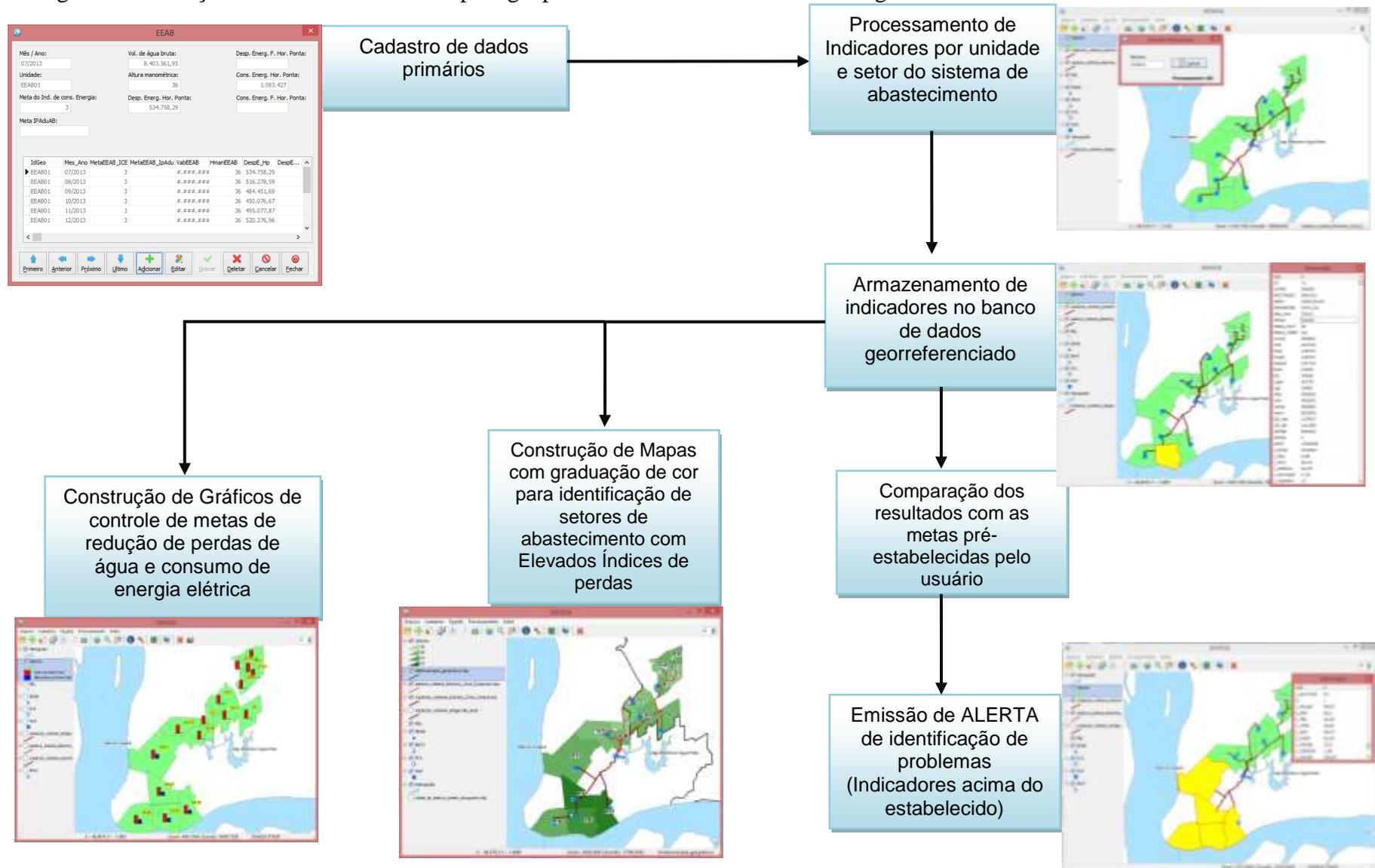


Figura 36 – Ferramenta de configuração de feições para mapas de graduação de cor



No Fluxograma 2 é apresentado o resumo das funções do modelo de SIG para a avaliação da eficiência hidroenergética de SAAs.

Fluxograma 2 – Funções do modelo SIGHE2A para geoprocessamento de dados hidroenergéticos

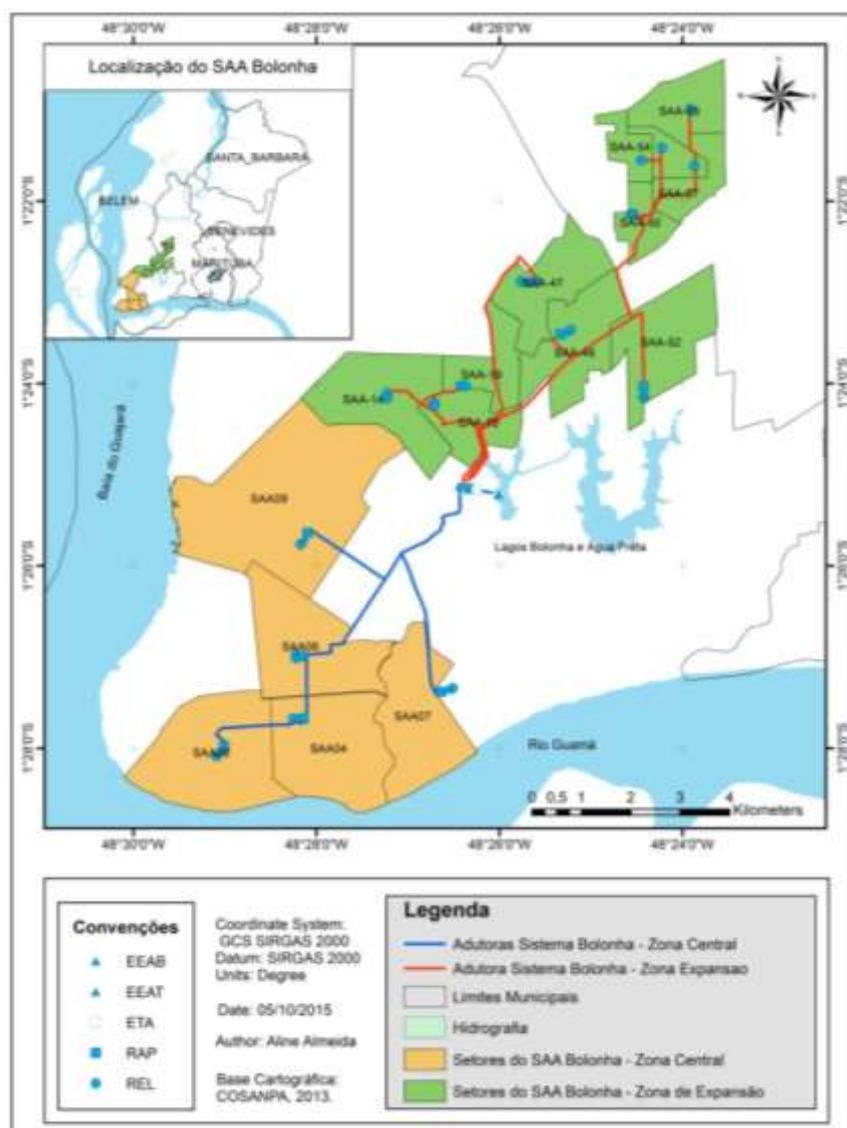


CAPÍTULO 5 – RESULTADOS: APLICAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO NO ESTUDO DE CASO DO SAA BOLONHA

Para validar a aplicabilidade do modelo desenvolvido foi realizada simulação da avaliação de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha, administrado pela Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA.

O SAA Bolonha está localizado na Região Metropolitana de Belém (RMB), Estado do Pará, e abrange os municípios de Belém e Ananindeua, entre as coordenadas 1°22' e 1°28' de latitude Sul e 48°24' e 48°30' de longitude Oeste de Greenwich, conforme representado na Figura 37. Esse sistema é subdividido em 2 subsistemas: Sistema Bolonha - Zona Central e Sistema Bolonha - Zona de Expansão.

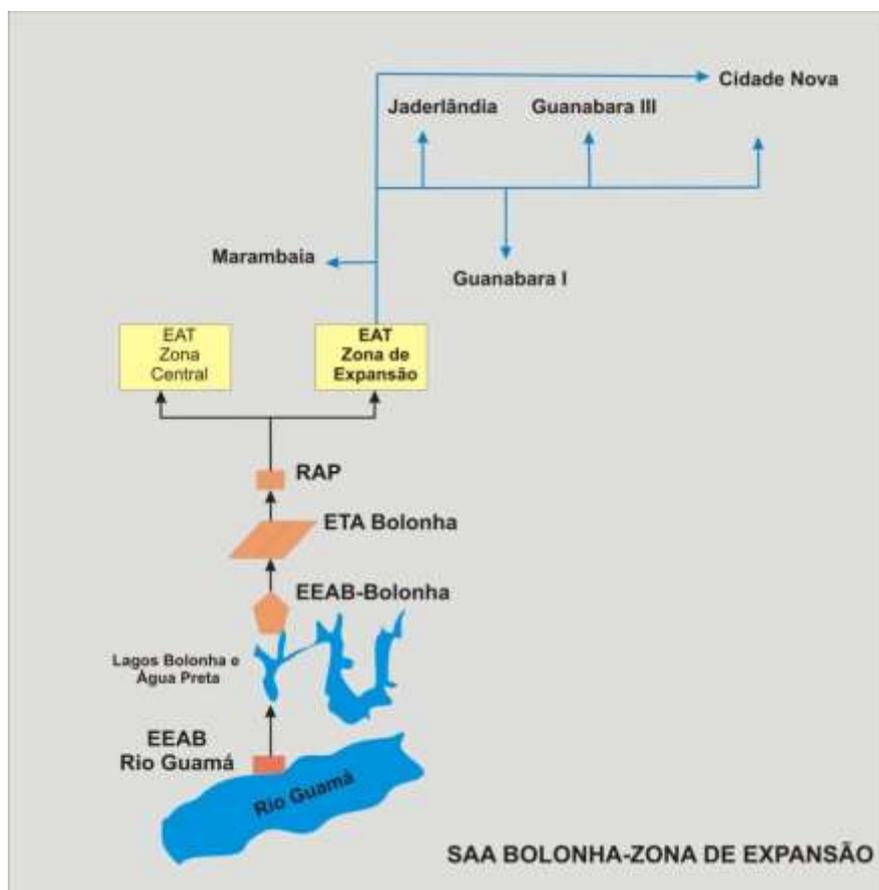
Figura 37 – Mapa de localização do SAA Bolonha



O Sistema Bolonha – Zona Central é constituído por cinco setores, os setores 4, 6, 7, 8 e 9 da zona Central do município de Belém, que atende os bairros Jurunas, Condor, Cremação, Guamá, São Braz, Canudos, Terra Firme, Fátima, Pedreira, Sacramento, Telégrafo, parte dos bairros Batista Campos, Umarizal, Marco e Souza. Já o Sistema Bolonha – Zona de expansão é constituído por dez setores de abastecimento de água, os setores 14°, 15°, 19°, 46°, 47°, 50°, 52°, 54°, 55° e 57°, que abastecem os bairros Marambaia e Castanheira, do município de Belém; e Atalaia, Jaderlândia, Guanabara, Cidade Nova, e parte dos Bairros Águas Lindas, providência, Coqueiro.

Esse sistema capta água do rio Guamá por meio da EEAB Rio Guamá, que encaminha a água para armazenamento nos lagos Água Preta e Bolonha. Em seguida, a água é captada dos lagos por meio da EEAB Bolonha, e conduzida pela adutora de água bruta até a ETA Bolonha, onde é realizado o tratamento convencional da água. Após o tratamento, a água é recalçada até os reservatórios dos setores da zona Central e da zona de expansão, por meio da EEAT Zona Central e EEAT Zona de Expansão, respectivamente, conforme representado no Esquema 18.

Esquema 18 – Etapas da captação, produção e distribuição de água no SAA Bolonha



No estudo de caso foi realizado o levantamento dos dados hidroenergéticos desses sistemas para a construção do banco de dados geográfico e a simulação da avaliação do desempenho hidroenergético.

5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS HIDROENERGÉTICOS

Para o armazenamento de dados no banco de dados georreferenciado construído para o modelo desenvolvido, foram levantados os dados hidroenergéticos referentes aos setores e às unidades do SAA Bolonha Zona Central e Zona de Expansão, já definidos na Etapa 1.

Os dados de volume à montante e à jusante de cada unidade do SAA, de consumo e de despesas com energia elétrica nas unidades de bombeamento foram obtidos apenas para o mês de julho de 2013, devido à dificuldade de obtenção junto à COSANPA, haja vista a falta de registro, armazenamento e sistematização de todos os dados necessários para a avaliação do desempenho hidroenergético das unidades do SAA. Dificuldade essa, comum em todo o território brasileiro. Assim, os dados foram obtidos em formato .xls e inseridos no modelo desenvolvido.

Nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 são relacionados os dados obtidos para as unidades EEAB, ETA, RAP, EEAT, REL e Setores de abastecimento de água do sistema Bolonha – Zona Central, respectivamente.

Tabela 2 – Dados da unidade Estação Elevatória de Água Bruta do SAA Bolonha do mês de julho de 2013.

| Mes_Ano | VabEEAB (m³) | Hman (m) | DespE_Hp (R\$) | CE_Hp_EEAB (KWh) | CE_Fp_EEAB (KWh) |
|----------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| jul/13 | 8.403.561,95 | 26,00 | 534.758,29 | 7.083.427,73 | - |

Tabela 3 – Dados da unidade Estação de Tratamento de Água do Bolonha do mês de julho de 2013.

| Mes_Ano | VmontETA (m³) | VjusETA (m³) | Vserv (m³) | CE_Hp_ETA (KWh) | CE_Fp_ETA (KWh) |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| jul/13 | 8.238.786,22 | 7.921.909,83 | 316.876,39 | 5.242.927,00 | - |

Tabela 4 – Dados da unidade Reservatório Apoiado dos setores 04, 06, 07, 08 e 09 do SAA Bolonha Zona central do mês de julho de 2013.

| IdGeo | Mes_Ano | VmontRAP (m ³) | VjusRAP (m ³) |
|--------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| RAP04 | jul/13 | 1.075.176,79 | 1.075.176,79 |
| RAP06 | jul/13 | 912.447,33 | 912.447,33 |
| RAP07 | jul/13 | 929.882,63 | 929.882,63 |
| RAP08 | jul/13 | 958.941,46 | 958.941,46 |
| RAP09 | jul/13 | 1.017.059,13 | 1.017.059,13 |

Tabela 5 – Dados da unidade Estação Elevatória de Água tratada da ETA e dos setores 04, 06, 07, 08 e 09 do SAA Bolonha Zona Central do mês de julho de 2013.

| IdGeo | Mes_Ano | HmanEEAT (m) | CE_Hp_EEAT (KWh) | CE_Fp_EEAT (KWh) |
|-----------------|----------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| EEAT-ETA | jul/13 | 0,36 | 3.242.927,00 | - |
| EEAT04 | jul/13 | 0,36 | 388.984,24 | - |
| EEAT06 | jul/13 | 0,36 | 422.881,70 | - |
| EEAT07 | jul/13 | 0,36 | 487.737,75 | - |
| EEAT08 | jul/13 | 0,36 | 362.450,89 | - |
| EEAT09 | jul/13 | 0,36 | 327.846,80 | - |

Tabela 6 – Dados da unidade Reservatório Elevado dos setores 04, 06, 07, 08 e 09 do SAA Bolonha Zona Central do mês de julho de 2013.

| IdGeo | Mes_Ano | VmontREL (m ³) | VjusREL (m ³) |
|--------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| REL04 | jul/13 | 1.075.101,49 | 1.075.100,00 |
| REL06 | jul/13 | 912.082,39 | 912.081,00 |
| REL07 | jul/13 | 929.510,71 | 929.510,00 |
| REL08 | jul/13 | 958.557,92 | 958.557,00 |
| REL09 | jul/13 | 1.016.652,34 | 1.016.652,00 |

Tabela 7 – Dados dos Setores de Abastecimento de Água do SAA Bolonha Zona Central do mês de julho de 2013.

| IdGeo | SA04 | SA06 | SA07 | SA08 | SA09 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Vcons | 683.857,31 | 590.739,22 | 592.856,32 | 682.449,61 | 728.222,55 |
| Vhd | 443.731,54 | 416.409,84 | 396.874,51 | 553.466,62 | 563.644,25 |
| Popt | 149.707,00 | 105.154,00 | 103.095,00 | 162.488,00 | 211.079,00 |
| PopAt | 149.707,00 | 105.154,00 | 103.095,00 | 162.488,00 | 211.079,00 |
| Pophid | 131.742,00 | 84.123,00 | 88.662,00 | 146.239,00 | 170.974,00 |
| EcAt | 24.409,00 | 17.602,00 | 16.585,00 | 25.433,00 | 32.580,00 |
| Ect | 32.545,00 | 22.860,00 | 22.412,00 | 35.323,00 | 45.887,00 |
| LigAt | 16.779,00 | 14.005,00 | 9.712,00 | 19.116,00 | 22.171,00 |
| Ligt | 18.081,00 | 15.240,00 | 10.672,00 | 20.779,00 | 24.151,00 |
| Vfat | 560.503,01 | 471.931,15 | 450.318,96 | 624.441,38 | 640.835,84 |
| VArr | 482.032,59 | 396.422,17 | 364.758,36 | 499.553,11 | 525.485,39 |
| VaFat | 980.880,26 | 825.879,51 | 788.058,18 | 1.092.772,42 | 1.121.462,72 |
| VaArr | 823.939,42 | 677.221,20 | 640.691,30 | 874.217,93 | 863.526,29 |
| CE_Hpt | 788.984,24 | 722.881,70 | 787.737,75 | 662.450,89 | 627.846,80 |
| CE_Fpt | 121.368,10 | 133.863,20 | 134.307,86 | 136.539,65 | 142.865,22 |
| DEXEE | 203.307,52 | 296.681,22 | 262.814,12 | 169.225,47 | 159.735,62 |
| DEXT | 1.042.602,69 | 1.336.401,87 | 1.233.869,09 | 900.135,48 | 877.668,26 |

Os dados de volumes foram obtidos em metros cúbicos por mês (m³/mês), as despesas em Reais (R\$) e os consumos de energia elétrica em Quilowatt hora (KWh).

Os dados referentes ao SAA Bolonha - Zona de Expansão não foram obtidos em sua totalidade devido à insuficiência de dados registrados e organizados pela concessionária de saneamento. Assim, na Tabela 8 são relacionados os dados de volumes captados, tratados e consumidos nos setores de abastecimento de água da Zona de Expansão no mês de julho de 2013.

Tabela 8 – Dados dos Setores de Abastecimento de Água do SAA Bolonha Zona de Expansão do mês de julho de 2013.

| IdGeo | Vab_setor (m³) | Vtrat (m³) | Vcons (m³) |
|---------------|--|--|--|
| SAA-14 | 914.373,34 | 901063,46 | 488.732,55 |
| SAA-15 | 911.374,27 | 875736,45 | 469.540,02 |
| SAA-19 | 913.435,44 | 831921,76 | 517.917,89 |
| SAA-46 | 672.561,38 | 617888,25 | 344.351,42 |
| SAA-47 | 644.631,48 | 617194,55 | 351.324,16 |
| SAA-50 | 656.874,58 | 616447,27 | 336.976,66 |
| SAA-52 | 686.364,47 | 618116,25 | 356.909,52 |
| SAA-54 | 657.495,58 | 616743,25 | 357.283,10 |
| SAA-55 | 685.481,40 | 615843,83 | 349.458,42 |
| SAA-56 | 673.754,45 | 615537,63 | 362.479,89 |
| SAA-57 | 702.464,45 | 617335,33 | 394.082,56 |

Também nessa fase, foram obtidos os dados cartográficos que ajudaram a compor a base de dados utilizada na pesquisa. A cartografia referente aos SAAs estudados foi obtida na COSANPA. A base viária e limites de bairros utilizados no estudo foram fornecidos pela Companhia de Habitação de Belém (COHAB), e a hidrografia foi extraída do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os dados cartográficos da área utilizadas na pesquisa foram: - limite dos setores de abastecimento; base cartográfica com vias e nomenclatura; - localização cartográfica das unidades dos SAAs integrados (EEAB, ETA, EEAT, RAP e REL), - Hidrografia, conforme mostrado nas Figuras 38 a 41.

Esses dados foram obtidos, em formato geodatabase, com referência no *South American Datum* – SAD 1969, utilizado na América do Sul, na década de 70, e convertidos para SIRGAS – 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que é o *Datum* oficial do Brasil, desde o ano 2005, utilizando as ferramentas do próprio modelo proposto.

Figura 38 – Limite dos Setores de Abastecimento de Água

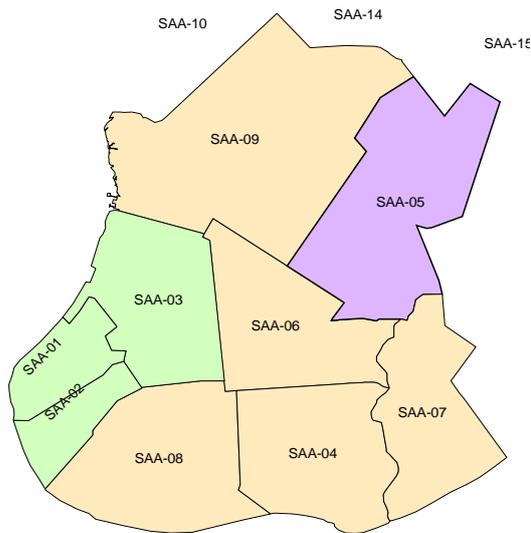


Figura 39 – Adutoras e unidades do sistema de Abastecimento de Água

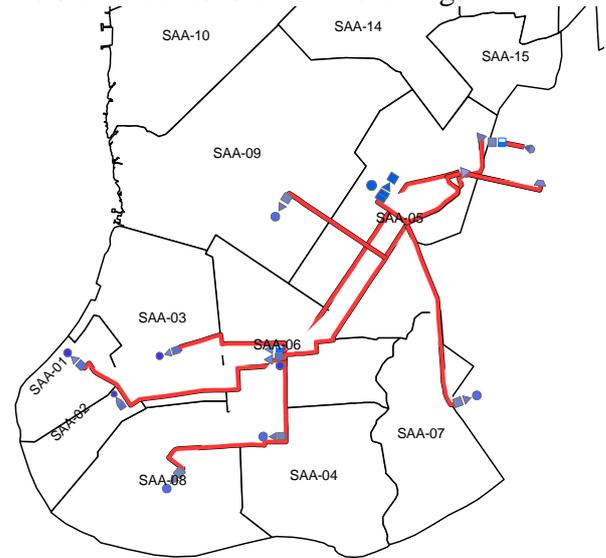


Figura 40 – Base viária da Zona Central de Abastecimento de Água



Figura 41 – Hidrografia da Área em estudo



4.3 ÍNDICE DE CONSUMO MÍNIMO DE ENERGIA

A determinação da energia mínima necessária para o funcionamento das unidades do SAA permite a comparação com os resultados da aplicação do modelo em relação ao consumo de energia utilizado, possibilitando a identificação e quantificação das perdas e das unidades com maior potencial de economia de energia.

A energia mínima teórica pode ser calculada com base nas equações 1 e 2, descritas no capítulo 2 (item 2.2.1), ou seja, é dada pelo produto da Potência mínima com o tempo.

O índice de consumo mínimo de energia elétrica nas EEATs foi determinado por meio da razão entre a energia mínima necessária e a vazão de água recalçada na unidade em metros cúbicos, e, subtraído do índice de consumo de energia na unidade do SAA, resulta na estimativa do consumo em excesso (perdas ou energia desperdiçada).

Apesar de solicitado para a concessionária de saneamento, não foram obtidos dados de consumo de energia elétrica em todas as unidades do SAA Bolonha, sendo utilizadas estimativas para a realização da simulação. Com isso, apenas foi possível a determinação dos índices de consumo mínimo de energia necessária para o funcionamento das EEATs do SAA Bolonha - Zona Central, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Índices de consumo mínimo de energia para as EEATs do SAA Bolonha

| IdGeo | H (m.c.a) | Vazão m³/s | Índice de Energia Mínima (KWh/m³) |
|--------------|------------------|------------------------------|---|
| EEAT04 | 43 | 0,41 | 0,12 |
| EEAT06 | 46 | 0,36 | 0,13 |
| EEAT07 | 48 | 0,36 | 0,13 |
| EEAT08 | 39 | 0,37 | 0,11 |
| EEAT09 | 37 | 0,39 | 0,10 |

Devido à falta de registro de dados pela concessionária de saneamento, na determinação do índice de energia mínima, os valores das alturas manométricas foram estimados. Os resultados obtidos para esse índice foram comparados com os resultados da aplicação do modelo desenvolvido, resultando nos valores de energia desperdiçada nas EEATs do SAA Bolonha - Zona Central.

5.2 SIMULAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDROENERGÉTICO DO SAA ESTUDADO

Após a obtenção dos dados hidroenergéticos e cartográficos do SAA Bolonha foi realizada a simulação da avaliação do desempenho hidroenergético do sistema de abastecimento.

Para o cadastro de dados foi criada uma coluna em comum nas tabelas de atributos de cada feição geográfica utilizada, denominada IdGeo. Essa coluna servirá de *link* para vinculação entre os dados hidroenergéticos cadastrados e as feições dos geodatabases estudados, possibilitando a espacialização dos indicadores de desempenho hidroenergético.

Na coluna IdGeo foram armazenadas as nomenclaturas para identificação de cada elemento cartográfico das feições. Por exemplo, na feição “Setores”, a coluna IdGeo identifica cada setor de abastecimento, conforme mostrado na Figura 42. O mesmo procedimento foi utilizado para as tabelas de atributos das feições EEAB, ETA, EEAT, RAP e REL.

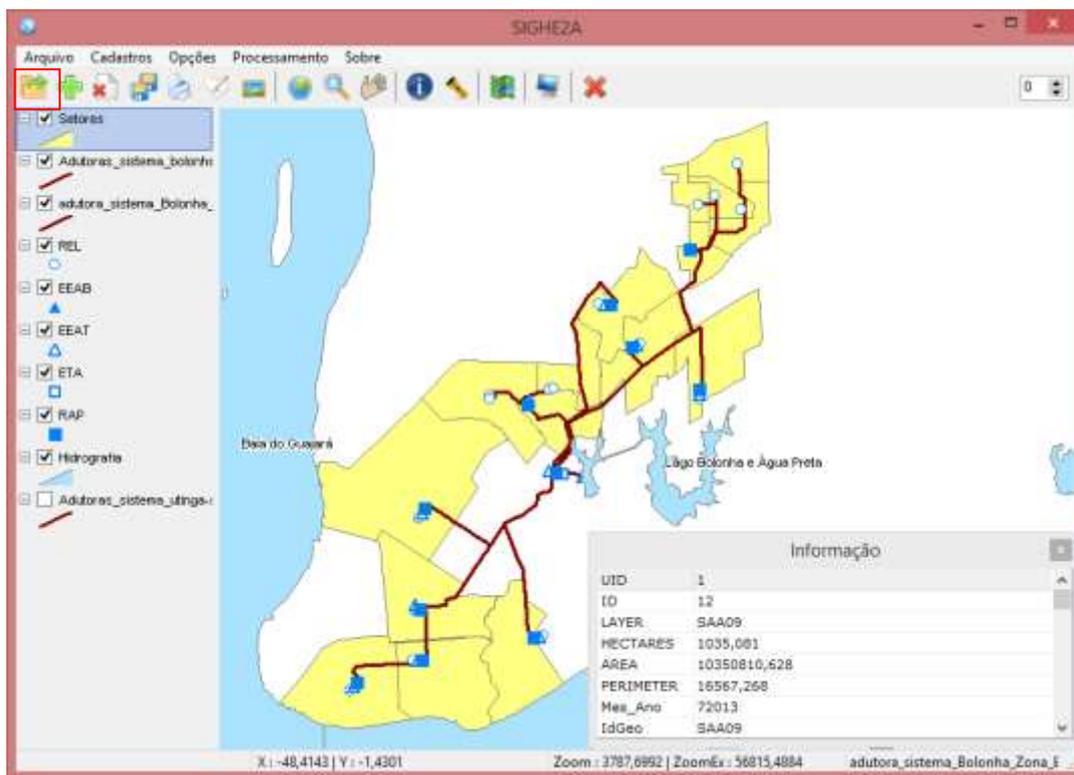
Figura 42 – Coluna IdGeo na tabela de atributos do geodatabase “Setores”



| Informação | |
|------------|--------------|
| UID | 1 |
| ID | 12 |
| LAYER | SAA09 |
| HECTARES | 1035,081 |
| AREA | 10350810,628 |
| PERIMETER | 16567,268 |
| Mes_Ano | 72013 |
| IdGeo | SAA09 |

Assim, foi criado um projeto no SIGHE2A para a realização da simulação, onde os geodatabases foram adicionados, já com a tabela de atributos configurada para armazenamento dos dados e indicadores hidroenergéticos, conforme mostrado na Figura 43.

Figura 43 – Geodatabases adicionados em Projeto para simulação no modelo SIGHE2A



5.2.1 Cadastro de dados hidroenergéticos do SAA Bolonha

Os dados do SAA Bolonha foram inseridos no modelo construído, por meio das ferramentas de cadastro, conforme mostrado nas Figuras 44 a 49, onde é exemplificado o registro dos dados hidroenergéticos da EEAB, ETA, EEAT, RAP, REL e Setores do SAA Bolonha, respectivamente.

Figura 44 – Cadastro de dados hidroenergéticos da EEAB Bolonha no modelo SIGHE2A

EEAB

Mês / Ano: 07/2013

Unidade: EEAB01

Meta do Ind. de cons. Energia: 3

Meta IPaduAB:

Vol. de água bruta: 8.403.561,95

Altura manométrica: 36

Desp. Energ. F. Hor. Ponta:

Cons. Energ. Hor. Ponta: 1.083.427

Desp. Energ. Hor. Ponta: 534.758,29

Cons. Energ. F. Hor. Ponta:

| IdGeo | Mes_Ano | MetaEEAB_ICE | MetaEEAB_IpAdu | VabEEAB | HmanEEAB | DespE_Hp | DespE... |
|--------|---------|--------------|----------------|---------|----------|------------|----------|
| EEAB01 | 07/2013 | 3 | | ##### | 36 | 534.758,29 | |
| EEAB01 | 08/2013 | 3 | | ##### | 36 | 516.278,59 | |
| EEAB01 | 09/2013 | 3 | | ##### | 36 | 484.451,69 | |
| EEAB01 | 10/2013 | 3 | | ##### | 36 | 450.076,67 | |
| EEAB01 | 11/2013 | 3 | | ##### | 36 | 495.077,87 | |
| EEAB01 | 12/2013 | 3 | | ##### | 36 | 520.276,96 | |

Primeiro Anterior Próximo Último Adicionar Editar Gravar Deletar Cancelar Fechar

Figura 45 – Cadastro de dados hidroenergéticos da ETA Bolonha no modelo SIGHE2A

ETA

Mês / Ano: 07/2013

Unidade: ETA01

Meta IperdaPro:

Meta IperdaTra:

Volume de serviço: 316.876,39

Vol. macrom. a montante: 8.238.786,22

Vol. macrom. a jusante: 7.921.909,83

Cons. Energ. Hor. Ponta: 94.765,73

Cons. Energ. F. Hor. Ponta: 86.964,88

| Mes_Ano | IdGeo | MetaIperdaPro | MetaIperdaTra | VmontETA | VjusETA | Vserv | CE_Hp_ETA |
|---------|-------|---------------|---------------|----------|---------|------------|-----------|
| 07/2013 | ETA01 | | | ##### | ##### | 316.876,39 | 94.765,73 |
| 08/2013 | ETA01 | | | ##### | ##### | 332.688,68 | 92.746,83 |
| 09/2013 | ETA01 | | | ##### | ##### | 303.060,39 | 90.837,85 |
| 10/2013 | ETA01 | | | ##### | ##### | 307.333,85 | 85.826,56 |
| 11/2013 | ETA01 | | | ##### | ##### | 346.398,81 | 89.746,76 |
| 12/2013 | ETA01 | | | ##### | ##### | 322.625,98 | 87.957,45 |
| 01/2014 | ETA01 | | | ##### | ##### | 330.449,28 | 93.856,72 |
| 02/2014 | ETA01 | | | ##### | ##### | 317.026,27 | 90.374,67 |

Primeiro Anterior Próximo Último Adicionar Editar Gravar Deletar Cancelar Fechar

Figura 46 – Cadastro de dados hidroenergéticos das EEATs do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A

EEAT

Mês / Ano: 07/2013 Meta: 0,68 Cons. Energ. Hor. Ponta: 788.984,24

Unidade: EEAT04 Altura manométrica: 36 Cons. Energ. F. Hor. Ponta: 134.643

| Mês/Ano | Unidade: | Meta: | HmanEEAT | CE_Hp_EEAT | CE_Fp_EEAT |
|---------|----------|-------|----------|------------|------------|
| 07/2013 | EEAT-ETA | 0,68 | 189,2 | 5.242.927 | 1.092.754 |
| 07/2013 | EEAT04 | 0,68 | 36 | 788.984,24 | 134.643 |
| 07/2013 | EEAT06 | 0,68 | 36 | 722.881,7 | 149.245 |
| 07/2013 | EEAT07 | 0,68 | 36 | 787.737,75 | 121.412 |
| 07/2013 | EEAT08 | 0,68 | 36 | 662.450,89 | 98.321 |
| 07/2013 | EEAT09 | 0,68 | 36 | 627.846,8 | 101.234 |
| 08/2013 | EEAT-ETA | 0,68 | 36 | 1.241.311 | 1.100.864 |
| 08/2013 | EEAT04 | | 36 | 147.798,09 | 133.633 |
| 08/2013 | EEAT06 | | 36 | 173.572,32 | 156.937 |
| 08/2013 | EEAT07 | | 36 | 137.727,96 | 124.528 |
| 08/2013 | EEAT08 | | 36 | 108.791,69 | 98.365 |
| 08/2013 | EEAT09 | | 36 | 113.747,67 | 102.846 |
| 09/2013 | EEAT-ETA | | 36 | 1.192.621 | 1.089.643 |

Figura 47 – Cadastro de dados hidroenergéticos dos RAPs do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A

RAP

Mês / Ano: 07/2013 Meta: Vol. macrom. a jusante: 1.075.023,79

Unidade: RAP04 Vol. macrom. a montante: 1.075.176,79

| Mes/Ano | Unidade: | Meta: | VmonRAP | VjusRAP |
|---------|----------|-------|------------|------------|
| 07/2013 | RAP04 | | ##### | ##### |
| 07/2013 | RAP06 | | 912.447,33 | 912.447,33 |
| 07/2013 | RAP07 | | 929.882,63 | 929.882,63 |
| 07/2013 | RAP08 | | 958.941,46 | 958.941,46 |
| 07/2013 | RAP09 | | ##### | ##### |
| 08/2013 | RAP04 | | ##### | ##### |
| 08/2013 | RAP06 | | 914.093,95 | 914.093,95 |
| 08/2013 | RAP07 | | 931.560,71 | 931.560,71 |
| 08/2013 | RAP08 | | 960.671,98 | 960.671,98 |
| 08/2013 | RAP09 | | ##### | ##### |
| 09/2013 | RAP04 | | ##### | ##### |
| 09/2013 | RAP06 | | 909.948,76 | 909.948,76 |
| 09/2013 | RAP07 | | 927.336,31 | 927.336,31 |

Figura 48 – Cadastro de dados hidroenergéticos dos RELs do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A

REL

Mês / Ano: 07/2013 Meta: 0

Unidade: REL04 Vol. macrom. a montante: 1.075.101,49 Vol. macrom. a jusante: 1.075.100

| Mes/Ano | Unidade | Meta | VmontREL | VjusREL |
|---------|---------|------|------------|-----------|
| 07/2013 | REL04 | 0 | #.###.### | 1.075.100 |
| 07/2013 | REL06 | 0 | 912.082,39 | 912.081 |
| 07/2013 | REL07 | 0 | 929.510,71 | 929.510 |
| 07/2013 | REL08 | 0 | 958.557,92 | 958.557 |
| 07/2013 | REL09 | 0 | #.###.### | 1.016.652 |
| 08/2013 | REL04 | 0 | #.###.### | 1.027.106 |
| 08/2013 | REL06 | 0 | 913.509,02 | 913.509 |
| 08/2013 | REL07 | 0 | 930.964,61 | 930.964 |
| 08/2013 | REL08 | 0 | 960.057,25 | 960.057 |
| 08/2013 | REL09 | 0 | #.###.### | 1.018.242 |
| 09/2013 | REL04 | 0 | #.###.### | 1.072.232 |
| 09/2013 | REL06 | 0 | 909.512,03 | 909.512 |
| 09/2013 | REL07 | 0 | 926.891,24 | 926.891 |

Primeiro Anterior Próximo Último Adicionar Editar Gravar Deletar Cancelar Fechar

Figura 49 – Cadastro de dados hidroenergéticos dos setores do SAA Bolonha no modelo SIGHE2A

SETORES

Mês / Ano: 07/2013 População total: 149.707 Nº de econ. Industr. ativas:

Unidade: SAA04 População atendida: 149.707 Total de economias: 32.545

Meta de Perda Total: 30 População Atendida hidrometrada: 131.742,16 Nº de ligações ativas de água: 16.778,75

Meta de Consumo Energia: 0,6 Nº de economias ativas: 24.408,75 Total de ligações: 18.080,55

Vol. Total Consumido: 683.857,31 Nº de economias Residenciais ativas:

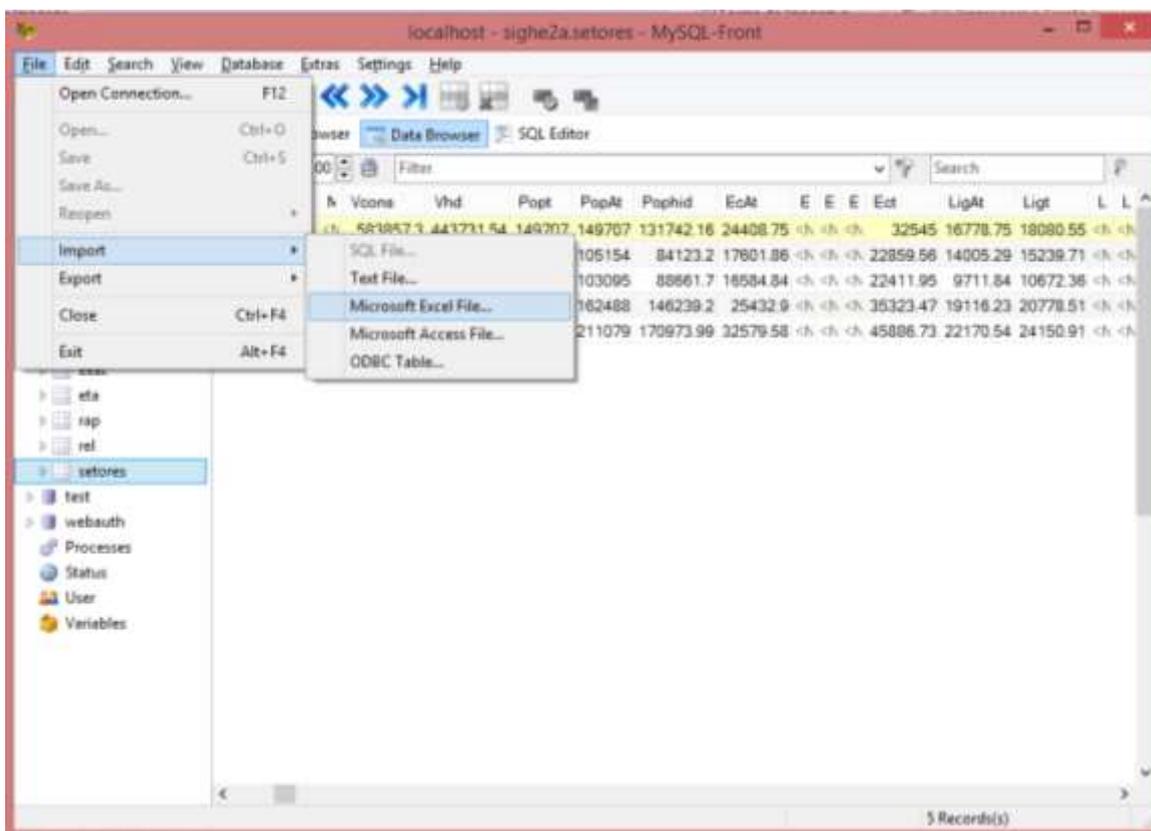
Vol. de água Cons. hidrometrado: 443.731,54 Nº de economias Comerciais ativas: Nº de Lig. Resid. ativas: Nº de Lig. Comerc. ativas:

| Unidade | Mes/Ano | MetaI_PerdaT | MetaI_CEESAA | Vcons | Vhd | Popt | PopAt |
|---------|---------|--------------|--------------|------------|------------|---------|---------|
| SAA04 | 07/2013 | 30 | 0,6 | 683.857,31 | 443.731,54 | 149.707 | 149.707 |
| SAA06 | 07/2013 | 30 | 0,6 | 590.739,22 | 416.409,84 | 105.154 | 105.154 |
| SAA07 | 07/2013 | 30 | 0,6 | 592.856,32 | 396.874,51 | 103.095 | 103.095 |
| SAA08 | 07/2013 | 30 | 0,6 | 682.449,61 | 553.466,62 | 162.488 | 162.488 |
| SAA09 | 07/2013 | 30 | 0,6 | 728.222,55 | 563.644,25 | 211.079 | 211.079 |

Primeiro Anterior Próximo Último Adicionar Editar Gravar Deletar Cancelar Fechar

Outra metodologia que pode ser utilizada para registro e armazenamento dos dados hidroenergéticos no banco de dados é a organização dos dados em planilha eletrônica do *Microsoft Excel* ou *Access* e a posterior importação da planilha para o banco de dados do MySQL, conforme representado na Figura 50.

Figura 50 – Importação dos dados organizados no *Microsoft Excel* para o banco de dados do MySQL



Para isso, os dados da planilha eletrônica devem estar organizados na mesma ordem do banco de dados do MySQL, caso contrário, a importação não será realizada. Na Figura 51 é mostrado o banco de dados construído para o modelo SIGHE2A no MySQL, após importação dos dados do Microsoft Excel.

Figura 51 – Banco de dados SIGHE2A no MySQL

| Id | IdGeo | Mes_Ano | Vcone | Vhd | Popl | PopAt | Pephid | EcAt | Est | LigAt | Ligt | Vat |
|----|-------|---------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4 | SAA04 | 072013 | 583857.3 | 443731.54 | 149707 | 149707 | 131742.16 | 24408.75 | 32545 | 16778.75 | 18080.55 | 560503.1 |
| 5 | SAA06 | 072013 | 504739.2 | 416409.84 | 105154 | 105154 | 84123.2 | 17601.86 | 22859.56 | 14005.29 | 15239.71 | 471931.1 |
| 6 | SAA07 | 072013 | 494856 | 396874.51 | 103095 | 103095 | 88661.7 | 16584.84 | 22411.95 | 9711.84 | 10672.38 | 450318.1 |
| 7 | SAA08 | 072013 | 682449.6 | 553466.62 | 162488 | 162488 | 146239.2 | 25432.9 | 35323.47 | 19116.23 | 20778.51 | 624441.1 |
| 8 | SAA09 | 072013 | 728222.55 | 563644.25 | 211079 | 211079 | 170973.99 | 32579.58 | 45886.73 | 22170.54 | 24150.91 | 640835.1 |

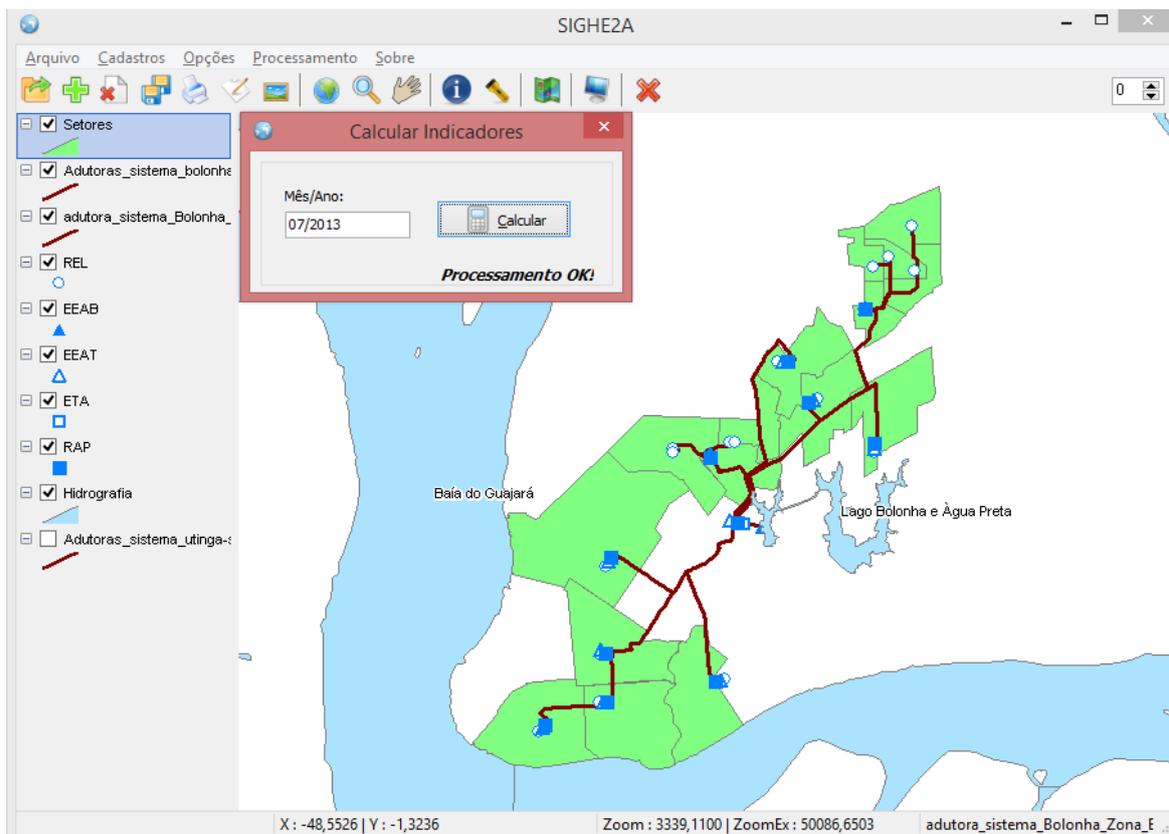
Com isso, os dados armazenados no banco de dados MySQL, já configurado e vinculado às feições que representam as unidades e setores de abastecimento de água, por meio da coluna IdGeo, foram utilizados na determinação dos indicadores de desempenho, que por sua vez, foram armazenados, automaticamente, no banco de dados MySQL e nas tabelas de atributos das feições cartográficas.

5.2.2 Determinação dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha

Após o cadastro de dados hidroenergéticos foi realizada a determinação dos indicadores de desempenho das unidades do SAA Bolonha para cada mês e ano estudado, utilizando, para isso, o *menu* “Processamento”, e o *submenu* “Calcular indicadores”.

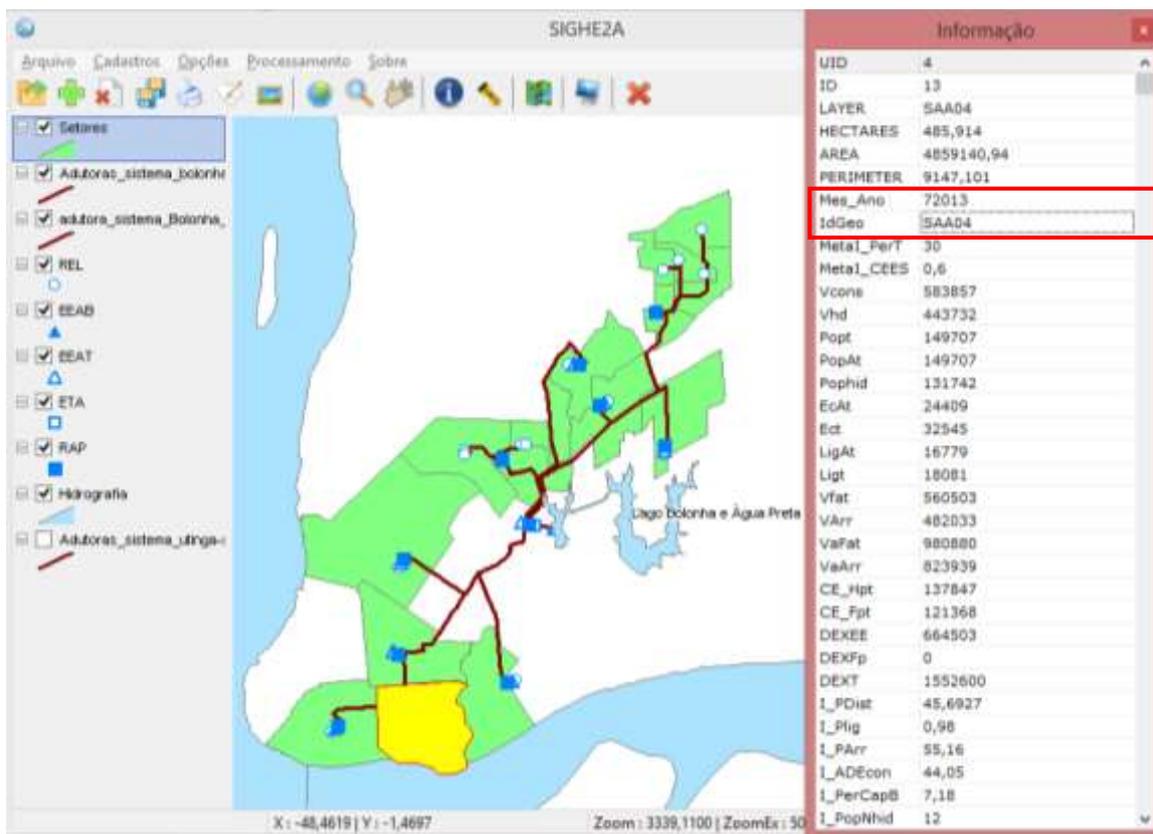
Na Figura 52 é exemplificada a determinação dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha para o mês de julho de 2013.

Figura 52 – Determinação dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha para o mês de julho de 2013 no modelo SIGHE2A



Os indicadores calculados foram automaticamente armazenados no banco de dados geográfico, conforme exemplificado na Figura 53, que ilustra os dados e indicadores de desempenho referentes ao setor 04 do SAA Bolonha – Zona Central.

Figura 53 – Dados e indicadores de desempenho hidroenergético do Setor 04 do SAA Bolonha – Zona Central armazenados no banco de dados geográfico do SIGHE2A



Os índices de consumo de energia elétrica nas EEATs do SAA Bolonha – Zona Central, gerados no SIGHE2A, foram comparados e subtraídos do consumo mínimo de energia necessária para o funcionamento dessas unidades, o que resultou na estimativa da energia excedente e desperdiçada, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Comparação entre os índices de consumo de energia nas EEATs e o consumo mínimo de energia necessária

| IdGeo | Índice de Consumo de Energia (COSANPA) (KWh/m ³) | Índice de Consumo Mínimo de Energia Teórica (KWh/m ³) | Energia Excedente (Desperdiçada) | |
|--------|--|---|----------------------------------|-------|
| | | | (KWh/m ³) | % |
| EEAT04 | 0,74 | 0,12 | 0,62 | 84,20 |
| EEAT06 | 0,78 | 0,13 | 0,66 | 83,98 |
| EEAT07 | 0,85 | 0,13 | 0,72 | 84,58 |
| EEAT08 | 0,69 | 0,11 | 0,58 | 84,64 |
| EEAT09 | 0,62 | 0,10 | 0,52 | 83,69 |

Assim, é possível observar que as EEATs do SAA Bolonha – Zona Central consomem mais energia do que a necessária para seu funcionamento, com índice de consumo mínimo de energia variando de 0,10 a 0,13 KWh/m³, com desperdício de, em média, 84% de energia elétrica nessas unidades, o que pode ocorrer devido às perdas físicas e à deficiências na operação das unidades do SAA.

5.2.3 Avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Bolonha utilizando o SIGHE2A

Após o cadastro e a determinação de indicadores foi realizada a avaliação do desempenho hidroenergético do SAA Bolonha, utilizando as ferramentas dos módulos SIG e Hidroenergético do modelo SIGHE2A, o que permitiu:

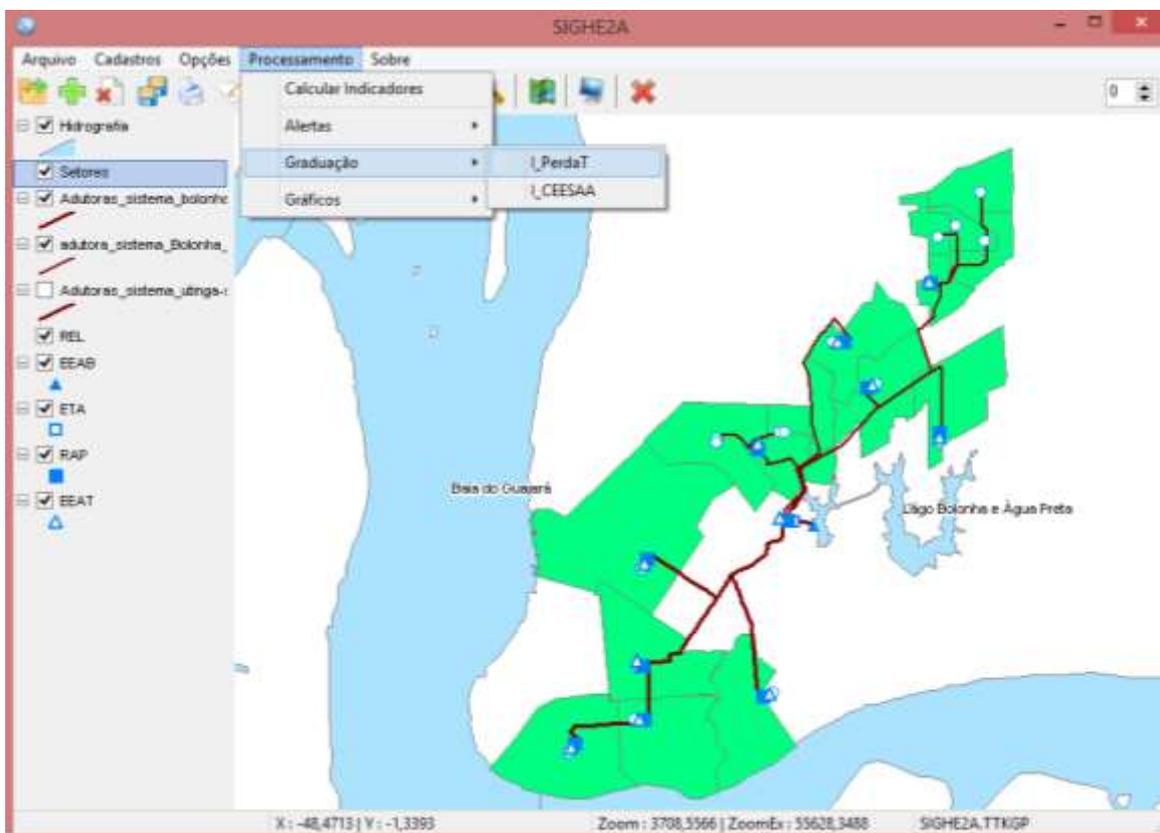
- a) a construção de mapas de graduação de cor, que representam os setores com os piores ou melhores índices de desempenho hidroenergético;
- b) a visualização de unidades do SAA, com indicadores acima da meta pré-estabelecida pelo usuário do SIGHE2A, por meio de sinalização de alerta;
- c) a construção de gráficos de controle de metas espacializados sobre a feição setores.

A metodologia utiliza o SIGHE2A como um modelo para gerenciamento hidroenergético de SAA, portanto, não gera mapas com suas configurações características, como grid de coordenadas, escala gráfica, legenda padronizada e orientação geográfica. Para isso, recomenda-se o uso de software de SIG desenvolvido para construção de mapas, como o ArcGis, o Spring, entre outros.

Assim, foi utilizada a ferramenta de graduação de cor na feição “Setores” para a identificação dos setores de abastecimento de água com os melhores e os piores indicadores de desempenho hidroenergético do SAA Bolonha, no mês de julho de 2013.

Para isso, foi selecionada a ferramenta “Processamento”, “Graduação” e em seguida definido o índice a ser especializado em graduação de cor, no caso, o índice de perda total, conforme mostrado na Figura 54.

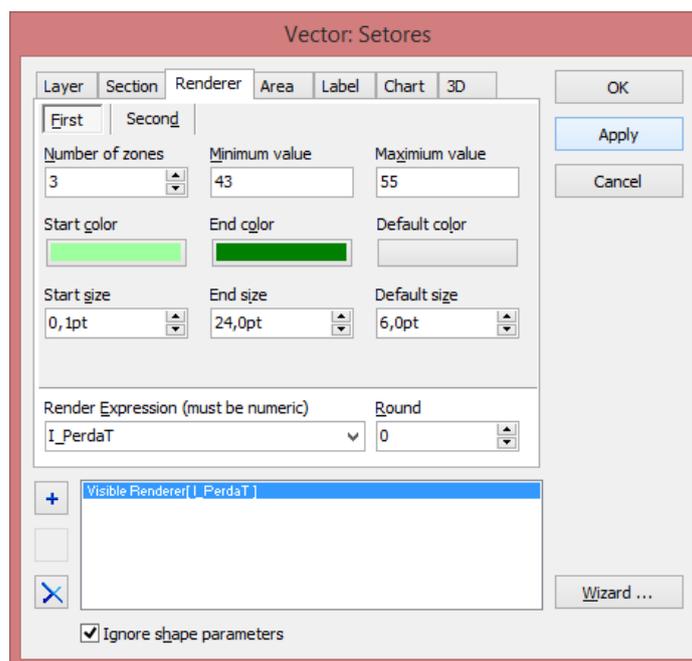
Figura 54 – Procedimento para construção de mapas de Graduação de cor no SIGHE2A



Vale ressaltar, que a ferramenta de graduação de cor do modelo foi desenvolvida para os dois principais indicadores (Índice de perda total e Índice de consumo de energia elétrica), mas também é possível construir mapas de graduação de cor para todos os índices do banco de dados, utilizando a ferramenta *Renderer*, bastando alterar a coluna no banco de dados referente ao índice a ser especializado.

O modelo SIGHE2A representa um intervalo automático de índices, sendo necessária a configuração do intervalo de valores, do número de zonas ou classes e das cores a serem utilizadas na graduação, por meio da ferramenta de configurações de feições, na aba *Renderer*, conforme mostrado na Figura 55.

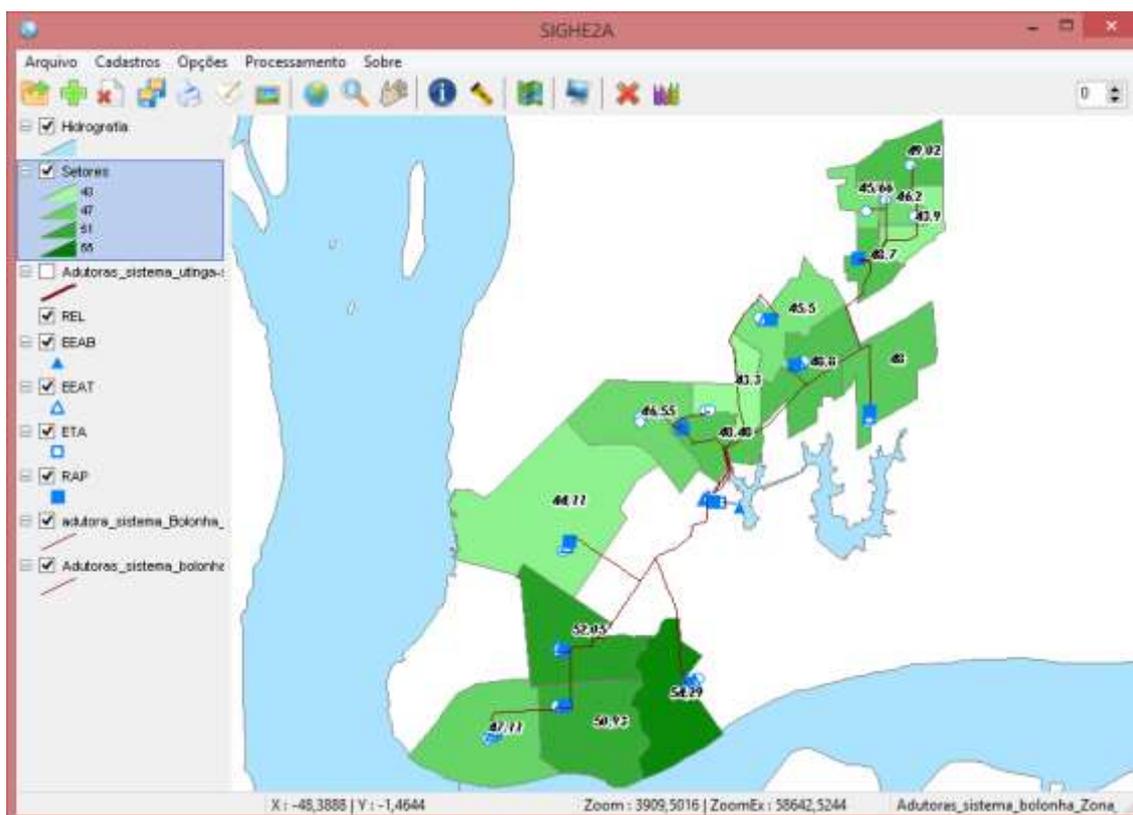
Figura 55 – Procedimento para configuração da feição na construção de mapas de Graduação de cor no SIGHE2A



Com isso, foram definidas 4 zonas de valores para o índice de perda total, e o intervalo mínimo e máximo de 43% a 55%, respectivamente; além das cores que variam de verde claro, para o menor valor de índice, e verde escuro para o maior valor, o que resultou na construção de um mapa de graduação de cor para representação desse índice nos setores de abastecimento de água.

Assim, os setores de abastecimento 7 e 6 do SAA Zona Central apresentaram os maiores índices, com 54,29% e 52,05%, respectivamente, que foram representados pelas tonalidades mais fortes na escala de graduação de cor. Já o menor índice de perda total foi identificado no setor 19 do SAA Bolonha - Zona de Expansão, com 43,3%, e foi representado pela tonalidade mais fraca da graduação de cor, conforme ilustrado na Figura 56.

Figura 56 – Índices de Perda Total no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A



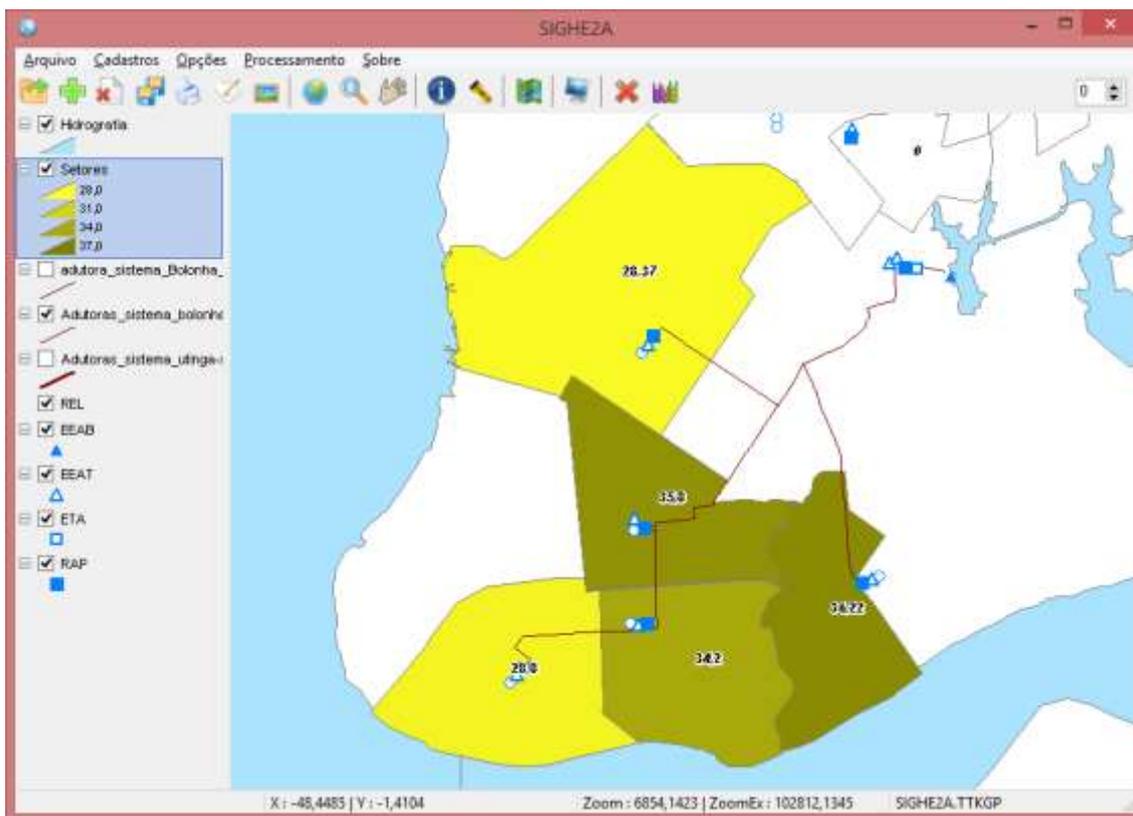
O mesmo procedimento utilizado para a construção do mapa de graduação de cor do índice de perda total foi empregado para a graduação de cor dos demais índices.

Devido à insuficiência de dados obtidos na companhia de saneamento, para os demais indicadores de desempenho foram construídos mapas de graduação de cor apenas para os setores de abastecimento do SAA Bolonha Zona Central.

Em relação ao índice de perda na distribuição, o maior valor foi identificado no setor 7, com 36,22%, e o menor índice no setor 9, com 28,37%. Esse índice possui os valores mais significativos de todo o SAA, e é diretamente relacionado ao consumo e despesas com energia elétrica, pois a energia utilizada para captar, tratar e distribuir o volume perdido de água é desperdiçada.

Na Figura 57 é representada a espacialização em graduação de cor, dos índices de perdas na distribuição de água do SAA Bolonha – Zona Central, no mês de julho de 2013.

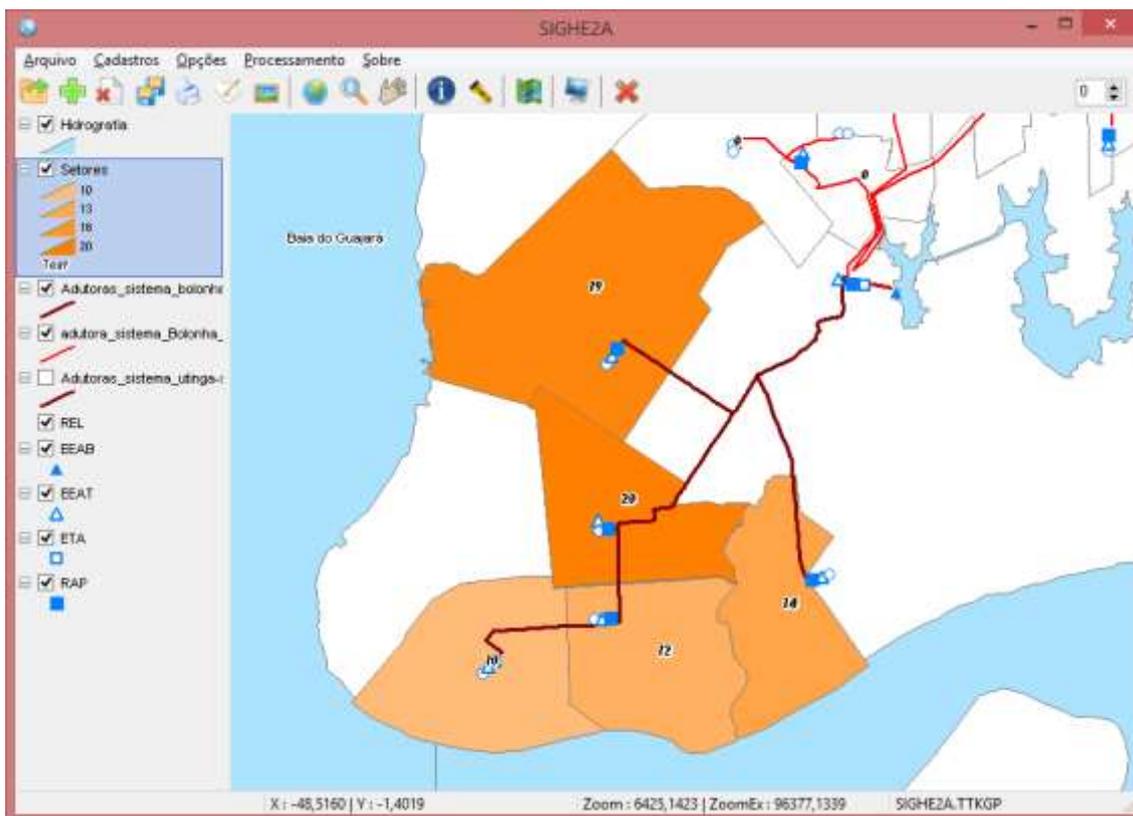
Figura 57 – Índices de Perda na distribuição no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A



No caso do Índice de população não hidrometrada, o maior valor foi encontrado no setor 6, com 20%, e o menor foi identificado no setor 8, com 10% da população não hidrometrada, conforme representado na Figura 58.

O índice de hidrometração nos SAAs brasileiros, divulgado no último relatório do SNIS (BRASIL, 2013), é de 91,11%, o que mostra que o índice de população não hidrometrada no SAA Bolonha – Zona Central está acima da média nacional.

Figura 58 – Índices de População não hidrometrada no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A

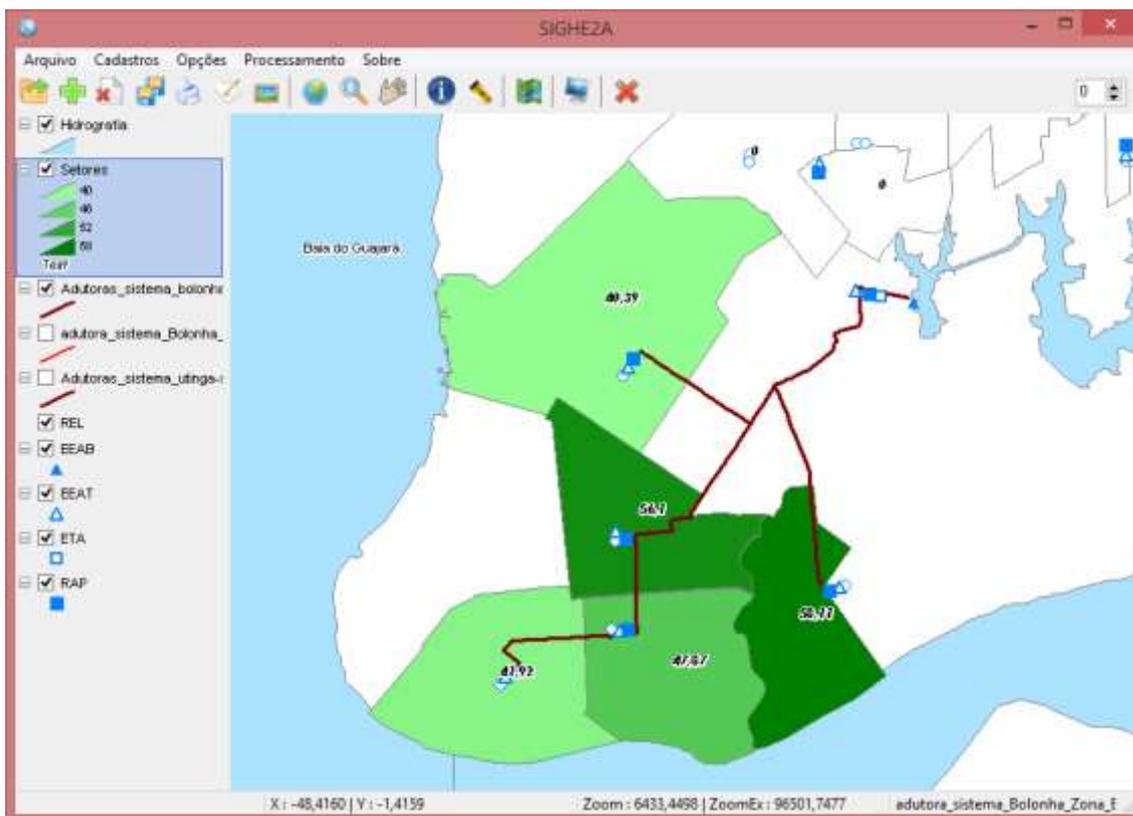


Dentre os indicadores de desempenho comercial propostos no modelo foram escolhidos para a demonstração dos resultados da simulação, o índice de Água não Faturada e o Índice de Perda na Arrecadação, que são os mais representativos no desempenho do SAA.

Para o índice de água não faturada foi identificado valor de 58,11% no setor 7, sendo o setor 9, com 40,39%, o que apresentou menor índice no mês de julho de 2013, conforme mostrado na Figura 59.

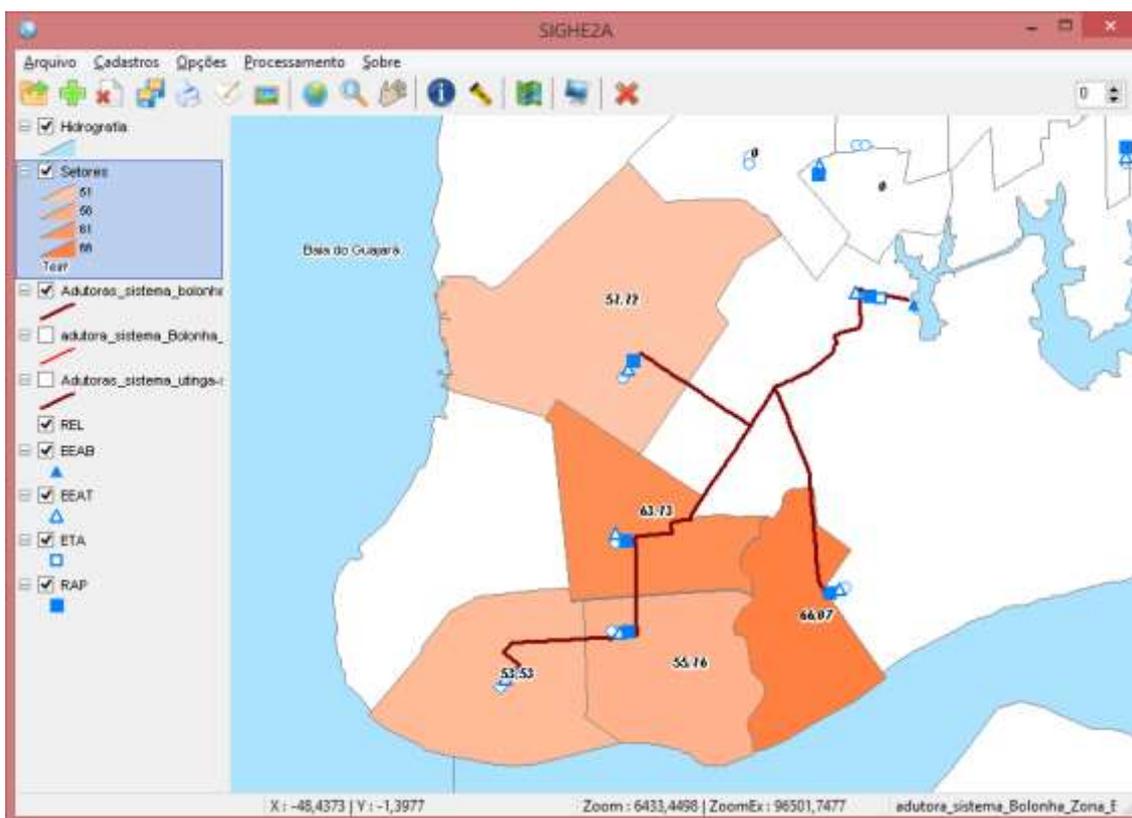
Os resultados obtidos para o índice de água não faturada estão acima da média nacional de 36,74%, divulgada no último relatório do SNIS (BRASIL, 2013), o que mostra a necessidade de tomada de decisão no controle do desempenho hidroenergético e comercial do SAA.

Figura 59 – Índices de água não faturada no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A



O índice de perda na arrecadação foi maior no setor 7, com 66,07%, e menor no setor 9, com 51,12%, conforme mostrado na Figura 60.

Figura 60 – Índices de Perda na arrecadação no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A



Em relação aos índices diretamente relacionados com energia elétrica, destacam-se o Índice de consumo de energia elétrica e o índice de despesas com energia elétrica e o índice de despesas com energia elétrica por volume produzido para cada setor do SAA Bolonha.

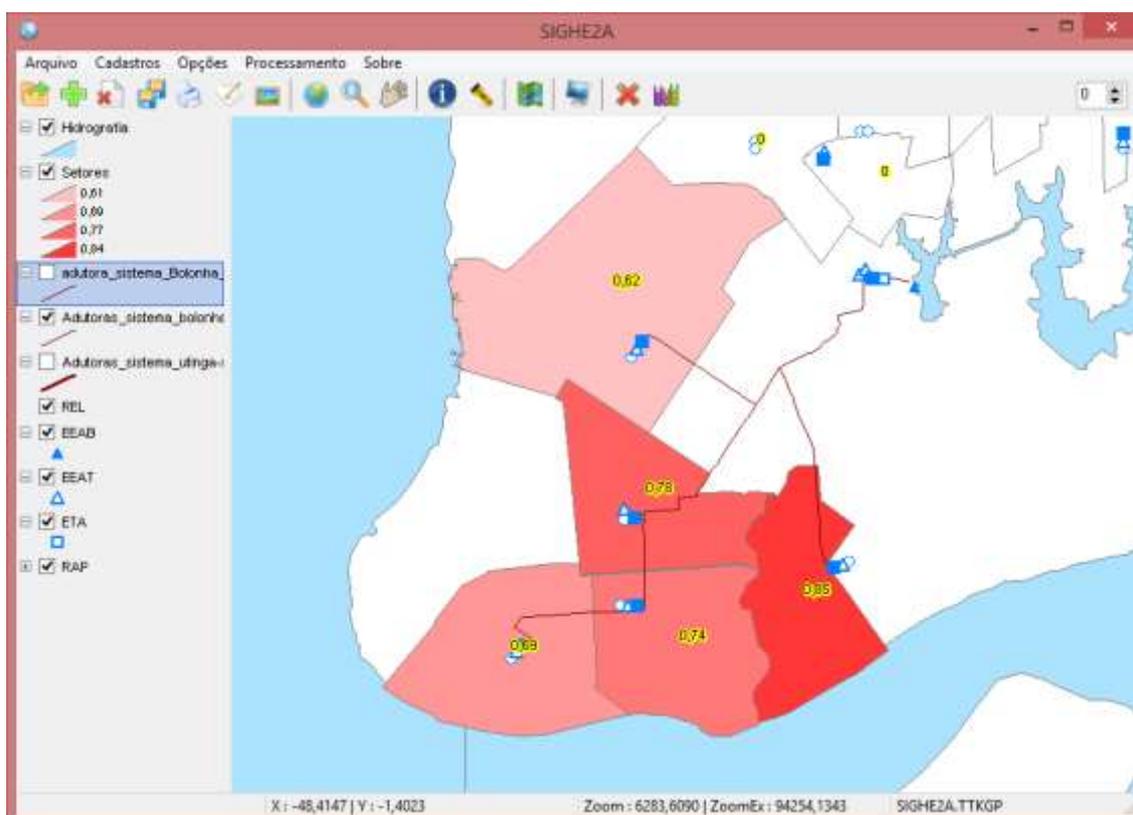
O índice de consumo de energia elétrica foi maior nas EEATs dos setores 7 e 6 do SAA Zona Central, com 0,85 e 0,78 KWh/m³, respectivamente, e menor no setor 9, com 0,62 KWh/m³, o que confirma a relação direta entre as perdas de água e o desperdício com energia elétrica, já que os setores de abastecimento 6 e 7 apresentaram os maiores índices de perda total, com 54,29% e 52,05%, respectivamente.

Com base na determinação do índice de energia mínima teórica, necessária para o funcionamento das unidades EEATs nesses setores, é possível constatar que os valores do índice de consumo de energia elétrica nessas unidades chegam a ser, em média 84% maiores do que o necessário para o seu funcionamento, sendo necessária

cerca de 0,13 KWh/m³ de água² recalçada em cada unidade, ou seja, nos setores 7 e 6, a energia excedente consumida (desperdiçada) seria de 0,72 e 0,66 KWh/m³, respectivamente.

Na Figura 61 é representada a graduação de cor para o índice de consumo de energia elétrica nos setores do SAA Bolonha - Zona Central no mês de julho de 2013.

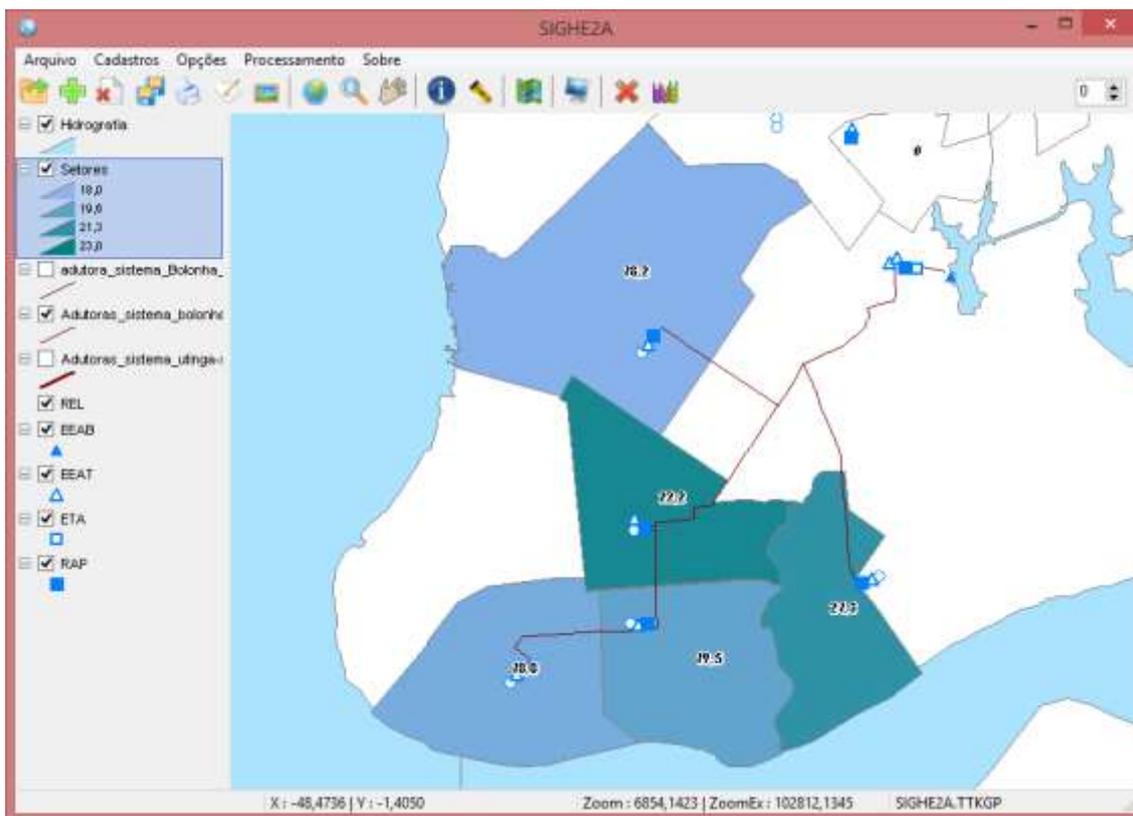
Figura 61 – Índices de Consumo de energia elétrica no mês de julho de 2013 para a feição setores, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A



O valor do índice de despesas com energia elétrica pelo total de despesas de exploração, nos setores do SAA Bolonha – Zona Central, foi maior no setor 6, com 22,2%, e menor no setor 9, com 18,2%, conforme representado na Figura 62. Esse valor está acima da média nacional de 10,86%, divulgada no último relatório do SNIS (BRASIL, 2013), para o índice de participação das despesas com energia elétrica no total de despesas de exploração.

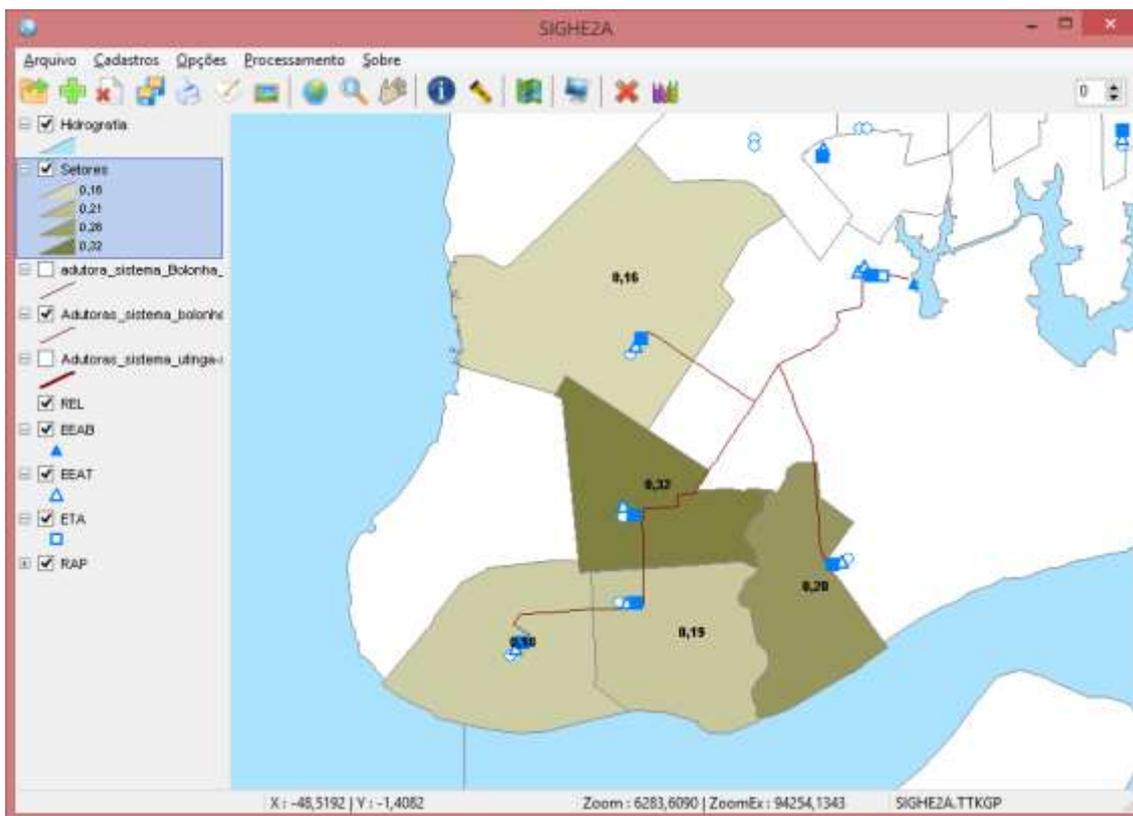
² Para o SAA com perda de carga igual a zero, ou seja, um sistema ideal e irreal.

Figura 62 – Índice de despesas com energia elétrica por setor do SAA, especializados em Graduação de cor no SIGHE2A



O setor 6 do SAA Bolonha – Zona Central também apresentou o maior valor do índice de despesas com energia elétrica por volume produzido, com 0,32 R\$/m³, sendo menor no setor 9, com 0,16 R\$/m³, conforme representado na Figura 63.

Figura 63 – Índice de despesas com energia elétrica por volume produzido para o setor de abastecimento, espacializados em Graduação de cor no SIGHE2A



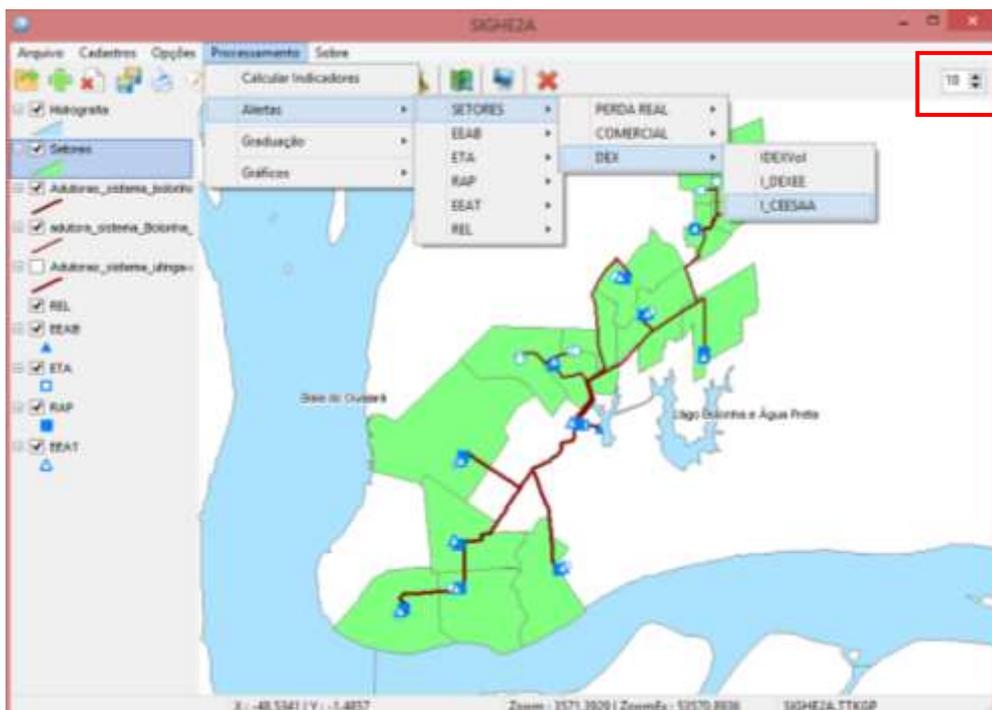
- **Alerta de problemas nas unidades**

As unidades com os indicadores mais elevados ou com resultados fora das metas estabelecidas no início do projeto de avaliação do SAA Bolonha – Zona Central³ foram sinalizadas com pisca, indicando a necessidade de manutenção preventiva ou corretiva nas unidades do SAA, com o objetivo de evitar as perdas de água e o consumo excessivo de energia elétrica no SAA.

Para a aplicação dessa ferramenta foram utilizados o *menu* “Processamento” e o *submenu* “Alerta”, e para exemplificar a simulação no modelo foi escolhida a feição geográfica “Setores”, a categoria de indicadores de DEX e o índice de consumo de energia elétrica. Além disso, foi estabelecido o número de 10 sinalizações de alerta para os Setores, conforme exemplificado na Figura 64.

³ Não foram obtidos dados referentes às unidades e aos setores do SAA Bolonha – Zona de Expansão para a aplicação de todas as ferramentas do modelo proposto.

Figura 64 – Procedimento de aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice de consumo de energia elétrica na feição setores no SIGHE2A



Já que o consumo mínimo de energia é um valor variável e depende da vazão de água recalçada e da cota piezométrica em cada unidade, individualmente, o mesmo não foi utilizado como valor de referência para a determinação das metas a serem alcançadas para todas as unidades consumidoras de energia do SAA Bolonha – Zona Central.

Com isso, a meta inicial para todas as unidades consumidoras de energia elétrica no SAA estudado, de modo geral, foi baseada na média nacional de consumo de energia nos SAAs brasileiros, do ano de 2013, de 0,68 KWh/m³, divulgada pelo SNIS (2015), conforme a tela de cadastro ilustrada na Figura 65.

Figura 65 – Cadastro de metas de Setores de abastecimento para a aplicação da ferramenta “Alerta” no SIGHE2A

The screenshot shows the 'SETORES' application window with the following data:

Mês / Ano: 07/2013
 Unidade: SAA09

População total: 211.079
 População atendida: 211.079
 População Atendida hidrometrada: 170.973,99

Nº de econ. Industr. ativas:
 Total de economias: 45.586,73
 Nº de ligações ativas de água: 22.170,54
 Total de ligações: 24.150,91

Meta de Perda Total: 30
 Meta de Consumo Energia: 0,68

Vol. total Consumido: 720.222,55
 Vol. de água Cons. hidrometrado: 363.644,25

Nº de economias ativas: 32.579,58
 Nº de economias Residenciais ativas:
 Nº de economias Comerciais ativas:

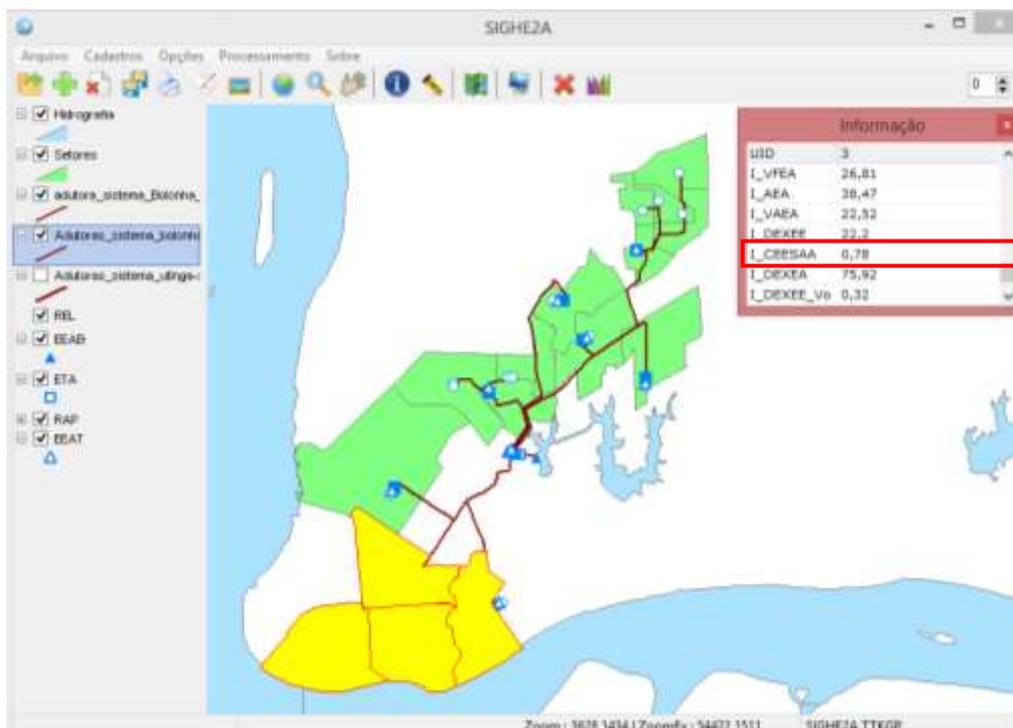
Nº de Lig. Resid. ativas:
 Nº de Lig. Comerc. ativas:

| Unidade | Mes/Ano | Meta_PerdaT | Meta_CEEESAA | cons | Vhd | Popot | PopAt |
|---------|---------|-------------|--------------|------------|------------|---------|-------|
| SAA04 | 07/2013 | 30 | 0,68 | 683.857,31 | 443.711,54 | 149.707 | 149,7 |
| SAA06 | 07/2013 | 30 | 0,68 | 590.739,22 | 416.409,84 | 105.154 | 105,1 |
| SAA07 | 07/2013 | 30 | 0,68 | 692.056,32 | 396.874,51 | 103.095 | 103,0 |
| SAA08 | 07/2013 | 30 | 0,68 | 682.449,61 | 553.466,62 | 162.408 | 162,4 |
| SAA09 | 07/2013 | 30 | 0,68 | 720.222,55 | 563.644,25 | 211.079 | 211,0 |

Buttons: Primeiro, Anterior, Próximo, Último, Adicionar, Editar, Deletar, Cancelar, Fechar

Em relação a esse índice, os setores de abastecimento de água 4, 6, 7 e 8, do SAA Bolonha – Zona Central apresentaram valores acima da meta, sendo sinalizados em amarelo, conforme exemplificado na Figura 66. Esse resultado indica a necessidade de tomada de decisão estratégica por parte do gestor operacional do SAA, para a redução de perdas e do consumo de energia elétrica nessas unidades. Assim, na medida em que melhores resultados são alcançados, os valores de metas progressivas podem ser reduzidos para o alcance do consumo mínimo de energia necessária para o funcionamento das unidades.

Figura 66 – Aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice de consumo de energia elétrica na feição setores no SIGHE2A

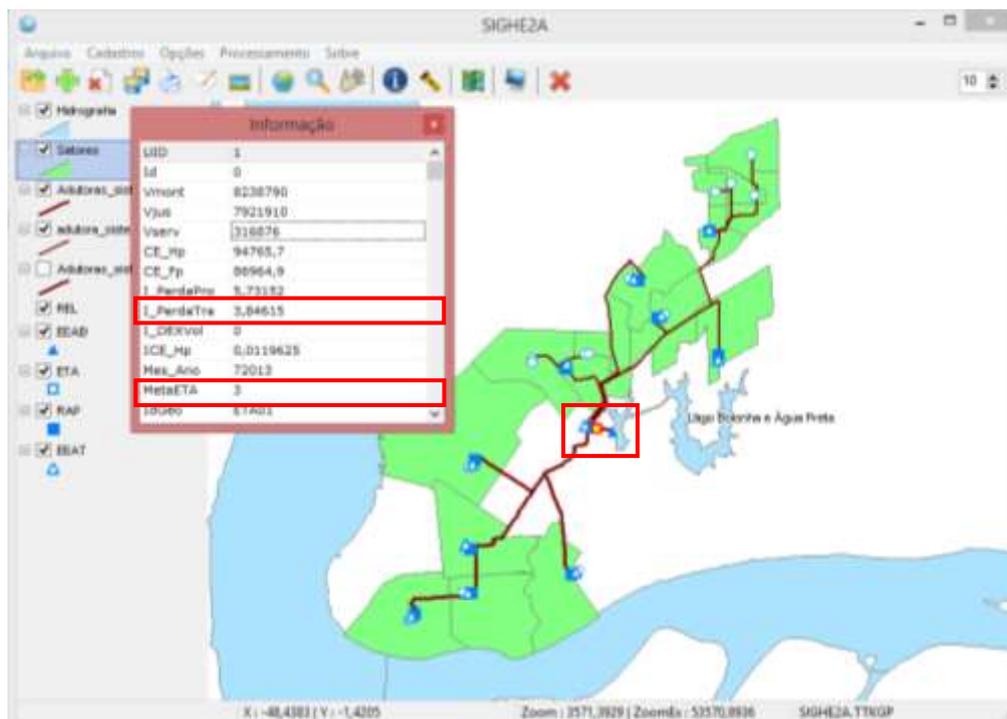


O elevado volume perdido de água nos setores do SAA Bolonha é a provável causa do consumo excessivo de energia elétrica, o que mostra que a implementação de ações para a redução de perdas de água poderá diminuir consideravelmente o consumo de energia elétrica nesse sistema.

O mesmo procedimento utilizado para a aplicação da ferramenta “Alerta” na feição “Setores” foi empregado para as demais unidades do SAA Bolonha.

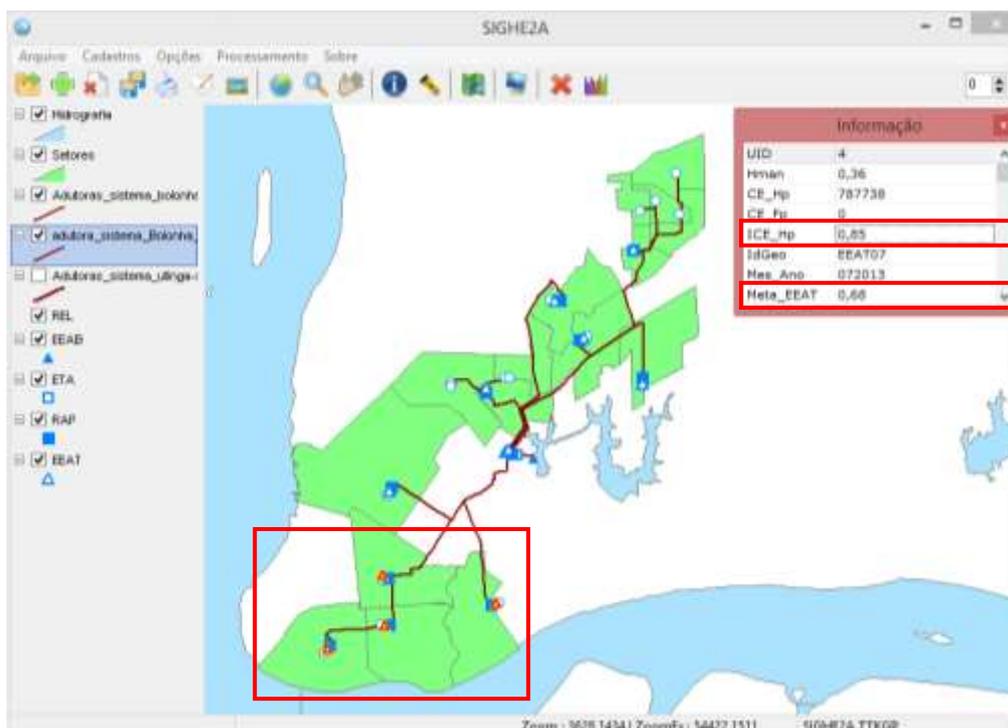
Assim, para o índice de perda no tratamento de água foi estabelecida a meta de 3%. Para esse índice, a ETA Bolonha apresentou valores acima da meta (3,85%), conforme mostrado na Figura 67.

Figura 67 – Aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice perda no tratamento de água no SIGHE2A



O índice de consumo de energia elétrica nas EEATs dos Setores 4, 6, 7 e 8, apresentou valores acima da meta estabelecida de 0,68 KWh/m³, sendo sinalizadas uma a uma pelo modelo desenvolvido, conforme mostrado na Figura 68.

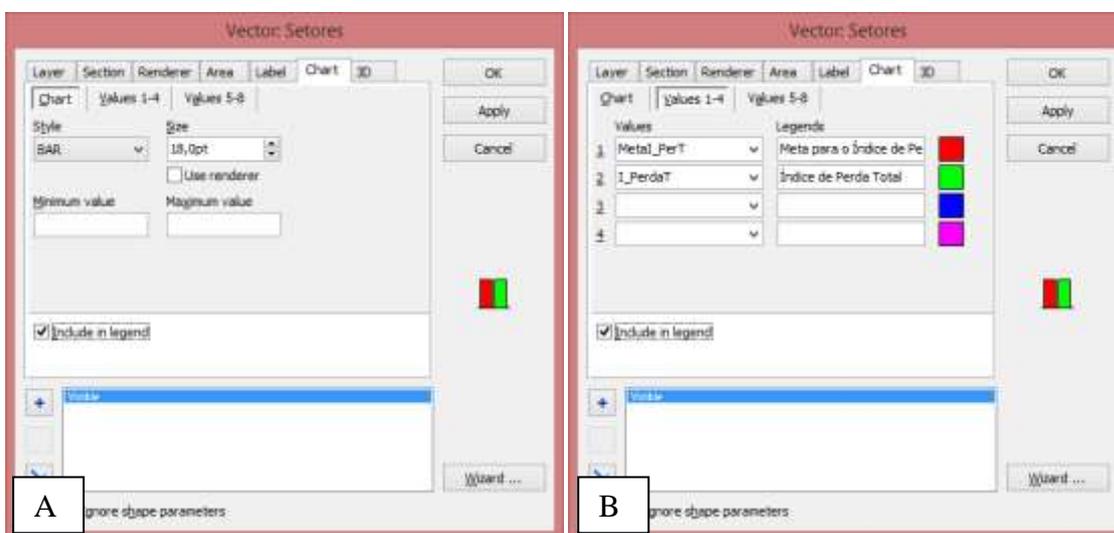
Figura 68 – Aplicação da ferramenta “Alerta” para o Índice de consumo de energia elétrica no SIGHE2A



- **Mapas com Gráficos para controle de metas**

Para a construção dos gráficos de controle de metas especializados sobre os setores de abastecimento de água foi utilizada a ferramenta para configuração de feições, na aba *Chart*, onde foi definido o gráfico tipo barras, com tamanho 18 pts (Figura 69-A), e na aba *Values*, onde foram definidas as cores e as variáveis a serem mostradas nos gráficos, no caso, o índice de perda total e a meta para esse índice (Figura 69-B).

Figura 69 – Aplicação da ferramenta “*Chart*” (A) e definição das cores e das variáveis das séries (B) para a construção dos gráficos de controle de metas especializados sobre a feição Setores no SIGHE2A



Dessa forma, foram construídos os gráficos de controle de metas para o índice de perda total e para o índice de consumo de energia elétrica nos setores de abastecimento de água, o que permitiu a comparação dos valores desses índices e de suas respectivas metas.

O índice de perda total foi representado pela barra de cor vermelha, e a meta de 30%, utilizada para esse índice, foi representada pela barra de cor verde, conforme mostrado na Figura 70.

O gráfico para o índice de consumo de energia elétrica foi simulado apenas para o SAA Bolonha – Zona Central devido à falta de dados de consumo de energia para o SAA Bolonha – Zona de Expansão. Nesse caso, o índice de consumo de energia elétrica foi representado pela barra de cor azul e a meta de 0,68 KWh/m³ para esse índice foi representada pela barra de cor magenta, conforme mostrado na Figura 71.

Figura 70 – Gráficos de controle de metas do índice de perda total espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A

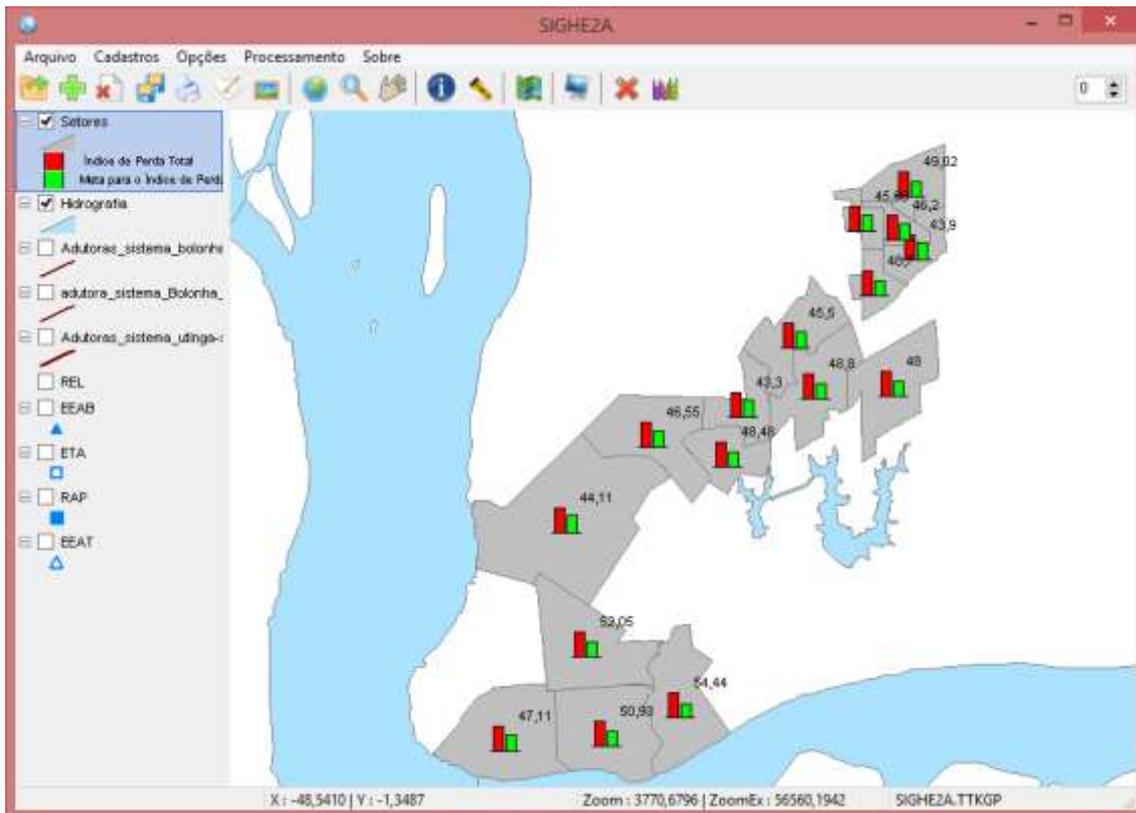
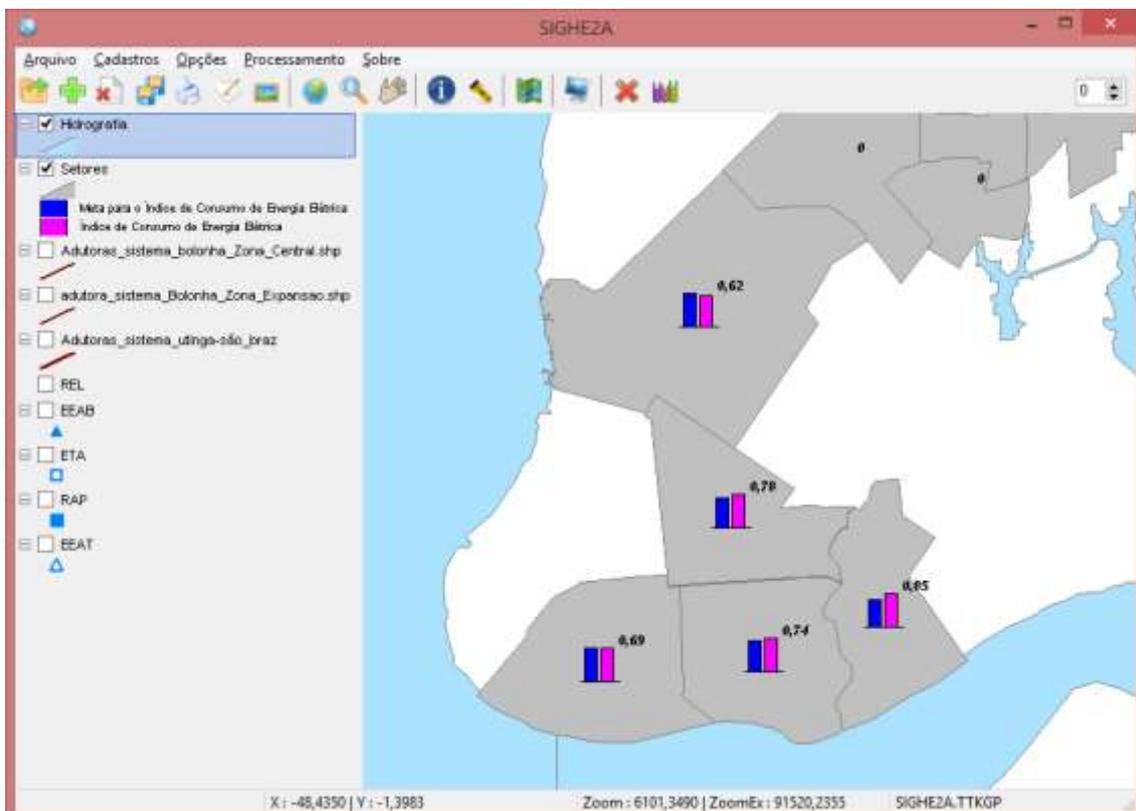


Figura 71 – Gráficos de controle de metas do índice de consumo de energia elétrica espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A

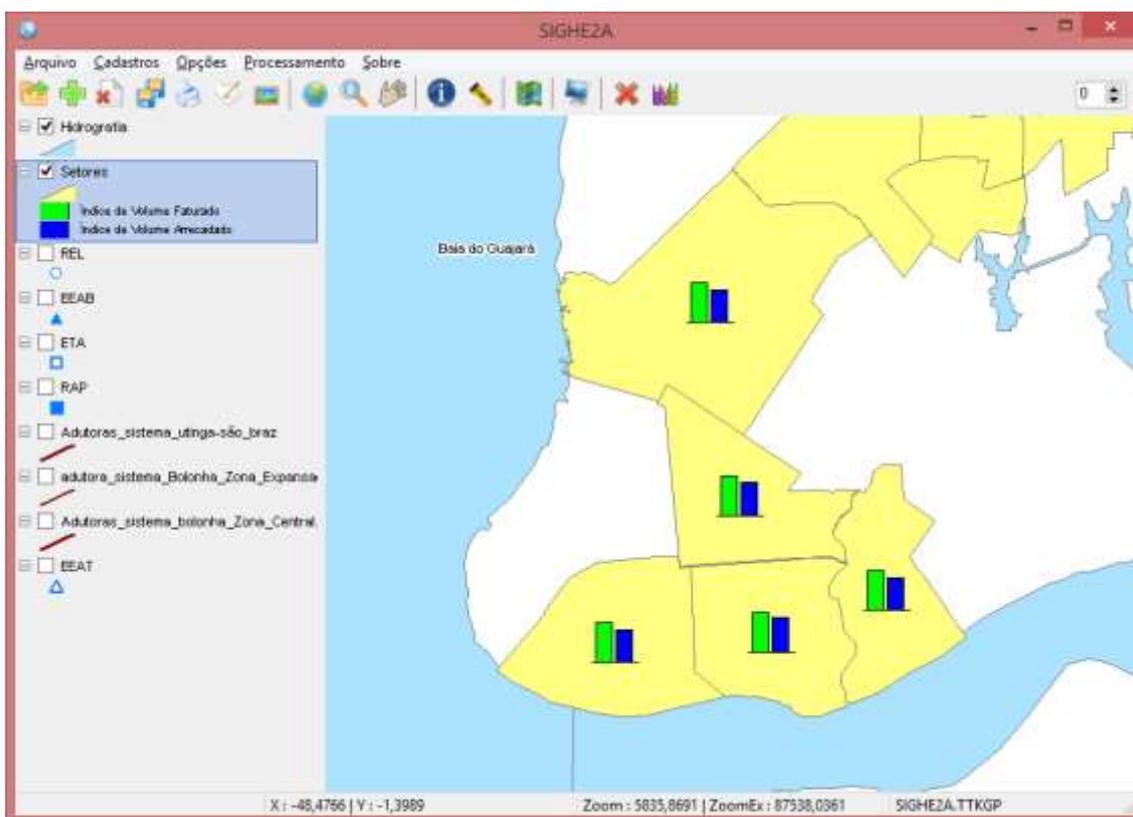


Os resultados mostram que ambos os índices ultrapassam as metas pré-estabelecidas, indicando mais uma vez a necessidade de intervenção na operação dos sistemas de abastecimento.

Para exemplificar a aplicabilidade da ferramenta, além dos gráficos para controle de metas, foram construídos gráficos para visualização dos índices de Volume Faturado e Volume Arrecadado, espacializados sobre a feição “Setores”, utilizando o mesmo procedimento.

Na Figura 72 são representados os gráficos, espacializados sobre os setores de abastecimento de água, para comparação dos índices de volume faturado, representado pela cor verde, e de volume arrecadado, representado pela cor azul.

Figura 72 – Gráficos de índices de Volume Faturado e Volume Arrecadado espacializados sobre a feição Setores no SIGHE2A



Os resultados mostram que o modelo SIGHE2A proposto pode ser eficaz como ferramenta para a gestão do consumo de água e de energia elétrica em sistemas de abastecimento, auxiliando a tomada de decisão na operação de SAAs.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES, POSSIBILIDADE DE EVOLUÇÃO DO MODELO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e as possibilidades de evolução do modelo desenvolvido, além das recomendações para trabalhos futuros, visando a atualização e melhoria do modelo proposto.

6.1 CONCLUSÕES

A metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo SIGHE2A é uma contribuição para gerenciamento hidroenergético de SAAs, tendo módulo específico para registro, armazenamento e sistematização dos dados, e outro módulo SIG para a espacialização dos dados primários e dos indicadores de desempenho hidroenergético do SAA, o que serve para complementar os métodos atuais empregados no gerenciamento de perdas.

No modelo foram utilizados 43 dados e 19 índices para a avaliação do desempenho hidroenergético de SAAs, porém, de acordo com as características do SAA a ser analisado e da adequação de funcionalidades extras, o modelo permite que a inserção dos dados de entrada e a determinação de indicadores sejam maiores,.

A utilização das ferramentas de desenvolvimento de aplicações Delphi e Tatukgis facilitou a construção do modelo por meio de uma interface amigável, que permitiu a construção de funções para a espacialização de dados, e para a elaboração de mapas de graduação de cor e de alerta de sinalização de unidades.

A ferramenta de graduação de cor do módulo SIG possibilitou a espacialização dos setores com o melhor e o pior desempenho hidroenergético em diferentes tonalidades, com valores do índice de perda total variando de 43,3% a 54,29% nos setores do SAA Bolonha.

O índice de consumo de energia elétrica também foi maior nos setores 7 e 6 do SAA Zona Central (0,85 e 0,78 KWh/m³, respectivamente), e menor no setor 9, com 0,62 KWh/m³, o que confirma a relação direta entre os volumes perdidos de água e o desperdício de energia elétrica. Esses valores foram 84,58% e 83,98% maiores do que a

energia mínima necessária para o funcionamento das EEATs dos setores 7 e 6, respectivamente.

Por meio da ferramenta Alerta foram sinalizadas as unidades e os setores de abastecimento com problemas ou com valores de indicadores acima das metas pré-estabelecidas pelo usuário do modelo ou pelo gestor do SAA, sendo na simulação, constatado que os setores 4, 6, 7 e 8 do SAA Bolonha – Zona Central apresentaram índices de consumo de energia elétrica acima da meta estabelecida de 0,68 KWh/m³.

O módulo SIG também permitiu a construção de gráficos para controle de metas e para comparação de indicadores, espacializados sobre a feição Setores de abastecimento de água.

É importante ressaltar que a confiabilidade dos resultados depende da precisão dos dados medidos e registrados no monitoramento realizado pelas companhias de saneamento, bem como que o objetivo da presente tese de doutorado não é avaliar o SAA Bolonha, utilizado como estudo de caso, mas sim, demonstrar a funcionalidade do modelo SIGHE2A para o conhecimento da situação e tomada de decisão para melhoria da gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água, evitando, assim, gastos excessivos com energia elétrica e desperdício de água.

A visualização espacial dos dados no modelo facilitou a avaliação do desempenho hidroenergético do SAA do estudo de caso, possibilitando a detecção de problemas nas unidades do sistema com as ferramentas desenvolvidas.

Com isso, o modelo desenvolvido é uma ferramenta que permite a avaliação do desempenho de SAAs, não somente para controle de perdas de água, mas, principalmente, para verificar as potencialidades de redução do consumo de energia elétrica nas diferentes etapas do sistema de abastecimento. Também deve ser ressaltada que o modelo permite avaliação hidroenergética pontual em cada unidade ou setor do SAA, o que facilita a localização do problema, agilizando a tomada de decisão para a realização de alterações operacionais e de manutenção preventiva e corretiva das instalações.

6.2 POSSIBILIDADE DE EVOLUÇÃO DO MODELO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O modelo de gestão hidroenergética de SAAs SIGHE2A foi desenvolvido para registro, sistematização e espacialização de dados utilizando médias mensais, admitindo a inserção de dados mês/ano dos volumes de água e dos consumos de energia elétrica nas unidades do SAA, facilitando, com isso, a tomada de decisão na gestão hidroenergética do SAA. No entanto, no modelo desenvolvido ainda não permite, na versão atual do SIGHE2A, o monitoramento dos dados e indicadores em tempo real, ou seja, apesar de permitir a inserção de dados por dia ou por hora, o modelo ainda não possui a funcionalidade de registro integrado de dados por meio de leitura automática de sensores de medição de vazão e de energia elétrica.

Os indicadores gerados no modelo são disponibilizados em sua totalidade para o usuário do SIGHE2A, não sendo, ainda, agrupados de acordo com a hierarquia das concessionárias de saneamento, nem previsto sistema de senhas para acesso aos dados e indicadores construídos.

Aliado a isso, a quantidade de indicadores utilizada no modelo SIGHE2A é suficiente para a gestão do consumo de água e de energia elétrica nas unidades do SAA. Porém, para a gestão completa de SAAs podem ser considerados outros indicadores, não inseridos no modelo.

Além disso, é recomendada a avaliação estatística dos dados para a inserção no modelo desenvolvido, a fim de validar os dados a serem utilizados e otimizar a avaliação das unidades e do SAA como um todo.

Em trabalhos futuros é sugerida a avaliação da influência do desempenho das unidades do SAA no sistema como um todo, por meio de avaliação estatística e da construção e adaptação de novos índices de desempenho ao modelo.

Também é recomendada a realização de novas simulações do modelo desenvolvido, utilizando SAAs com diferentes características, e alternando as características físicas/espaciais do SAA para geração de novos resultados e avaliação da influência dessas características no desempenho de SAAs, ou seja, com a simulação, será possível avaliar a remoção de uma determinada área de abastecimento (setor), com

suas respectivas unidades, e a influência dessa remoção no volume perdido de água e no consumo de energia elétrica do SAA em questão.

Assim, é indicada a complementação e atualização do modelo SIGHE2A em trabalhos futuros, por meio do desenvolvimento das seguintes funcionalidades:

- **Nível Hierárquico para visualização e edição de indicadores hidroenergéticos:** Nessa funcionalidade é sugerida a utilização de senha para cada tipo de usuário, onde, de acordo com a hierarquia das concessionárias de saneamento, são disponibilizadas ferramentas para registro e/ou edição, ou apenas visualização das informações no SIGHE2A.
- **Escala de intensidade para Sinal de Alerta:** O SIGHE2A identifica as unidades do SAA com problemas, ou seja, com indicadores de desempenho hidroenergético acima das metas pré-estabelecidas no momento do registro dos dados primários. Essa identificação se dá por meio de sinalização da unidade. Dessa forma, é proposta a criação de escala de alerta, para mudança da intensidade de sinalização conforme a proximidade do limite estabelecido na meta.
- **Avaliação do desempenho hidroenergético em tempo real:** Criação da funcionalidade de registro integrado de dados por meio de leitura automática de sensores de medição de vazão e de consumo de energia elétrica, permitindo a inserção automática dos dados no banco de dados, sem a necessidade de registro manual. Essa função deverá possibilitar o registro m³/segundo ou litro/segundo para a determinação dos indicadores de desempenho e avaliação do SAA em tempo real, agilizando a tomada de decisão operacional.
- **Ferramenta para compartilhamento de banco de dados no próprio SIGHE2A:** Criação de ferramenta para a importação de dados oriundos de arquivos existentes no formato Excel ou Access, e para exportação do banco de dados do modelo, por meio de ícone no próprio SIGHE2A, permitindo a visualização em outros softwares de banco de dados. Na versão atual do SIGHE2A a importação e a exportação de dados só é permitida por meio do banco de dados no MySQL, conforme demonstrado no trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALEGRE, Helena. **Performance indicators of water supply systems**. IWA Publishing: London, 2009.
- ANTENUCCI, J. C. *et al.* **Geographic Information System: a Guide to the Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- ARONOFF, S. **Geographical information system: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. Sumário Executivo. ABES: Set 2013.
- ASTELS, David. **Test-driven development: a practical guide**. 1. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2003. 562 p.
- AZEVEDO NETO, J. M. de; ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica**. Volumes I e II. 8ª edição revista e complementada. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BARRERA, E.D.; FRANK, A.; AL-TAHA, K. **Temporal relations in geographic information systems**. ACM SIGMOD Record, New York, v.20, n.3, p.85-93, 1991.
- 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.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas consumidores finais no ano de 2015**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>. Acesso em 18 jun 2015.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília, 2013. 1 CD-ROM.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília, 2012. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal de dezembro de 2011.** 2012a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/Default.aspx>>. Acesso em 15 fev 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2011. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2010. 1 CD-ROM.

BRASIL. **Decreto Nº 7.217, de 21 de junho de 2010.** 2010c. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2009. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2008. 1 CD-ROM.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Lei/11445.htm>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental; Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Curso de capacitação à distância em gestão eficiente de água e energia elétrica em saneamento.** Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: documento técnico de apoio: DTA A2. **Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água.** Brasília, 2004.

BURROUGH, P & MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.**Spatial Information Systems and Geostatistics.Oxford University, Oxford, 1998.

CÂMARA, Gilberto. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. Tese (Doutorado em Computação aplicada). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. São Paulo, 1995.

CASANOVA, Marco (Org.) ;CÂMARA, G.(Org.) ; DAVIS, Clodoveu (Org.); VINHAS, Lúbia (Org.);QUEIROZ, Gilberto Ribeiro(Org.). **Bancos de Dados Geográficos**. 1. ed. Curitiba: Editora Mundo Geo, 2005. v. 1. 504p.

COLETA de dados. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/>>. Acessoem: 4 fev. 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Relatório de Informações Gerenciais**. 2012..1 CD-ROM.

CONDURÚ, Marise Teles; PEREIRA, José Almir Rodrigues. “Informação estratégica para a gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água”. In: **Sistemas de Saneamento: Eficiência Energética**. Gomes, Pimentel Heber (Org). Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Editora Universitária: João Pessoa, 2010.

COOLEY, Heather. **Multiple Benefits of Water Conservation and Efficiency for California Agriculture**, Reducing Water Withdrawals Provides Benefits on the Farm and Beyond. California, 2014.

COWEN, David J. **GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences**.Photogrammetric Engineering and remote sensing, [S.l.], v.4, n11, p.1551-1555, 1988.

DORCA, Cristiano C.; LUVIZOTTO JR., Edevar; ANDARADE, José Geraldo P. “Aspectos da implantação de um SIG em pequenos e médios abastecimentos de água”.In: **III Simpósio Iberoamericano de redes de água, esgoto e Drenagem. SEREA**. 2006. João Pessoa-Brasil, 2006. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/trabalhos/A06_19.pdf>. Acesso em: 28 jan 2015.

DUARTE P., ALEGRE H., COVAS D. I. C. Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento de água.In. **VIII Simpósio Iberoamericano de redes de água, esgoto e Drenagem. SEREA**. 2008.

ELETROBRÁS. Resultados do Procel: Ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf?1>. Acesso em: 14 set. 2015.

ELGY, John; CHARNOCK, Thomas William; HEDGES, Peter David.” Use of GIS and Remote Sensing in Water Supply: Applications”. In: **Water Supply Systems**. Série ASI NATO. Vol. 15,1996, pp 491-526. ISBN 978-3-642-64739-0.

EMBARCADERO. **Delphi**. Disponível em: <<http://www.embarcadero.com/br/products/delphi>>. Acesso em 10 fev 2015.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Arcgis Resources**. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/home/#>>. Acesso em: 23 jan 2015.

_____, ArcGis 9.0.**Designing Geodatabase With Visio**. Redlands, 2010, 45p.

_____. **ESRI Shapefile Technical Description**.An ESRI White Paper. New York Street, USA, 1998.

FELIX, R.L.S. *et al.* **Sobre a metodologia Extreme Programming**.Disponível em: <<http://tadsmr-com-br.webnode.com/servi%C3%A7os/marque-uma-consulta/sobre-a-metodologia-extreme-programming-xp-/>>. Acesso em: 07 jan. 2015.

FOOTE, Kenneth E.; LYNCH, Margaret.**The Geographer's Craft Project**.Department of Geography, University of Texas. Austin, 2009.Disponível em: <http://www.embrageo.com.br/downloads/artigo_sig.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2013.

FOWLER, Martin. **Refactoring: Improving the design of existing code**. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 2000. 421 p.

GAJIC, Zarko. **Delphi history: the Roots**. 2011. Disponível em: <<http://delphi.about.com/cs/azindex/a/dhistory.htm> >. Acesso em: 27 jan 2015.

GIUSTOLISI O.; LAUCELLI D. e BERARDI L. **Operational Optimization: Water Losses versus Energy Costs**. American Society of Civil Engineers. 2012. ISSN: 0733-9429

GLEICK, P. H. **Peter Gleick testifies about Urban Water Use Efficiency Water Resources Control Board State**, State of Water Resources Board of California Control. California, February 26, 2014.

GLOSS, S., 1991. “El Enigma Legal e Institucional del Uso Eficiente del Agua em el Oeste de los Estados Unidos”. **Memorias Del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua**, 523-530, México.

GOMES, Airton Sampaio; JEROZOLIMSKI, Tobias (coord.). **Técnicas para Controle e Redução de Perdas Aparentes: Processo Comercial**. São Paulo, 2008.

GOODCHILD, M. F. “Geographic information systems”. In: **Encyclopedia of social measurement**. 1 ed., Academic Press, 2004. p. 1 07-11 3.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

HIRNER, W.; LAMBERT, A. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. U.K: International Water Association, 2000. p.4-7. Website: <www.iwahq.org.uk/bluepages>. Accessed: dec 02, 2014.

HOLANDA, J.L.R. **Desenvolvimento de um banco de dados georreferenciado (SIG) para as informações geológicas disponíveis no domínio Ceará Central**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

JUNQUEIRA, R. F.; LAUTENSCHLAGER, S. R.; PAREDES, E.A. “Aplicação de SIG na gestão da manutenção de redes de Distribuição de água”. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 25., 2009, Recife. Anais ...Recife: ABES, 2009. 1 CD-ROM.

LAMBERT, Alan. “International report on water losses management and techniques”. **IWA Conference**. 2001. Berlin, Alemanha.

LITTLE, A D. **Energy efficiency and electric motors**. Final Rept. for FEA, May, 1976.

MCDONALD, Adrian; FOSTER, Jim; SMITH, Andy; DOCES, Harriet. “GIS Applications in the Water Industry”. **Geographical Information and Planning**. Advances in Spatial Science 2000, pp 224-241.

MAKSIMOVIĆ, Cedo; PRODANOVIĆ, Dušan. “Application of GIS in Analysis and Design of Water Supply Systems”. In: **Water Supply Systems**. Série ASI NATO Volume 15, 1996, pp 527-536. ISBN: 978-3-642-64739-0

MEDEIROS, Manoel Pimentel. **Extreme Programming: Conceitos e Práticas**. 2009. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/extreme-programming-conceitos-e-praticas/1498>>. Acesso em: 07 jan 2015.

MOURA, G.N.P. **A Relação Entre Água e Energia: Gestão Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água das Companhias de Saneamento Básico do Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético - COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

MÜHLHOFER, Stefan Igreja; SILVA, Cintya Skowronska. **A utilização de geoprocessamento como ferramenta para manutenção preventiva em redes de água e esgoto.** [S.L.], 2009.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

ORMSBEE, Lindell; WALSKI, “Thomas. Identifying efficient pump combinations”. **Journal American Water Works Association**, v. 81, n. 1, January/1989.

PENA, D. S.; ABICALIL, M. T. “Saneamento: os desafios do setor e a política de saneamento”. **IPEA. Infraestrutura: perspectivas de reorganização.** Brasília, 1999. p. 107-137.

PEREIRA, José Almir Rodrigues; CONDURÚ, Marise Teles. **Abastecimento de água: Informação para Eficiência Hidroenergética.** João Pessoa: Editora Universitária / UFPB, 2014. ISBN: 978-85-237-0747-7

PEUQUET, D. J. “Time in GIS and geographical databases”. **Geographical information systems - Principles, techniques, management, and applications.** New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

PEUQUET, D. J. **Representations of space and time.** New York: Guilford, 2002.

PISKE, O. R.; SEIDEL, F A. **Rapid Application Development.** Especialização em *Software* Livre. Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.angusyong.org/arquivos/artigos/rad.pdf>>. Acesso em: 3fev 2015.

PONTÍFICE UNIVERSIDADE CATÓLICA. **Sistemas de Informações geográficas.** Certificado digital n. 0116476\CA. Rio de Janeiro, 2007. Notas de aula.

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.

REHEIS, H. F.; GRIFFIN, M. K. “Energy cost reduction through operational practices”. **AWWA 1984 Annual Conference**, Dallas, Junho, 1984.

ROSA, Roberto. **Sistema de Informação Geográfica.** Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Uberlândia, 2004.

- SARGAONKAR A., ISLAM R. “Application of GIS in water distribution system assessment”. **Journal of environmental science and engineering**. 2009 Oct; 51(4):321-4.
- SANTOS, R. M. *et al.* **Indicador de abastecimento de água para avaliação da evolução do fornecimento de água para a cidade de Aquidauana/MS**. [s.l: s.n], 2009. 14 p.
- SANTOS, Aline C. P. A. **Sistemas de Informações Geográficas no Monitoramento e Recuperação de Vazamentos em Redes de Distribuição de Água**. 2008. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- SANTOS, J. W. M. C. **Aplicação do geoprocessamento na avaliação e espacialização das perdas físicas de água do sistema de abastecimento público de Rondonópolis – MT**. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 19 (2): 51-67, dez. 2007.
- SERAPHIM, E.; FORTES, R. P. M. **Programação de Delphi apoiando a construção de aplicativos de base de dados**. 1999.
- SICHE, J. R. *et al.* (2007). Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices. **Ecological Economics**, DOI: 10.1016/j.ecolecon.10.023.
- SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, nov. 2002.
- SIEBRA, Sandra de Albuquerque. **Banco de Dados**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010.
- SMITH, T.; PEUQUET, D.; MENON, S.; AGARWAL, P; KBGIS-II, **A knowledge based Geographical Information Systems**. vol. 1, n. 2, 1987, pp. 149-172.
- TABESH M.; YEKTA, AH Asadiyani; BURROWS R. “An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems”. **Water Resources Management**. February 2009, Volume 23, Issue 3, pp 477-492. ISSN: 1573-1650.
- TELES, Vinícius Manhães. **Um estudo de caso da adoção das práticas e valores do Extreme Programming**. 2005. Dissertação (Mestrado em Informática) - Núcleo de Computação Eletrônica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

TIBÚRCIO, Eulimar Cunha. **Desenvolvimento de uma interface em SIG para suporte ao dimensionamento hidráulico de Sistemas de Abastecimento de Água**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: ABES, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. **Sistema de Informação Geográfica e Geoprocessamento**. Estudo dirigido em SIG. Disponível em: <<http://www.professores.uff.br/cristiane/Estudodirigido/SIG.htm>>. Acesso em: 23dez. 2013.

VICENTIN, Tiago Aparecido. **Acionamento de dois sistemas de bombeamento alimentados por uma central de microgeração fotovoltaica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de ciências agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu-SP, 2014.

VONDEROHE, A. P. *et al.* **Adaptation of Geographic Information System Transportation**. [s. l]: National Academic Press, 1993.

WERDINE, Demarcus. **Perdas de água em sistemas de abastecimento**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Universidade federal de itajubá, Itajubá, 2002.

WORBOYS, M. F. “Modelling changes and events in dynamic spatial systems with reference to socio-economic units”. In: **Life and motion of socioeconomic units**. ESF GISDATA series. ed. Taylor and Francis, v. 8, 2001 .

WORBOYS, M. F. “Relational databases and beyond”. In: **Geographical information systems: Principles, techniques, management and applications**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. p. 1 63-1 74.

YUAN, M. **Geographic Data Structures**. In: Manual of geospatial science and technology. BOSSLER, J. (editor). New York: CRC Press, 2010.

YUAN, M.; MARK, D. M.; EGENHOFER, M.; PEUQUET, D. “Extensions to Geographic Representation”. In: **A research agenda for geographic information science**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004. cap. 5. p. 1 29-1 56.

APÊNDICE - BIBLIOTECA DE AJUDA DO SIGHE2A

Bem Vindo à Biblioteca de Ajuda do SIGHE2A

Bem vindo à biblioteca de ajuda para o SIGHE2A para os profissionais de GIS e administradores. Este sistema de ajuda concentra-se principalmente sobre o uso do SIGHE2A na gestão hidroenergética de abastecimento de água.

O sistema SIGHE2A pode ser estendido para monitoramento on-line, intranet e web, o que depende do desenvolvimento de funcionalidades extras.

Se você é iniciante em SIG, ou em gestão de abastecimento de água, você pode começar a aprender sobre o sistema agora, lendo os tópicos Introdução.

Tutorial de ajuda para desktop

Ao passar o mouse sobre botões ou itens de *menu* no sistema, você pode acessar as dicas para cada ferramenta, e assim, identificá-las mais rapidamente na biblioteca de ajuda do sistema.

Biblioteca de Ajuda do SIGHE2A

Com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão da operação de sistemas de abastecimento de água, foi desenvolvido modelo de SIG, denominado SIGHE2A, para registro, armazenamento, sistematização e espacialização georreferenciada de dados obtidos em monitoramento dos volumes de água e o consumo de energia elétrica nas unidades de sistemas de abastecimento de água, proporcionando a geração de resultados rápidos em indicadores hidroenergéticos confiáveis.

Após a inserção de dados hidroenergéticos primários, o sistema permite a representação espacial de indicadores de desempenho hidroenergético das unidades Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB), Adutora de água bruta e de água tratada, Estação de Tratamento de Água (ETA), Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT), Reservatório Apoiado (RAP), Reservatório Elevado (REL) e setores de abastecimento de água.

O sistema inclui um módulo hidroenergético e um módulo SIG, que podem ser atualizados e aprimorados continuamente, com inserção de novas funcionalidades, visando melhorar a avaliação da gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água.

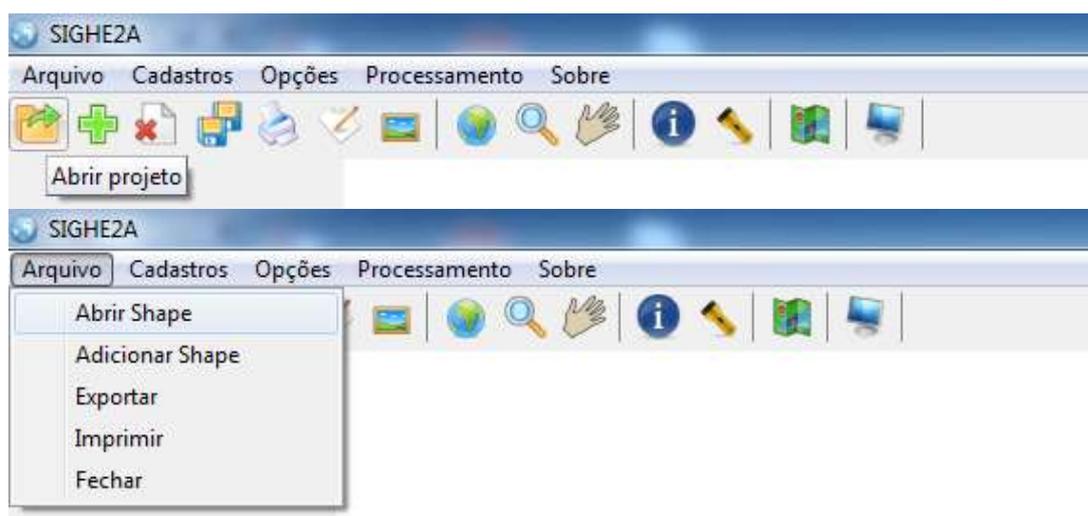
Funcionalidades Básicas - Módulo SIG

O módulo SIG foi desenvolvido de forma a atender as necessidades do controle de desempenho hidroenergético em Sistemas de Abastecimento de Água, e inclui ferramentas com funcionalidades básicas inerentes a todo SIG, como Zoom, Escala, seleção de *Datum* e sistema de coordenadas, copiar, colar, adicionar *shapefile* ou *geodatabase*, salvar etc.

A seguir são apresentadas as funcionalidades básicas do SIG, que são necessárias para a avaliação georreferenciada da eficiência hidroenergética de sistemas de abastecimento de água.

Abrir Projeto

Para iniciar o uso do SIGHE2A, clicar no ícone do sistema, caracterizado por um globo terrestre, e com a ferramenta “abrir projeto”, o usuário poderá trabalhar algum projeto já existente ou adicionar os geodatabases ou shapefiles e salvar um novo projeto.



Adicionar camada

Com a ferramenta “Adicionar camada” ou “Adicionar Shape”, o usuário poderá adicionar um geodatabase ou shapefile ao projeto.



Fechar Projeto

Com a ferramenta “fechar projeto”, o usuário pode fechar os projetos que estiverem abertos.



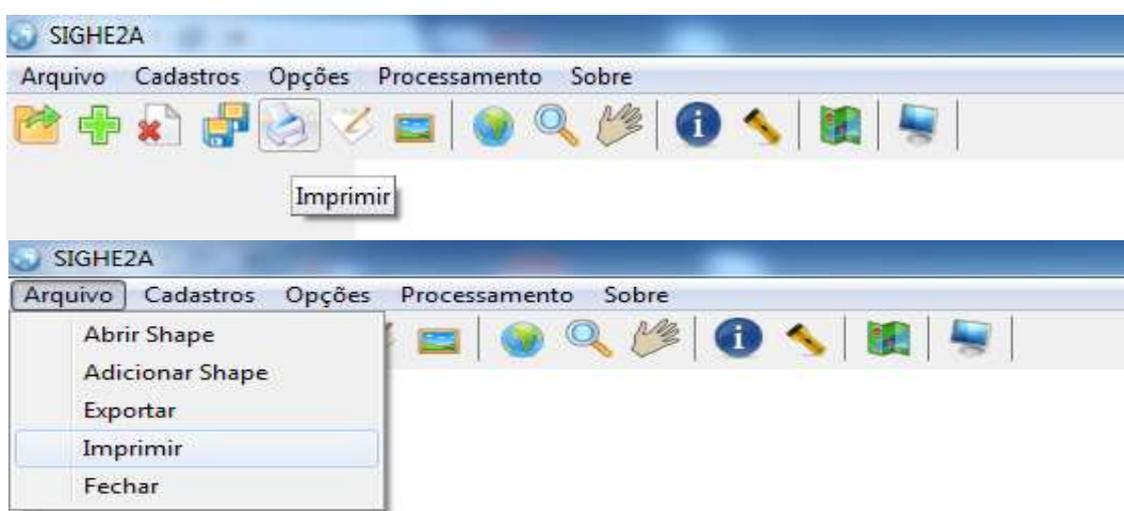
Salvar Projeto

Com a ferramenta “Salvar tudo”, o usuário pode salvar os projetos desenvolvidos.



Imprimir Mapa

Com a ferramenta “imprimir”, o usuário pode expor os projetos desejados.



Editar Projeto



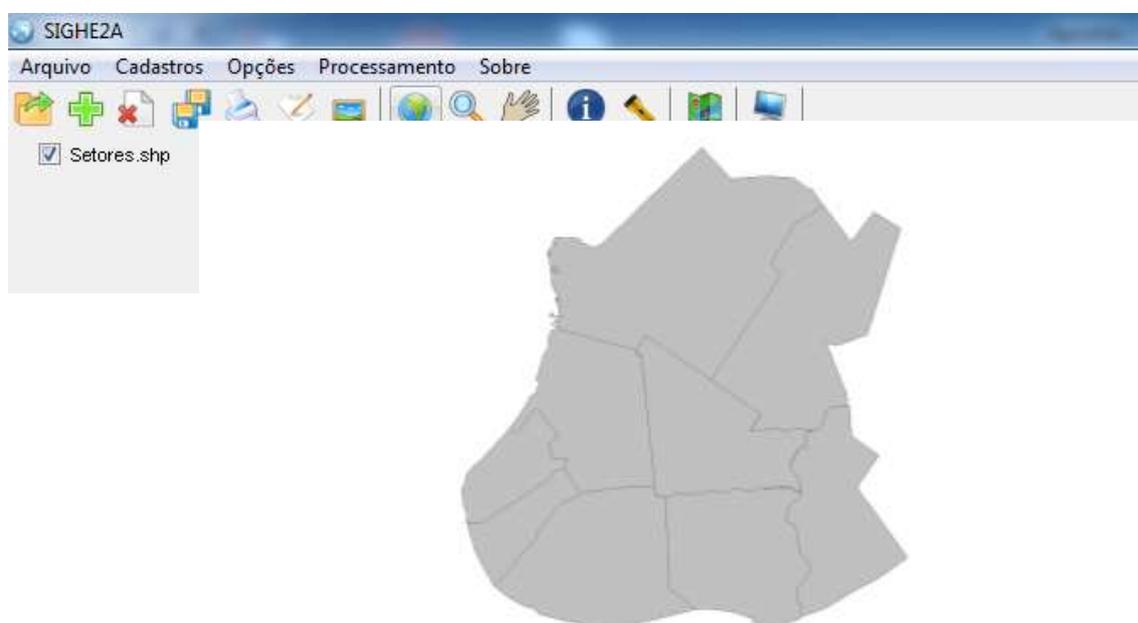
Exportar Mapa

Com a ferramenta “Exportar tela”, o usuário poderá salvar as imagens e mapas da sua tela em diversos formatos como: JPG, PNG, BMP, TIF.



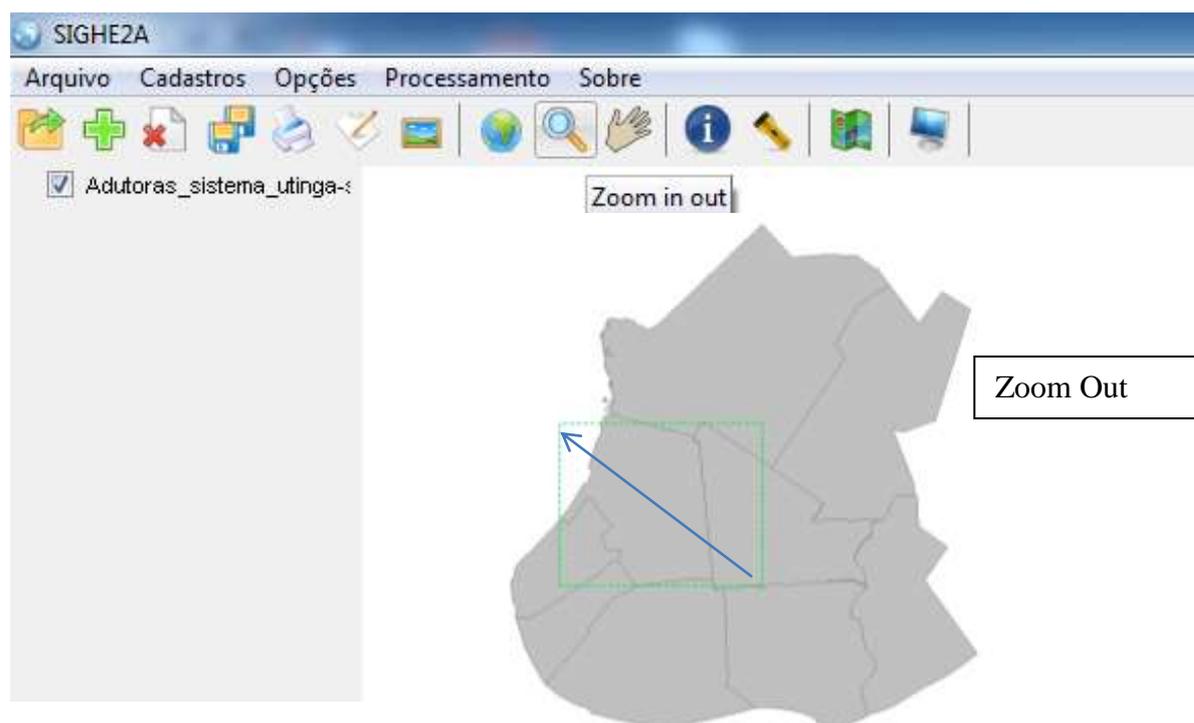
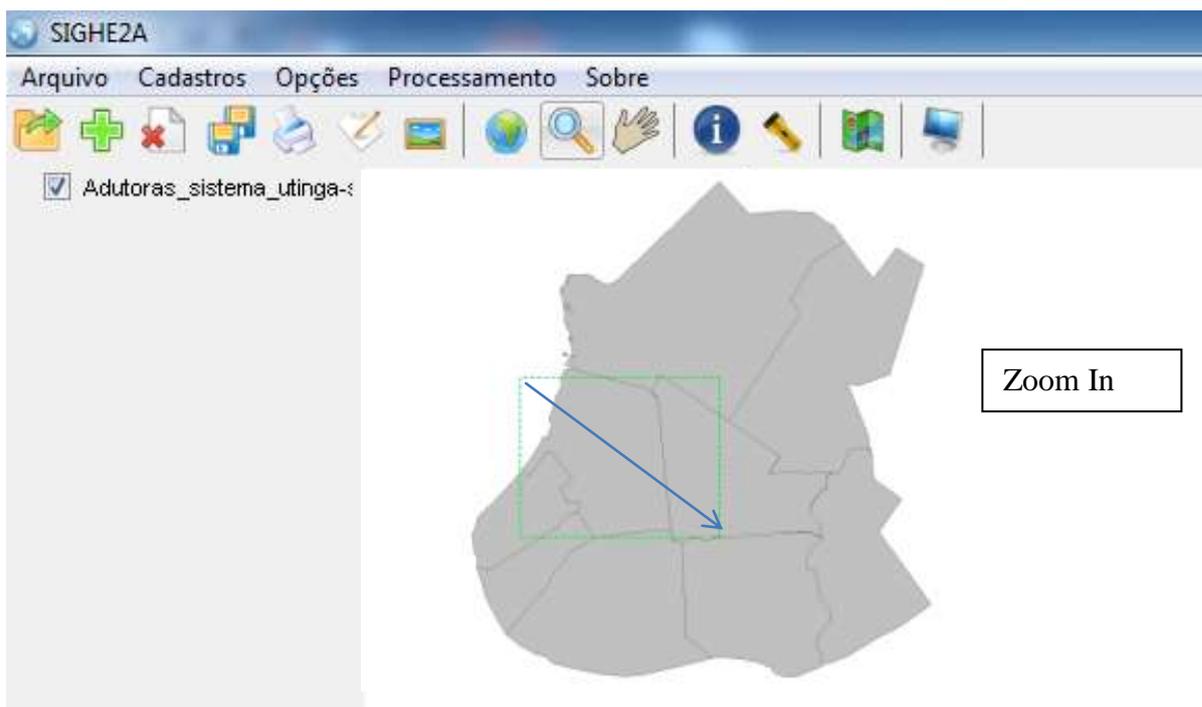
Zoom Full

Com a ferramenta “Zoom para extensão total”, o usuário pode ter uma visão ampla de todo o projeto.



Zoom In e Zoom Out

Com a ferramenta “Zoom in/out”, o usuário pode ampliar a visualização do mapa com *Zoom In*, clicando e arrastando o mouse da esquerda para a direita, ou *Zoom Out* clicando e arrastando o mouse da direita para a esquerda, conforme xemplificado respectivamente nas imagens abaixo.



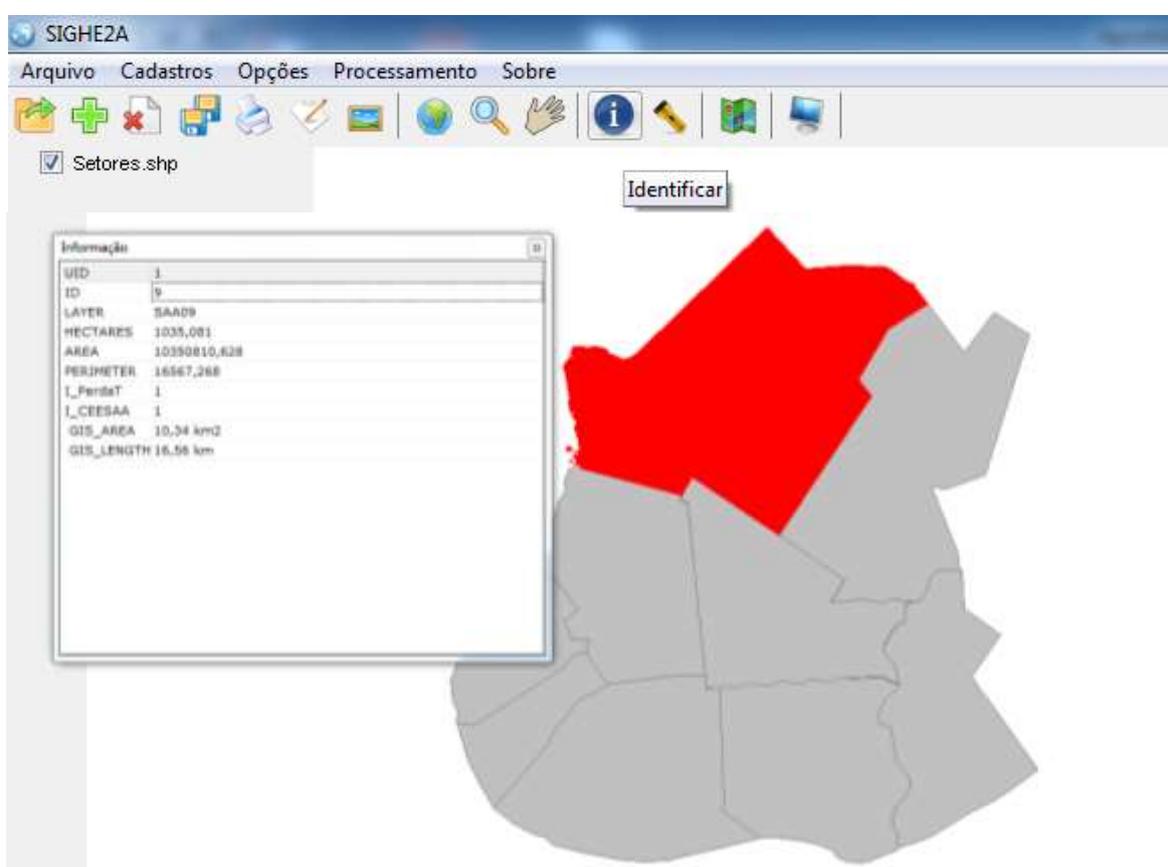
Mover

Com a ferramenta “mover”, o usuário pode visualizar diferentes partes do projeto movimentando a tela.



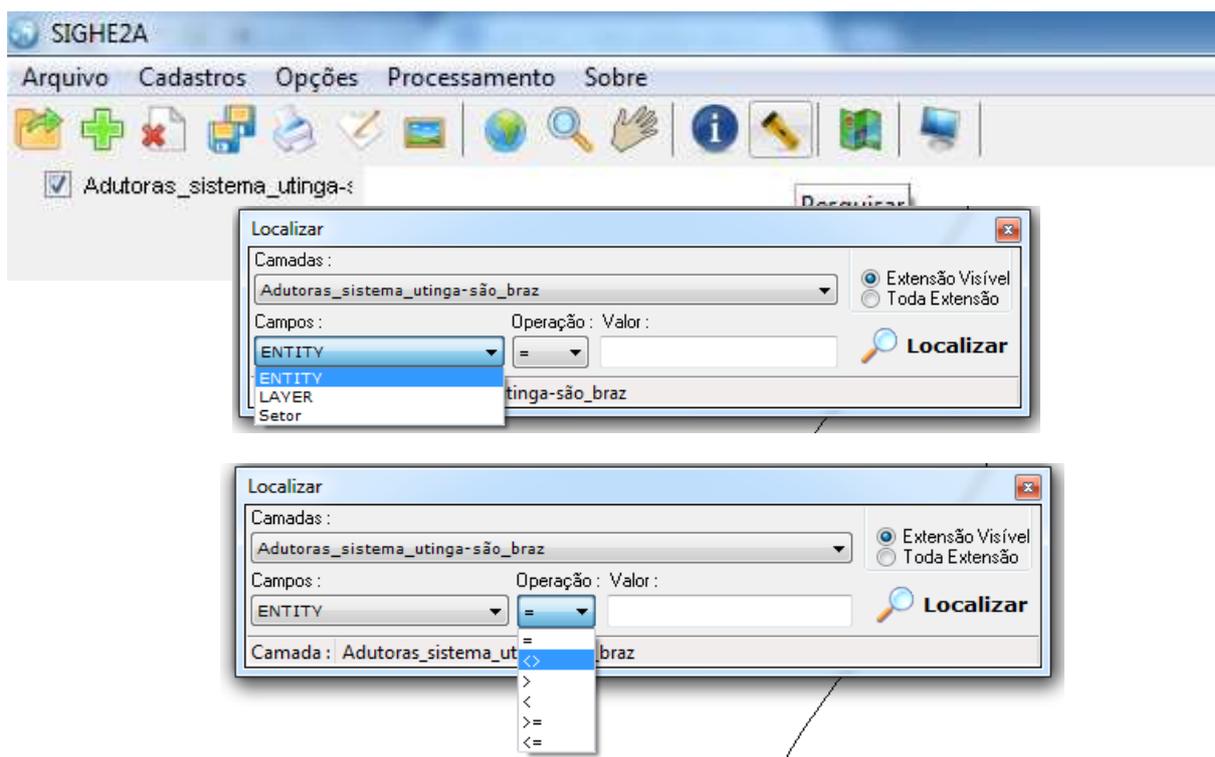
Identificar

Com a ferramenta ‘identificar’, o usuário poderá visualizar a tabela de atributos do elemento cartográfico selecionado e obter informações detalhadas de cada unidade ou setor de abastecimento de água.



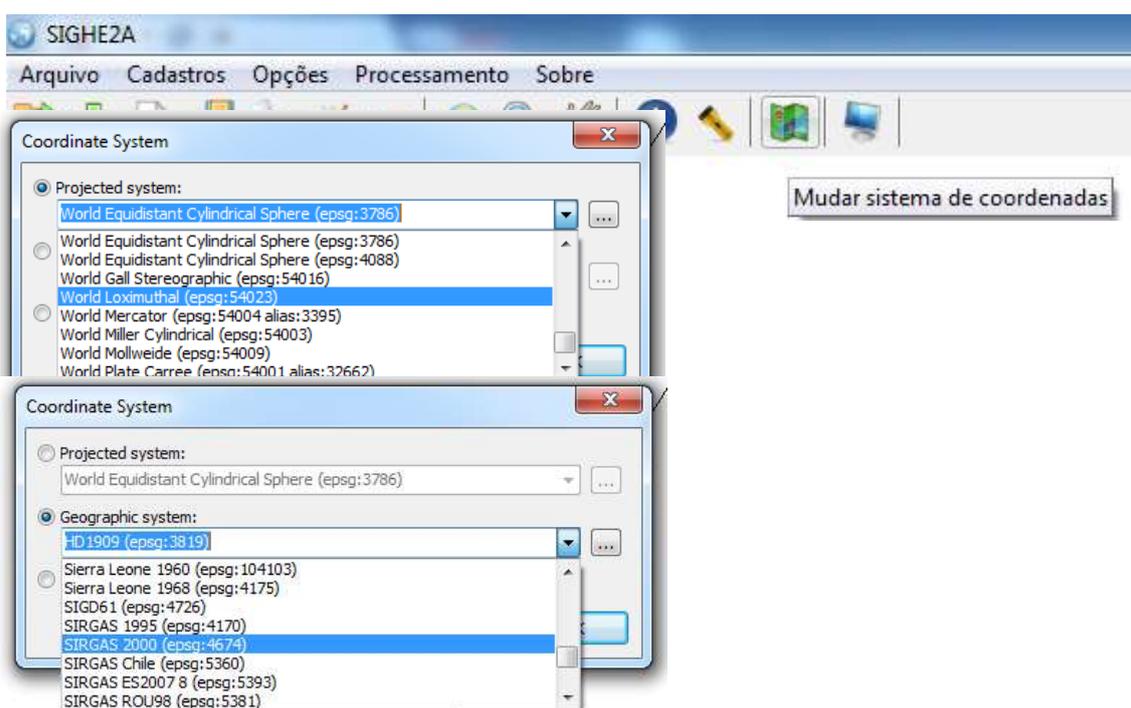
Pesquisar

Com a ferramenta “Pesquisar” ou “Localizar”, o usuário poderá pesquisar dados de diferentes colunas e tabelas de atributos das camadas apresentadas na janela de visualização do SIGHE2A, podendo pesquisar dados (= ; <> ; > ; < ; > = ; < =) aos valores identificados na tela de pesquisa.



Mudar Sistema de coordenadas

Com a ferramenta “Coordinate System” o usuário poderá alterar ou configurar o sistema de coordenadas, selecionando o sistema de coordenadas adequado para a localidade a ser estudada, sendo possível escolher entre sistema de coordenadas projetadas ou cartesianas ou sistema de coordenadas geográficas. Para o sistema de coordenadas projetadas, o usuário deverá indicar também, o Meridiano Central e a Zona ou Fuso da localidade estudada.



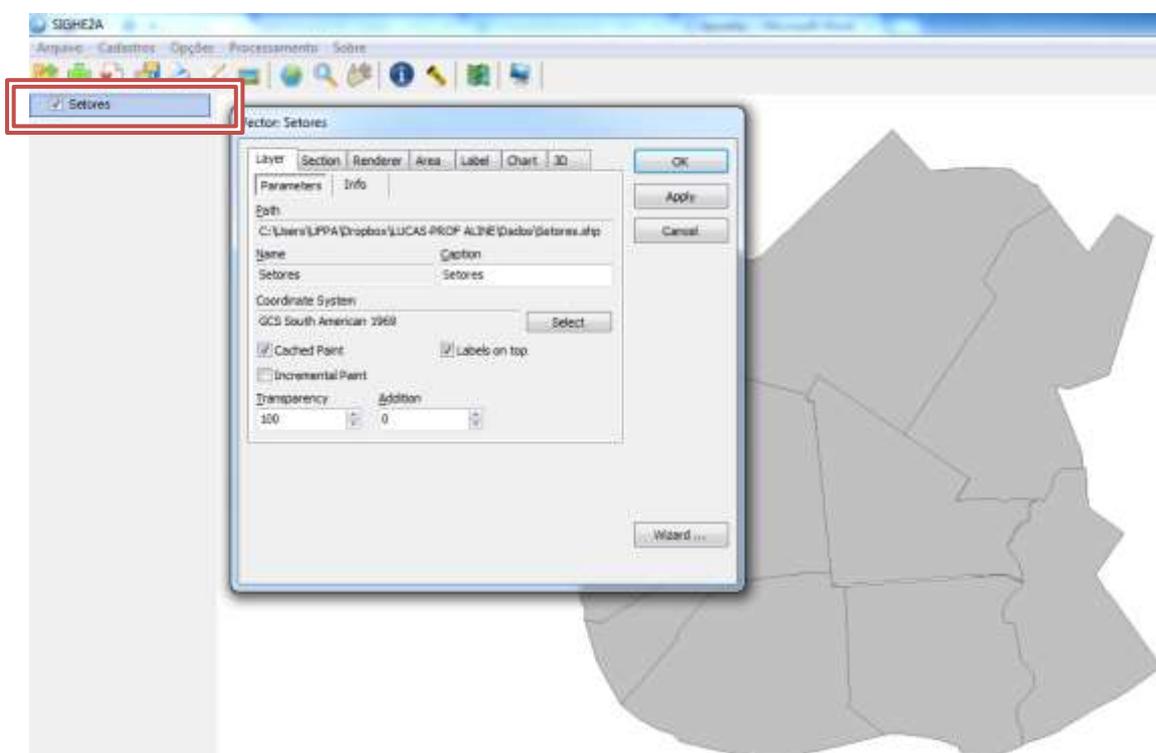
Renderizar

Com a ferramenta “mudar renderização da tela”, o usuário poderá melhorar, automaticamente, a qualidade da sua imagem de trabalho.

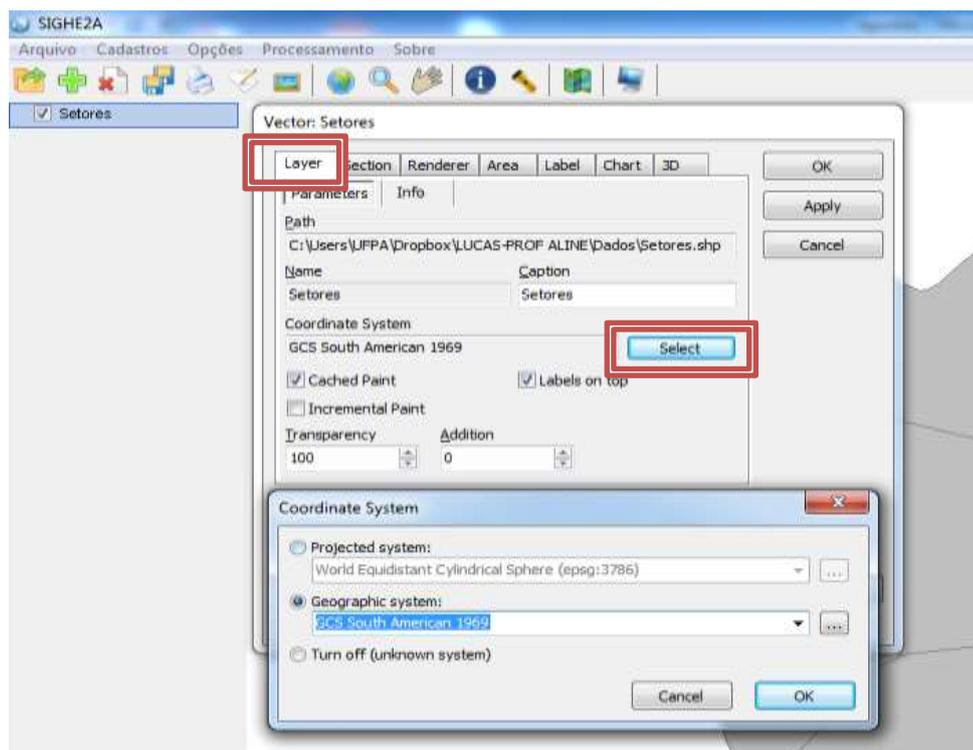


Configurar Feições

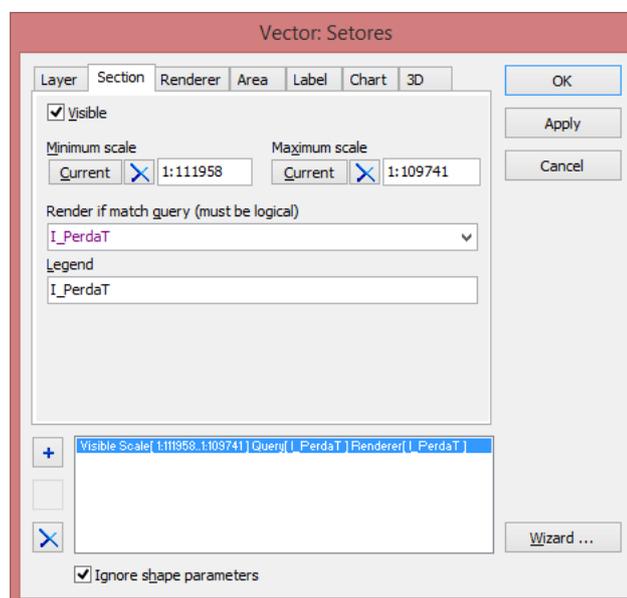
O usuário poderá configurar as feições vinculadas aos shapefiles ou geodatabases adicionados, por meio da ferramenta “Vetor”. Com a camada adicionada à janela de visualização do SIGHE2A, basta clicar duas vezes na camada a ser configurada e a janela de vetores se abrirá.



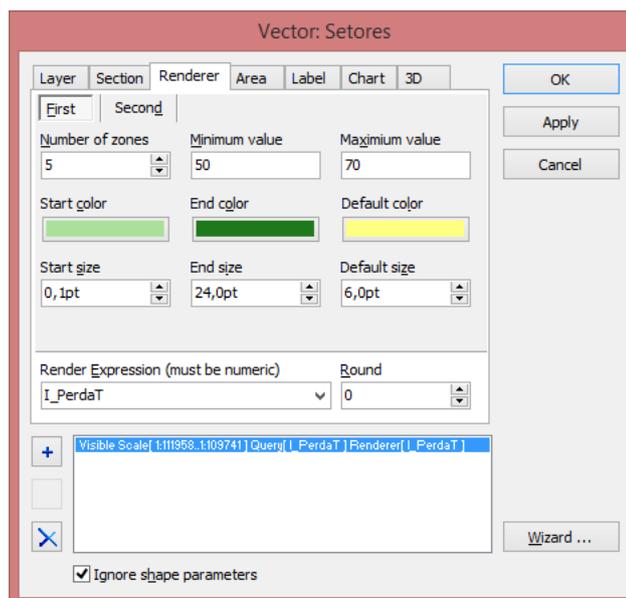
Na aba *Layer* da ferramenta vetor, o usuário terá uma forma alternativa para verificar e alterar algumas funções referentes ao sistema de coordenadas, semelhante ao ícone “mudar sistemas de coordenadas”.



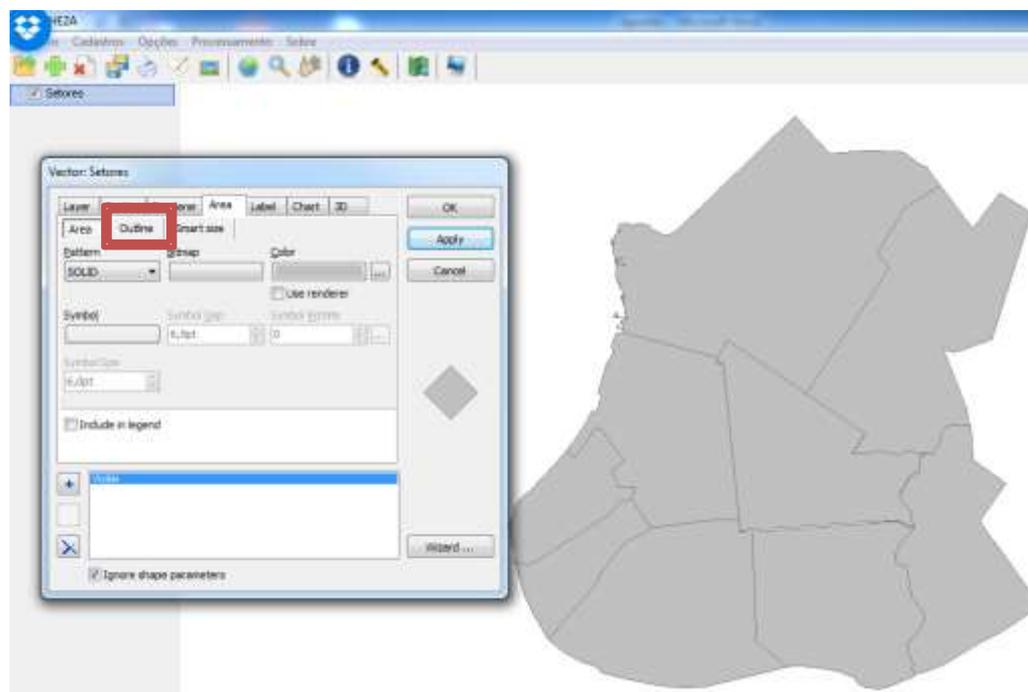
Na aba “*Section*” o usuário poderá realizar o seccionamento ou corte da feição cartográfica, com base em um intervalo mínimo e máximo de resultados de cada coluna do banco de dados.



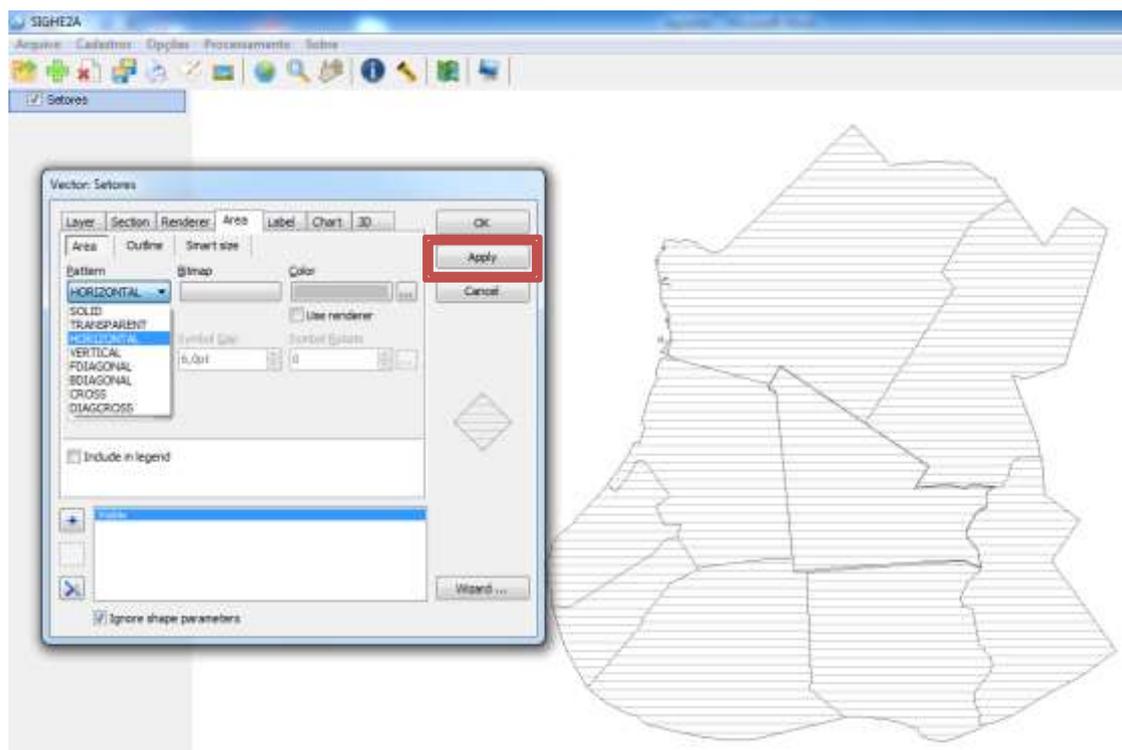
Na aba “*Renderer*” é possível configurar as feições para mapas de graduação de cores, possibilitando a definição do indicador (coluna do banco de dados) e do número de classes a serem utilizados na graduação de cor, do intervalo numérico a ser classificado, das tonalidades inicial e final, da espessura de linhas da feição e do tamanho de texto utilizado na feição.



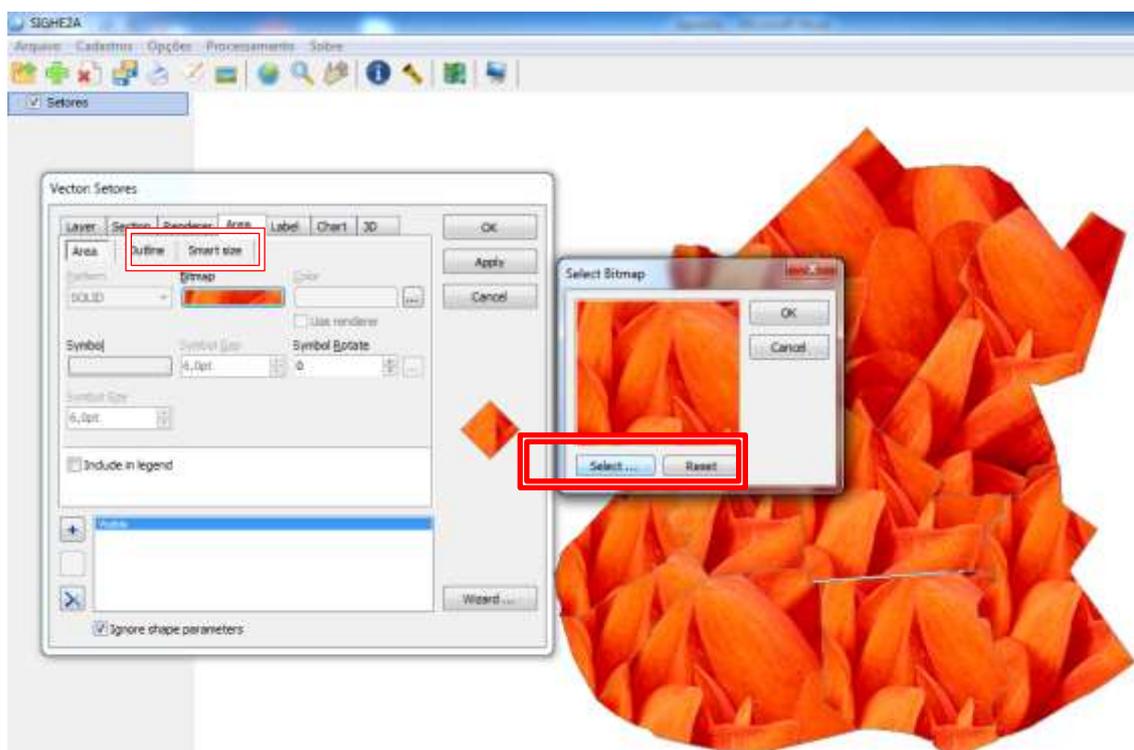
Na aba “Área”, o usuário poderá configurar as feições adicionadas à janela de visualização do SIGHE2A, definindo o tipo de preenchimento, a cor, adicionando imagens e/ou símbolos como plano de fundo da feição etc.



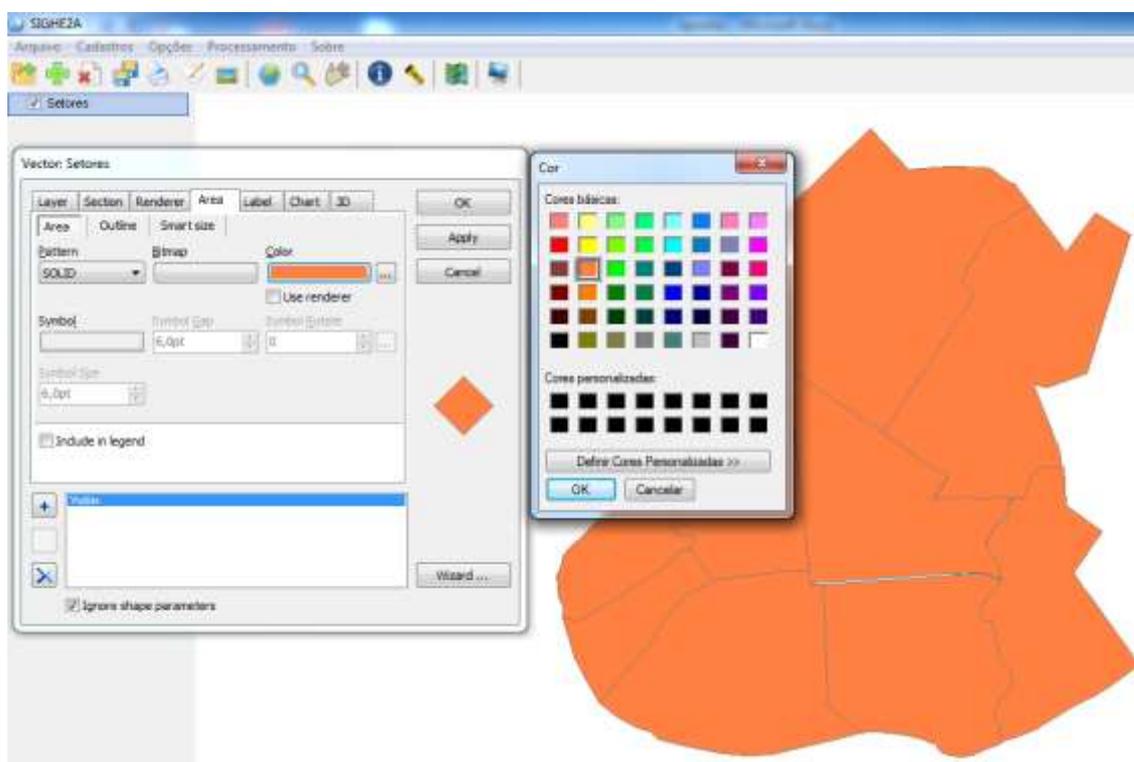
Na subaba Pattern, é possível alterar o plano de fundo da área da camada, clicando na seta para baixo e escolhendo o tipo de plano de fundo que se deseja utilizar. Após escolher, clique em “Apply” e o plano será aplicado à camada, conforme exemplificado na figura.



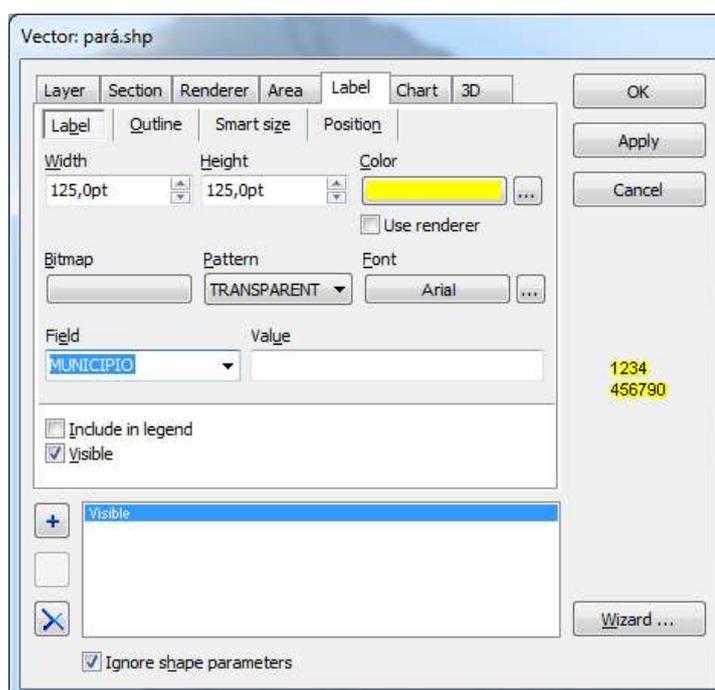
Na aba Bitmap o usuário poderá inserir uma imagem como plano de fundo da camada. Basta clicar em Bitmap, em seguida em *Select*, localizar, no diretório, a imagem escolhida e aplicar a função. Caso queira mudar a imagem aplicada basta clicar em Reset - ok e Aplicar, conforme identificado abaixo.



Na aba “color”, o usuário poderá configurar as cores do preenchimento da camada, conforme ilustrado na figura abaixo.



A aba “Label” possibilita a alteração do tamanho, cores e posição do texto das feições, a ser mostrado na janela de visualização do mapa.

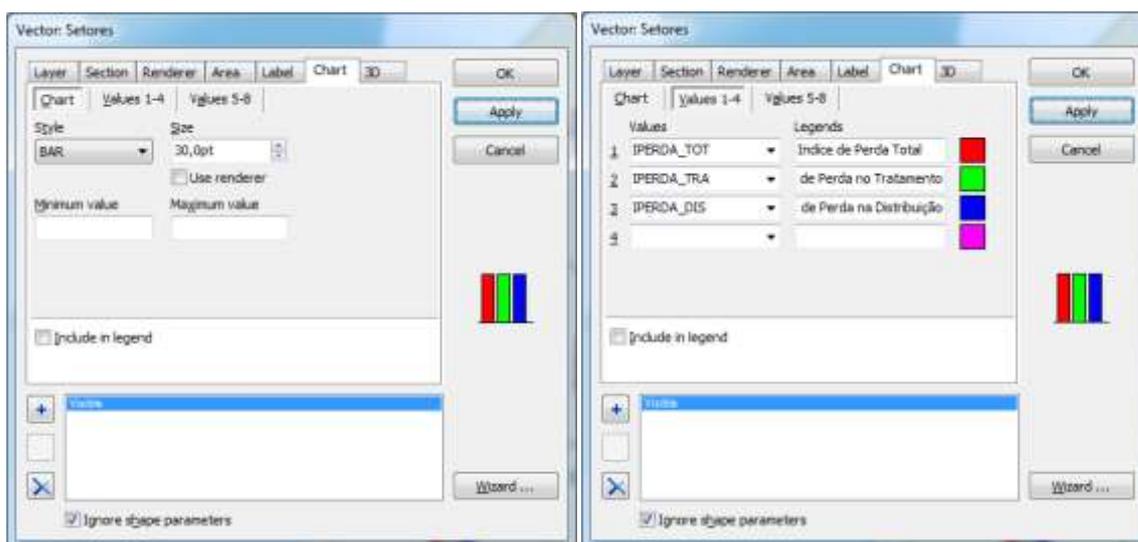


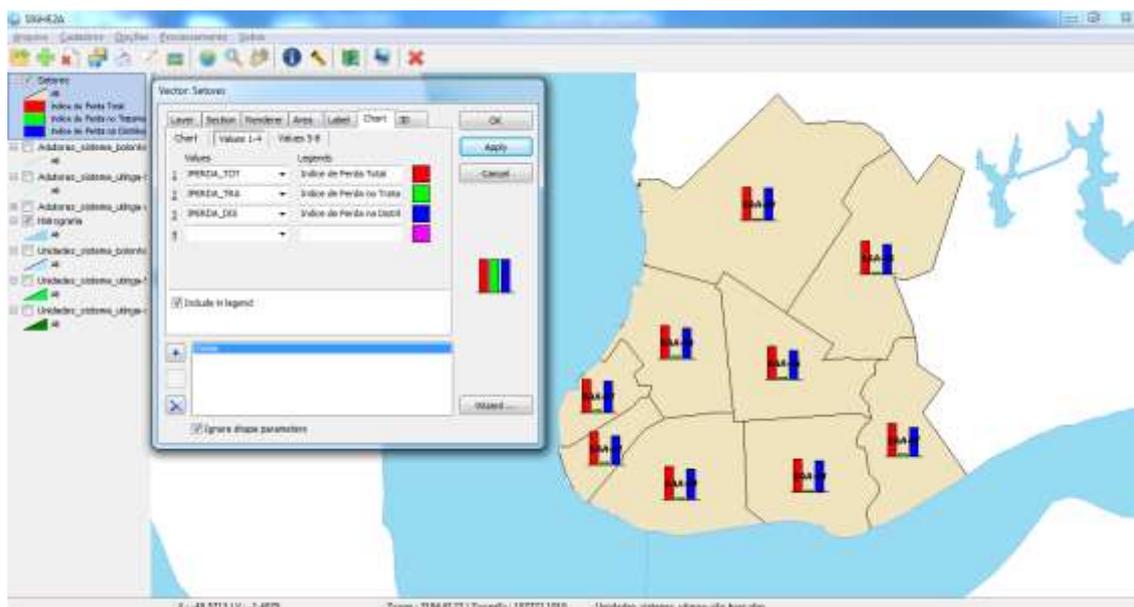
Gráficos de Mapas

No SIGHE2A foi prevista ferramenta para construção, diretamente no mapa, de gráficos tipo pizza e colunas, com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados dos indicadores para cada setor de abastecimento de água.

Essa ferramenta pode ser acessada clicando duas vezes sobre a camada ou shapefile a ser utilizado para gerar os gráficos, e se abrirá a tela de configuração de feições, já demonstrada no módulo SIG. O usuário deverá clicar na aba Chart e identificar o tamanho e o estilo do gráfico (se de coluna ou de pizza), e nas abas de valores (1 a 4 e 5 a 8), selecionar as cores e os parâmetros (indicadores) a serem utilizados na confecção dos gráficos, podendo selecionar até oito parâmetros.

Nas figuras abaixo é exemplificada a seleção de indicadores de perdas total, na ETA e na distribuição e a construção de gráficos no mapa de setores de abastecimento de água, para a comparação dos resultados desses indicadores nos setores exemplificados.





Módulo Hidroenergético

O sistema, por meio do módulo hidroenergético, calcula indicadores de desempenho hidroenergético propostos no Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) e no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), possibilitando ao usuário a visualização dos resultados por categoria (Setor de abastecimento e unidade) e por grupo (Dados operacionais, comerciais e de consumo e despesas com energia elétrica).

Os indicadores gerais de desempenho das unidades de produção e de distribuição de água utilizados no desenvolvimento do sistema são relacionados aos volumes perdidos de água nas unidades do sistema de abastecimento. Os indicadores de desempenho denominados comerciais demonstram a eficiência da gestão do sistema de abastecimento de água em relação aos dados de faturamento e arrecadação, e os indicadores de desempenho diretamente relacionados com o consumo e as despesas com energia elétrica em sistema de abastecimento utilizados no desenvolvimento do sistema.

O sistema foi desenvolvido para permitir a inserção, pelo gestor do sistema de abastecimento de água, dos dados hidroenergéticos primários, que serão automaticamente armazenados em banco de dados georreferenciado. Assim, o sistema determinará os indicadores de desempenho hidroenergético do sistema de abastecimento, representando espacialmente as unidades com o melhor ou o pior desempenho hidroenergético.

Registro de dados hidroenergéticos de Sistemas de abastecimento de água

Para que o banco de dados geográfico seja aplicável a sistemas de abastecimento de água, o SIGHE2A dispõe de ferramentas de cadastro para o registro, armazenamento e o cálculo dos indicadores de desempenho, criando assim, um banco de dados contendo os dados de Cadastro (*Input*) e os dados de saída (*Output*). Por meio dessa interface de usuário, poderão ser inseridos os dados gerais, comerciais, de volume, de consumo e de despesas com energia elétrica dos setores do sistema de abastecimento e das unidades do SAA, individualmente.

Para cada unidade do sistema de abastecimento se abrirá uma tela de cadastro para inserção dos dados hidroenergéticos primários monitorados em campo. Em “EEAB”, “EEAT”, “ETA”, “RAP”, “REL”, “SETORES”, o usuário poderá inserir os dados da unidade, e após o preenchimento de todos os campos obrigatórios ele poderá adicionar os dados ao banco de dados georreferenciado.



Nas telas de cadastro, o usuário deverá inserir o mês/ano referente ao dado coletado, a unidade, os dados primários solicitados na tela, que são referentes aos dados de volume, comerciais e de consumo de energia elétrica nas unidades do sistema de abastecimento de água, e as metas para cada um dos indicadores a serem calculados. As metas para os indicadores deverão refletir os objetivos a serem alcançados para a gestão hidroenergética do sistema de abastecimento.

Tela de cadastro para os dados referentes à unidade EEAB

EEAB

Mês / Ano:

Vol. de água bruta:

Desp. Energ. F. Hor. Ponta:

Unidade:

Altura manométrica:

Cons. Energ. Hor. Ponta:

Meta do Ind. de cons. Energia:

Desp. Energ. Hor. Ponta:

Cons. Energ. F. Hor. Ponta:

Meta IPAduAB:

| IdGeo | Mes_Ano | MetaEEAB_ICE | MetaEEAB_IpAdu | VabEEAB | HmanEEAB | DespE_Hp | DespE_Fp |
|-------|---------|--------------|----------------|---------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | |

Tela de cadastro para os dados referentes à unidade ETA

ETA

Mês / Ano:

Vol. macrom. a montante:

Cons. Energ. Hor. Ponta:

Unidade:

Vol. macrom. a jusante:

Cons. Energ. F. Hor. Ponta:

Meta:

Volume de serviço:

| Mes_Ano | IdGeo | MetaETA | VmontETA | VjusETA | Vserv | CE_Hp_ETA | CE_Fp_ETA |
|---------|-------|---------|----------|---------|-------|-----------|-----------|
| | | | | | | | |

Tela de cadastro para os dados referentes à unidade EEAT

The screenshot shows a software window titled "EEAT". It contains several input fields for registration data:

- Mês / Ano: []
- Unidade: []
- Meta: []
- Altura manométrica: []
- Cons. Energ. Hór. Ponta: []
- Cons. Energ. P. Hor. Ponta: []

Below the input fields is a table with the following header row:

| Mês/Ano | Unidade | Meta | HnorEEAT | CE_Hp_EEAT | CE_Pp_EEAT |
|---------|---------|------|----------|------------|------------|
| | | | | | |

At the bottom of the window is a toolbar with the following buttons: Primeiro, Anterior, Próximo, Último, Adicionar (highlighted with a blue border), Editar, Gravar, Deletar, Cancelar, and Fechar.

Tela de cadastro para os dados referentes à unidade RAP

The screenshot shows a software window titled "RAP". It contains several input fields for registration data:

- Mês / Ano: []
- Unidade: []
- Meta: []
- Vol. macrom. a montante: []
- Vol. macrom. a jusante: []

Below the input fields is a table with the following header row:

| Mês/Ano | Unidade | Meta | VnomRAP | VjurRAP |
|---------|---------|------|---------|---------|
| | | | | |

At the bottom of the window is a toolbar with the following buttons: Primeiro, Anterior, Próximo, Último, Adicionar (highlighted with a blue border), Editar, Gravar, Deletar, Cancelar, and Fechar.

Tela de cadastro para os dados referentes à unidade SETORES

SETORES

Mês / Ano: Popul: Lig: Valor:

Unidade: EaAt: LigRel: CE_Hor:

Meta: EaRel: LigCAI: CE_Fyt:

Vcorr: EaCAI: LigIAt: DEXE:

Vpl: EaIAt: VYat: DEXp:

Popr: EAt: VAr:

| Mes_Ano | MGen | MetaSetores | Vcorr | Vpl | Pop | PopAt | PopRel | EaAt | EaRel | E |
|---------|------|-------------|-------|-----|-----|-------|--------|------|-------|---|
| | | | | | | | | | | |

Primeiro Anterior Próximo Último Adicionar Editar Gravar Deletar Cancelar Fechar

Tela de cadastro para os dados referentes à unidade REL

REL

Mês / Ano: Meta:

Unidade: Vol. macrom. a montante: Vol. macrom. a jusante:

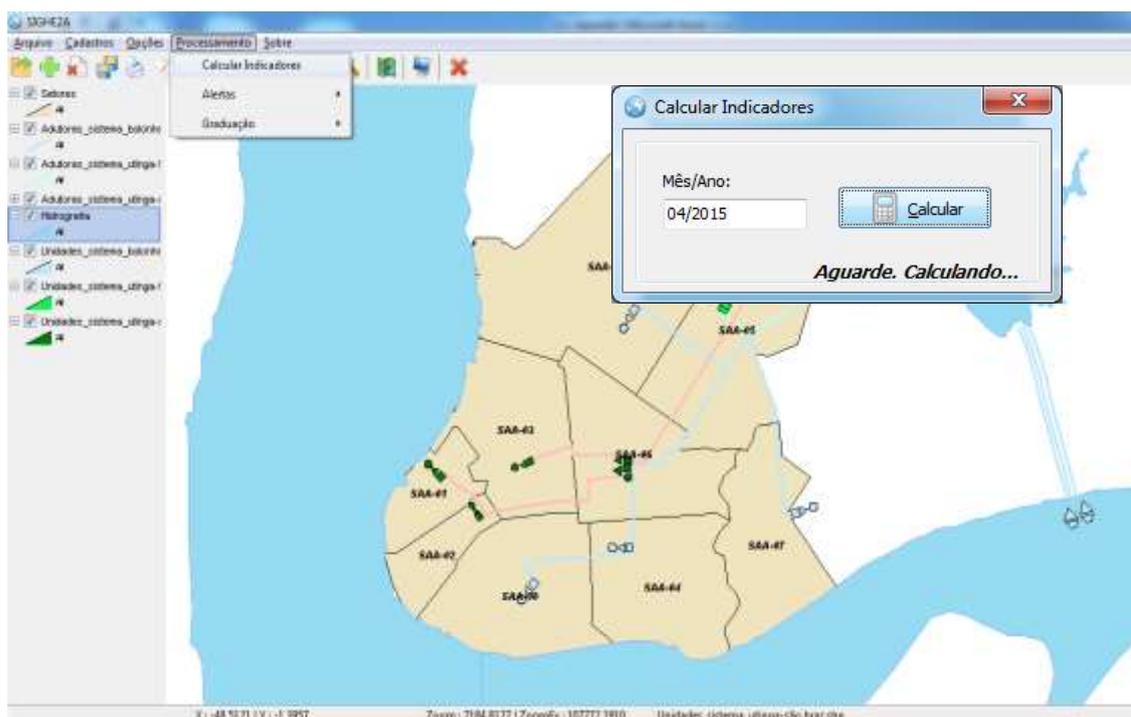
| Mes/Ano | Unidade | Meta | VmontREL | VjusREL |
|---------|---------|------|----------|---------|
| | | | | |

Primeiro Anterior Próximo Último Adicionar Editar Gravar Deletar Cancelar Fechar

Calcular Indicadores Hidroenergéticos

Com os dados primários inseridos, o SIGHE2A calcula os índices hidroenergéticos, das unidades do sistema de abastecimento a ser analisado, possibilitando a geração de relatório de índices de desempenho hidroenergético e a espacialização dos resultados no sistema.

Para calcular os índices, o usuário deverá clicar na ferramenta “Processamento”, e em seguida em “Calcular Indicadores”, e inserir o mês/ano referente aos dados adicionados.



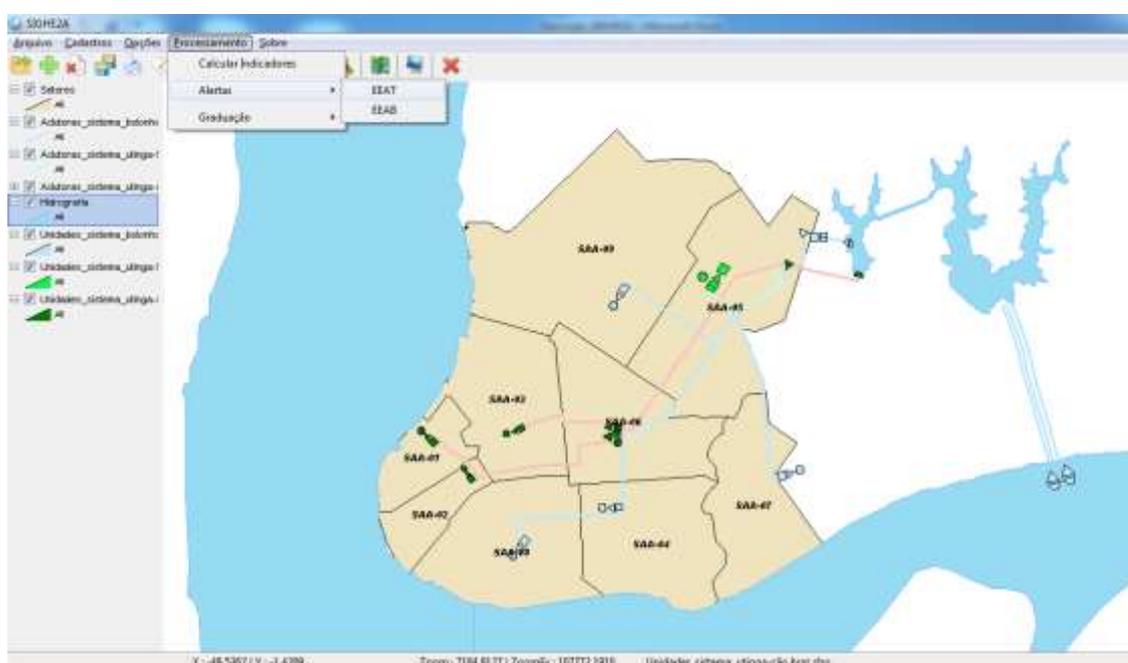
Emitir sinal de Alerta

O SIGHE2A compara os resultados dos índices calculados com as metas pré-estabelecidas pelo gestor, e emite sinal de Alerta (pisca) nas feições cartográficas das unidades do sistema de abastecimento que apresentam problemas em relação à gestão hidroenergética, ou seja, as unidades cujos índices ficaram acima das metas pré-estabelecidas pelo usuário do sistema.

Para acionar a função “Alerta”, o usuário deverá clicar na ferramenta “Processamento” e em seguida em “Alerta” e selecionar a unidade a ser analisada para emissão de sinalização de alerta e a categoria de dados a ser utilizada, ou seja, indicadores de perdas de água, indicadores comerciais ou de desperdício de energia elétrica. Com isso, as unidades com indicadores acima das metas pré-estabelecidas na tela de cadastro serão sinalizadas com pisca.

O modelo desenvolvido permite a configuração do número de sinalizações (piscas) a serem mostrados na janela de visualização, por meio de botão no canto superior direito da janela. Assim, o usuário do sistema poderá inserir, por exemplo, o número 10 na ferramenta, e a unidade do SAA com indicadores acima da meta pré-estabelecida na janela de cadastro, piscará 10 vezes.

Além disso, foi criada ferramenta para desligar as sinalizações de alerta nas unidades do sistema de abastecimento de água. Para isso, o usuário deverá clicar no botão “Desligar Alerta” representado por um X em vermelho.



Mapas de Gradação de cor

O SIGHE2A inclui ferramenta para construção de mapas de gradação de cor, onde são identificados com coloração mais forte, os setores de abastecimento com os mais elevados valores de índices hidroenergéticos.

Ao clicar no *menu* Processamento, e nos *submenus* Gradação e selecionar os indicadores, o modelo SIGHE2A automaticamente gera o mapa de gradação de cor para a camada “Setores de Abastecimento de Água”, com configurações padrão, que podem ser alteradas por meio da ferramenta de configuração de feições, na aba *Renderer*. Essa ferramenta possibilita a identificação dos setores com os maiores e os menores índices hidroenergéticos.

