

II-235 - O USO DO GEOPROCESSAMENTO APLICADO À GESTÃO DE SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE**Adriana Dias Moreira Pires⁽¹⁾**

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, graduando Direito pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, Mossoró-RN, Brasil.

Jerônimo Pereira dos Santos

Geólogo e Mestre em Geociências - UFRN. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN. Natal-RN, Brasil. jeronimo@ifrn.edu.br

Daniel Bruno Alves dos Santos

Tecnólogo em Desenvolvimento de Software – IFRN. MSc. Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. danielbrunoalves@gmail.com

André Luís Calado Araújo

Engenheiro Civil – UFPA, Mestre em Engenharia Sanitária – UFPB e PhD em Engenharia de Saúde Pública – University of Leeds. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN. Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da UFRN (PPGES-UFRN). Natal-RN, Brasil. acalado@ifrn.edu.br

Endereço⁽¹⁾: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte- IFRN Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, CEP 59015-000, email – adriana.pires20@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta a criação de um SIG – Sistema de Informação Geográfica -, para estações de tratamento de esgoto que operam por meio de lagoas de estabilização, no estado do Rio Grande do Norte. No SIG abordaram-se os aspectos relacionados a esses sistemas, como a forma de disposição final dos efluentes, resultados das análises físico-químicas, eficiência, forma de operação, manutenção e condução, localização geográfica, órgão responsável, dentre outros atributos. As geotecnologias da informação aplicadas às lagoas de estabilização no âmbito desse trabalho envolveram técnicas de geoprocessamento, georreferenciamento, SIG, uso do GPS, banco de dados desenvolvido no MS ACCESS, análises espaciais e mapas temáticos feitos através do software ARCGIS. Inicialmente foi criado um banco de dados no ACCESS com os dados das análises físico-químicas das ETE do RN para os anos de 2007 e 2008, cedidos pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN). Posteriormente, foi possível ampliar o modelo do banco de dados para entrada de outros tipos de dados, como: modelo de *check list* de controle operacional, dados cadastrais e locais de cada ETE, parâmetros físico-químicos medidos em campo, etc. A partir do modelo final do banco de dados criado foi desenvolvido, com a programação em linguagem *Visual Studio*, um programa para alimentação e consulta aos dados para o banco de dados criado. A seleção das informações disponibilizadas no banco de dados deu-se a partir do modelo dos registros laboratoriais cedidos pela CAERN e a partir de consultas diversas. As principais informações levantadas foram referentes à localização, ao órgão gestor, às análises físico-químicas, à operação e manutenção, ao cadastro e ao monitoramento das ETE. O levantamento dos dados geográficos referente à localização dos sistemas de lagoas de estabilização se deu com o uso do GPS e está georreferenciado no SIG criado, possibilitando atualizar diretamente a base cartográfica do ArcMap utilizada. Isto permitiu fazer análises espaciais e produção de mapas temáticos mostrando que essa técnica de geoprocessamento pode ser utilizada para auxiliar a gestão dos sistemas de tratamento de esgoto. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é apresentar os resultados iniciais obtidos a partir do uso da técnica de geoprocessamento – SIG, aplicado à gestão das ETE que operam por meio de lagoas de estabilização no RN.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento, SIG, banco de dados, estação de tratamento de esgoto, lagoas de estabilização.

INTRODUÇÃO

Ainda são ineficazes as ações de saneamento básico no Brasil, principalmente nas regiões mais pobres, como o Norte e o Nordeste. Embora o tratamento de efluentes doméstico e industrial seja previsto pela legislação Resolução 357/05 e Lei 9.433/97, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – (CONAMA), que estabelecem, respectivamente, o enquadramento dos corpos d'água em classes e os padrões de lançamentos, bem como a

Política Nacional dos Recursos Hídricos, verifica-se na realidade o não cumprimento a tais legislações, fator evidente devido à precariedade na fiscalização por parte dos órgãos competentes.

No Rio Grande do Norte a maioria dos serviços de saneamento básico é realizada pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte - (CAERN), em forma de concessão. Essa Companhia detém 87% de concessão na cobertura dos serviços de esgotos do Estado, o que equivale a 146 municípios atendidos. Deste total, apenas 41 municípios, ou 28%, tratam os esgotos gerados, por meio de lagoas de estabilização. No entanto, considerando os três órgãos de gerenciamento do saneamento básico do Estado (CAERN, município ou SAAE), apenas 51 municípios coletam e tratam seus esgotos por meio de lagoas de estabilização, conforme detalha a Tabela 1 (SILVA FILHO, 2007).

Tabela 1: Concessão de sistemas de esgotamento no Rio Grande do Norte.

	ESTADO (CAERN)	MUNICÍPIO	SAAE
Nº Municípios	146	07	09
Com Lagoas de Estabilização	40	07	04

Fonte: Adaptado de SILVA FILHO (2007).

Apesar dos números revelarem um cenário de importância relativamente bom no âmbito dos sistemas de esgotamento sanitário, a realidade mostra um sistema com dificuldades nos âmbitos operacional e de eficiência. Há uma precariedade no que concernem à gestão, à operação, ao manejo e ao monitoramento desses sistemas.

Nesse sentido, para ultrapassar os obstáculos gerados e assegurar à população o retorno almejado, pode-se fazer uso da crescente inovação tecnológica que atinge todos os aspectos da vida contemporânea. Associar essas inovações como soluções para os problemas da contemporaneidade gerados em quaisquer que seja o âmbito não é um tarefa fácil, mas é possível. Um exemplo disso refere-se as empresas prestadoras de serviços de saneamento que têm buscado soluções baseadas em Geoprocessamento para melhor monitoramento e manejo dos recursos naturais renováveis e não renováveis, de forma a utilizar as informações obtidas no planejamento e no desenvolvimento das mesmas. Uma das ferramentas que está sendo pioneiramente implementada como solução aos problemas gerados no âmbito dos serviços de saneamento corresponde ao SIG – Sistema de Informação Geográfica.

As primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais objetivando reduzir custos de produção e manutenção de mapas ocorreu nos anos 50, inicialmente pelos Estados Unidos e Inglaterra. Nos anos 60, o governo do Canadá desenvolveu um programa para criar um inventário de recursos naturais do país, utilizando ferramentas de geoprocessamento – o SIG. A partir dos anos 70 começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais CAD – *Computer Aided Design* (Projeto Assistido por Computador) que melhoraram as condições para produção de plantas e desenhos para engenharia, desenvolvendo alguns fundamentos matemáticos voltados para a cartografia, incluindo questões de geometria computacional. Dos anos 80 em diante a tecnologia de sistemas de informação geográfica iniciou um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje. O SIG se beneficiou grandemente da massificação causada pelos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto. A grande popularização e barateamento das estações de trabalho gráficas, o surgimento e a evolução dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais e a grande difusão do uso de SIG nesse período findou por sua chegada ao Brasil, através da UFRJ, empresa MaxDATA (PR), CPqD/TELEBRAS e INPE. A partir de então, já nos anos 90, o crescimento do ritmo de penetração do SIG nas organizações, alavancado pelos custos decrescentes de *hardware* e *software*, e também pelo surgimento de alternativas menos custosas para a construção de bases de dados geográficas, passou a ser significativo.

Dessa forma, considerando a necessidade de contribuir para uma melhor gestão e tomada de decisões referente à condução dos sistemas de tratamento de esgoto no estado do Rio Grande do Norte, que operam por meio de lagoas de estabilização, o presente trabalho teve como objetivo integrar o uso de *softwares* a um Banco de Dados desenvolvido de forma a criar um SIG personalizado que possibilitasse a análise dos parâmetros estudados em cada ETE monitorada durante a execução do projeto ALERN – Avaliação da Operação e Eficiência de Lagoas de Estabilização no Rio Grande do Norte -, de forma a subsidiar a tomada de decisão referente à condução desses sistemas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para Von Sperling (2002), o programa de monitoramento tem fundamental importância, pois se relaciona com o real aproveitamento dos dados levantados. Não há sentido em se obterem dados, se estes não forem posteriormente consistentes e interpretados, bem como com gráficos de acompanhamento de desempenho. Convém, portanto, que as informações reunidas sejam sistematizadas em um banco de dados, que será a base do monitoramento e permitirá que se obtenha um quadro de análise capaz de fornecer mais informações do que apenas grupos de dados isolados. Neste sentido, ressalta-se uma das utilidades do SIG.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) consiste em uma importante ferramenta para o controle e monitoramento de sistemas complexos. O SIG permite a integração de inúmeros conjuntos de dados, como dados tabulares, fotografias aéreas, imagens de satélite com informações sobre o terreno, como curvas de nível, cobertura do solo, água e efluentes (TAYLOR, 2005). Ao aliar bancos de dados alfanuméricos com dados geográficos de uma determinada área, possibilita análises mais integradas e consistentes de qualquer sistema que se deseja analisar, obter informações, associá-las ou geri-las (CASTRO *et al.*, 2008).

A utilização dessa ferramenta na gestão de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) facilita o desempenho de funções correspondentes ao controle e monitoramento integrado de qualquer ETE. Tais funções podem ser o registro dos resultados obtidos em medições e análises laboratoriais, a checagem e a comparação imediata dos resultados obtidos com as normas legais e os padrões de qualidade e lançamento, visão direta e completa da eficiência de cada etapa individual de todo o sistema de tratamento – determinação instantânea dos pontos onde o sistema apresenta problemas e/ou mau funcionamento. Além disso, ainda se pode elaborar e processar os resultados que foram obtidos num período específico de tempo, permitindo assim: a extração de tendências relativas à qualidade do esgoto bruto e tratado; a conexão entre a qualidade do esgoto bruto e tratado com possíveis fontes de emissão de cargas poluidoras (Ex. uma indústria que lança seu efluente na rede de esgoto doméstico); extração de coeficiente de correlação entre os diversos parâmetros (Ex.: DBO/DQO; N/P; S.S/DBO, e outros/outras).

O SIG possui suas principais características relacionadas à capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados previamente gerreferenciadas (CÂMARA *et al.* 2002).

Para Silveira (2006), a aplicação de técnicas de geoprocessamento, com uso de SIG, em sistemas de tratamento de esgotos permite uma maior eficácia na execução de planos de operação e manutenção dos sistemas.

Assim, o uso do SIG apresenta-se como instrumento beneficiador da gestão dos sistemas complexos (como serviços de saneamento) e da tomada de decisões referente à condução desses sistemas, permitindo, assim, maior dinamismo e processamento rápido e eficiente das informações coletadas.

METODOLOGIA

Neste trabalho, a sistematização foi realizada por meio da construção de um único Banco de Dados Geográfico e de um *software* para alimentação e visualização de dados nesse banco de dados construído, à semelhança do que já fora utilizado em atividade semelhante durante a execução do SIG das Águas de Natal-RN (SANTOS, 2006).

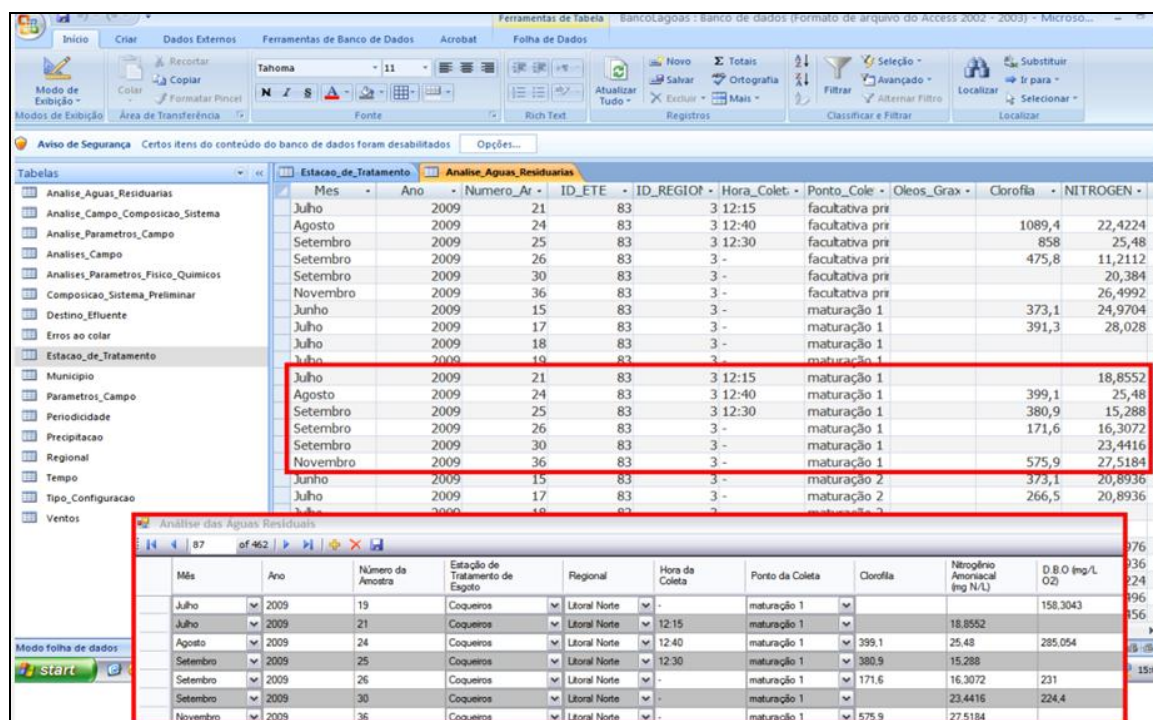
A metodologia empregada neste trabalho classifica-se como pesquisa ação, desenvolvida concomitante ao projeto ALERN – Avaliação da Eficiência e Operação das Lagoas de Estabilização do Rio Grande do Norte, fomentado pela FUNASA e CNPq e realizada na NESB – Núcleo de Estudos em Saneamento Básico do IFRN com apoio da CAERN e Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da UFRN.

O trabalho foi dividido em quatro etapas principais, que serão detalhadas nos tópicos seguintes:

1. Definição do esquema conceitual associado às entidades do Banco de Dados Geográfico, indicando para cada tipo de dados seus atributos não espaciais e as representações geométricas associadas;
2. Construção de apenas um banco de dados relacional utilizando o Microsoft Access;
3. Desenvolvimento de um ambiente personalizado para alimentação e consulta ao banco de dados desenvolvido através de programação com a linguagem Visual Studio;
4. Utilização do *software* ARCGIS para criar um SIG personalizado que possibilite a criação de produtos cartográficos úteis ao monitoramento das ETE estudadas.

PRIMEIRA ETAPA

Foi definido inicialmente o esquema conceitual associado às entidades do banco de dados geográficos, indicando para cada tipo de dados os atributos não espaciais e as representações geométricas associadas. Procede-se da mesma forma que num banco de dados relacional (como o ACCESS e o SQL SERVER), onde a definição da estruturação do banco precede a entrada dos dados, conforme mostra a Figura 1. Na Figura 1 é possível observar as entidades do banco de dados desenvolvido bem como a visão do ambiente personalizado para alimentação e consulta dos dados (destaque em vermelho). Percebe-se que os dados contidos no banco de dados do ACCESS são os mesmo observados no banco de dados do ambiente criado. Tal fato é possível devido ao ambiente de consulta ser desenvolvido com linguagem de programação Visual Studio. Essa linguagem de programação permite que haja integração do banco de dados com o ambiente desenvolvido.



Mês	Ano	Número_Ar	ID_ETE	ID_REGIO	Hora_Colet.	Ponto_Cole	Oleos_Grax	Clorofila	NITROGEN
Julho	2009	21	83	3	12:15	facultativa pri			
Agosto	2009	24	83	3	12:40	facultativa pri		1089,4	22,4224
Setembro	2009	25	83	3	12:30	facultativa pri		858	25,48
Setembro	2009	26	83	3	-	facultativa pri		475,8	11,2112
Setembro	2009	30	83	3	-	facultativa pri			20,384
Novembro	2009	36	83	3	-	facultativa pri			26,4992
Junho	2009	15	83	3	-	maturação 1		373,1	24,9704
Julho	2009	17	83	3	-	maturação 1		391,3	28,028
Julho	2009	19	83	3	-	maturação 1			
Julho	2009	21	83	3	12:15	maturação 1			18,8552
Agosto	2009	24	83	3	12:40	maturação 1		399,1	25,48
Setembro	2009	25	83	3	12:30	maturação 1		380,9	15,288
Setembro	2009	26	83	3	-	maturação 1		171,6	16,3072
Setembro	2009	30	83	3	-	maturação 1			23,4416
Novembro	2009	36	83	3	-	maturação 1		575,9	27,5184
Junho	2009	15	83	3	-	maturação 2		373,1	20,8936
Julho	2009	17	83	3	-	maturação 2		266,5	20,8936

Mês	Ano	Número da Amostra	Estação de Tratamento de Esgoto	Regional	Hora da Coleta	Ponto da Coleta	Clorofila	Nitrogênio Amôniacal (mg N/L)	D.B.O (mg/L O2)
Julho	2009	19	Coqueiros	Litoral Norte	-	maturação 1	-	18,8552	158,3043
Julho	2009	21	Coqueiros	Litoral Norte	12:15	maturação 1	-	25,48	285,054
Agosto	2009	24	Coqueiros	Litoral Norte	12:40	maturação 1	-	380,9	15,288
Setembro	2009	25	Coqueiros	Litoral Norte	12:30	maturação 1	-	171,6	16,3072
Setembro	2009	26	Coqueiros	Litoral Norte	-	maturação 1	-	23,4416	224,4
Setembro	2009	30	Coqueiros	Litoral Norte	-	maturação 1	-	575,9	27,5184
Novembro	2009	36	Coqueiros	Litoral Norte	-	maturação 1	-		

Figura 1 – Estrutura do Banco de Dados com destaque para alguns dados alimentados pelo programa.

Softwares como o MS ACCESS consistem em sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais que permitem fácil armazenamento e recuperação de dados alfanuméricos. Por ser relacional, pode acessar simultaneamente dados de diversas tabelas diferentes, como as informações referentes à ETE (nome, município, regional que está inserida, localização); as análises (data e hora da coleta, valores dos diversos parâmetros analisados, como DBO, DQO, temperatura, coliformes), e ainda permite a realização de operações de cálculo derivando novos valores, como por exemplo, os valores médios dos parâmetros por ETE, ou da eficiência de cada ETE, como se pode observar na Figura 2.

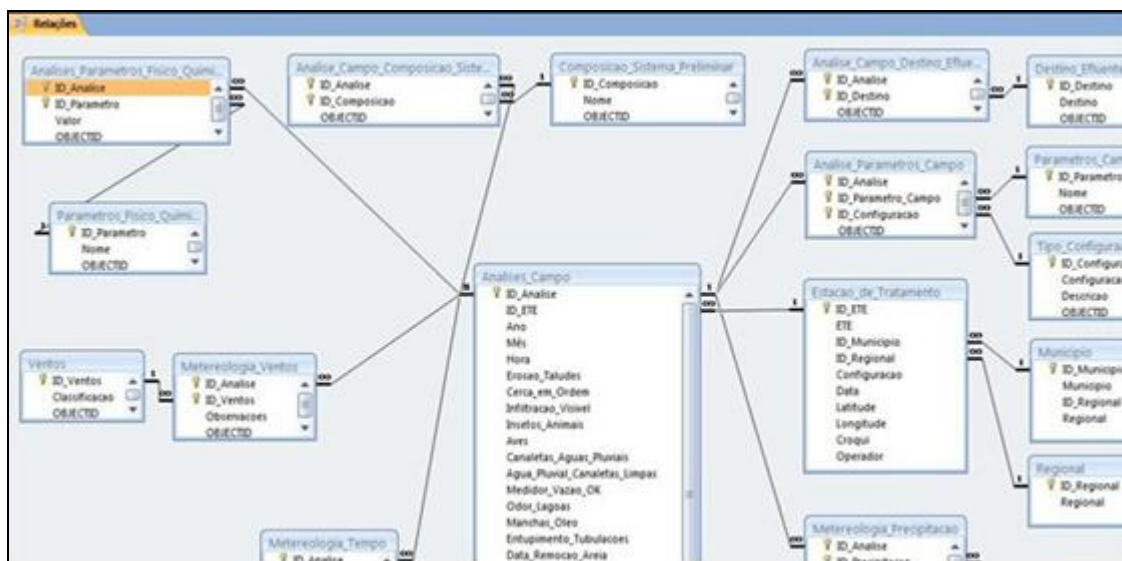


Figura 2 – Modelo Entidade de Relacionamento das Tabelas do Banco de Dados utilizado no estudo.

SEGUNDA ETAPA

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações de manipulação permitidas em um banco de dados (ELMASRI, 2004). A modelagem de dados refere-se ao processo de abstrair os fenômenos do mundo real para criar a organização lógica do banco de dados. Quando se trata de aplicações geográficas, as técnicas tradicionais de modelagem devem ser estendidas para incluir questões específicas de dados geográficos. Trata-se de uma atividade complexa, pois envolve a discretização do espaço como parte do processo de abstração, visando obter representações adequadas aos fenômenos geográficos.

CÂMARA et. al., 1997, consideram que o processo de implantação do SIG pode ser dividido em três grandes fases: modelagem do mundo real; criação do banco de dados geográfico e operação propriamente dita do SIG. A fase de modelagem consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os, englobando a modelagem de processos e de dados. Nesta fase, podem-se escolher diferentes conjuntos de fenômenos para descrever distintas visões do mundo, numa mesma região, em dado instante.

Considerando essa primeira fase, identificaram-se, inicialmente, as entidades de interesse para a modelagem dos dados do SIG levantando-se todos os sistemas de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização em operação no RN, além de parâmetros físico-químicos, locais e operacionais destes sistemas. A coleta de dados locais das ETE foi realizada através do GPS, modelo GPS 76 GARMIN, *datum*: Córrego Alegre, Zona 24S. Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos foram obtidos por meio de análises laboratoriais, como DBO, DQO, fósforo total, sólidos totais, voláteis e fixos, coliformes termotolerantes, clorofila, pH, nitrogênio orgânico e amoniacal.

A fase de criação de um banco de dados geográfico exige várias etapas, como: coleta de dados relativos aos fenômenos de interesse identificados na modelagem; correção dos dados coletados (devidos a erros introduzidos pelos dispositivos de coleta ou usuários), e georreferenciamento dos dados.

Para a entrada de dados e atualização do sistema, foi utilizado o Programa de Banco de Dados Microsoft Access, interligado ao ARCGIS, possibilitando a atualização automática do sistema. As ferramentas contidas no GIS permitem que os dados de cada ETE sejam acessados a partir de sua plataforma, conforme a mostra a Figura 3.

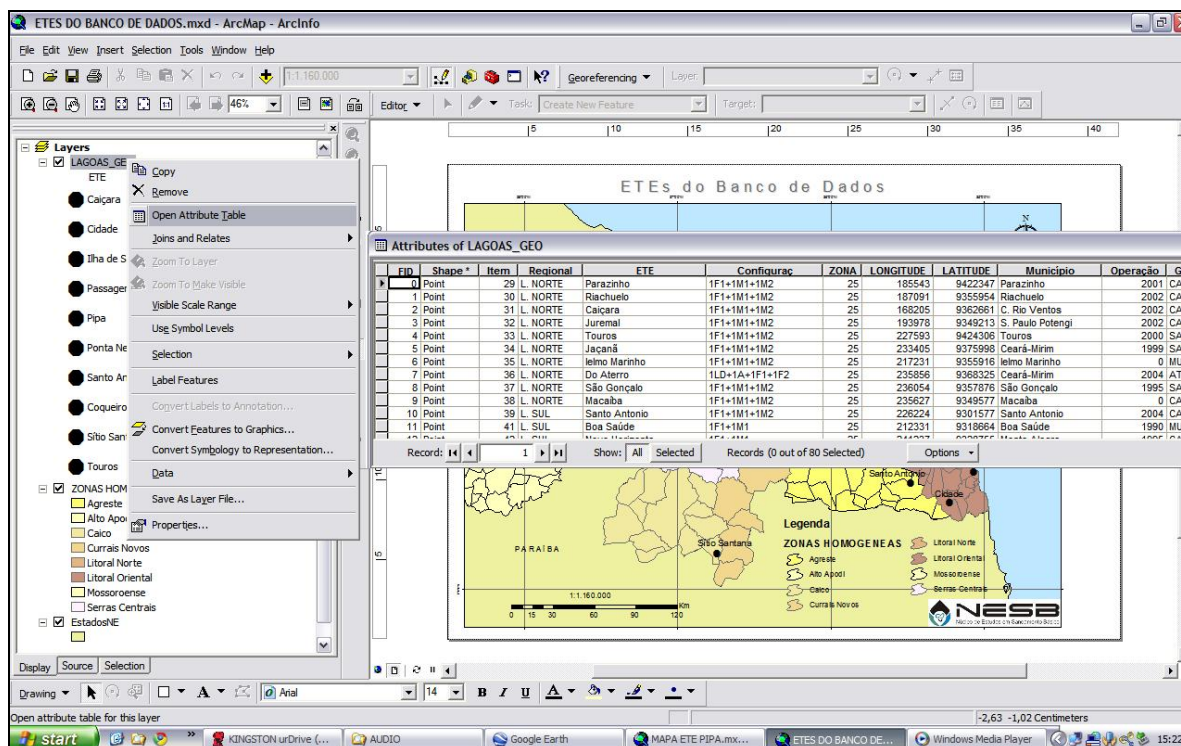


Figura 3 – Visão do banco de dados acessado a partir do ARCGIS.

TERCEIRA ETAPA

Para a entrada de dados no Banco de Dados, foi elaborado um programa específico, a fim de preencher automaticamente as diversas tabelas que formam o Banco de Dados modelado. O programa tem o objetivo de minimizar erros de digitação de dados no Banco de Dados construído. O programa de cadastramento lê e escreve diretamente no Banco de Dados ACCESS, atualizando dinamicamente as tabelas em edição no ambiente do SIG. Para a execução do programa de cadastramento dos dados das ETE, pode-se utilizar o arquivo executável diretamente a partir do Sistema Operacional, ou a partir da interface do SIG, o que é recomendável.

O desenvolvimento do ambiente personalizado para alimentação e consulta do banco de dados foi através de programação com a linguagem Visual Studio (Figura 4). Para tanto, tomou-se como base o trabalho coordenado por Santos (2006, *op. Cit.*), o qual possibilita a integração do Banco de Dados relacional com o SIG ARCGIS em um ambiente conhecido como *geodatabase*. A ESRI (ESRI, 2005) define *geodatabase* como um banco de dados ou estrutura de arquivo usado principalmente para armazenar, consultar e editar dados espaciais. Armazena a geometria, um sistema de referência espacial, os atributos e as regras de comportamento para os dados. *Geodatabases* podem ser armazenados em bancos de dados como IBM DB2, IBM Informix, Oracle, Microsoft Access, Microsoft SQL Server e PostgreSQL.

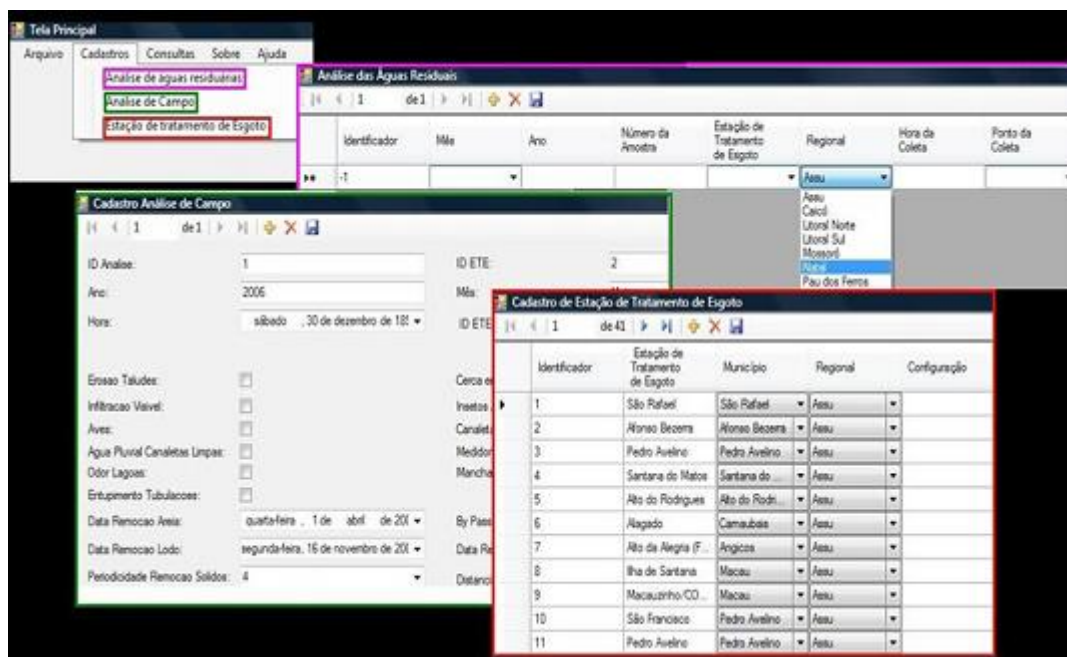


Figura 4 – Visão do Software de entrada de dados com janelas para dados únicos das ETE.

QUARTA ETAPA

A fase de operação do SIG refere-se tanto ao próprio uso do SIG quanto ao desenvolvimento de aplicações específicas a partir dos dados armazenados, reconstrói visões (particularidades) da realidade. Para esta construção foi aplicado o *software* ARCGIS, tanto para manipulação, quanto para a consulta dos dados obtidos. Além dos parâmetros físico-químicos analisados em laboratório, outros tipos de dados podem ser expressos por meio deste *software*; por exemplo, fotos e croquis dos sistemas. Isto ocorre a partir da interface utilizada para permitir que essas informações sejam visualizadas através de um sistema de *hiperlinks*, o que foi realizado no desenvolvimento deste trabalho.

A modelagem do Banco de Dados Geográficos utiliza metodologia de bancos de dados orientados a objetos baseado em classes. Esse processo visa dar ao usuário maior flexibilidade na modelagem incremental da realidade (CÂMARA *et al.*, 1997). O modelo de dados geográficos apresenta uma abordagem unificada das visões de campos e objetos e permite a existência de múltiplas representações para um mesmo fenômeno geográfico. Para Queiroz e Reis (2006), visando uma organização lógica, o modelo considera a existência de uma classe genérica chamada de plano de informação (ou *layer*) organizada em geo-campos, geo-objetos, coleção de geo-objetos e redes. O Geo-Campo representa um atributo que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica. Por exemplo, uma imagem IKONOS; o Geo-objeto é uma entidade geográfica singular e indivisível, caracterizada por sua identidade, suas fronteiras, e seus atributos. Por exemplo, os distritos de uma cidade representada na imagem; uma coleção de geo-objetos é formada por objetos cujas fronteiras não se interceptam e têm o mesmo conjunto de atributos; a Rede é uma estrutura geográfica que tem como suporte um conjunto de arcos associados a uma localização (x,y) do espaço para fins de referência. Exemplo: rede de esgotos; por fim, o Plano de Informação (ou *layer*) refere-se à generalização dos conceitos acima. Essa captura uma característica comum essencial dos três conceitos básicos, onde cada instância deles é referente a uma localização no espaço e tem um identificador único. Permite organizar o banco de dados geográfico e responder a perguntas como: *Quais são os dados presentes no banco, qual o modelo associado a cada um e qual a região geográfica associada?*

O modelo de banco de dados geográficos separa a especificação em diferentes níveis de abstração, liberando assim o usuário da necessidade de se envolver com detalhes de implementação física do SIG. Esse modelo de dados geográficos serve de base para a maioria dos modelos de dados orientados a objetos adotados atualmente em geoprocessamento. No ARCGIS, a coleção de geo-objetos é chamada de *features* (feições). Os geo-campos numéricos são chamados de *surfaces* (superfícies) e as imagens também são modeladas como caso particular de geo-campos numéricos. As redes (*networks*) também são incluídas. A correta modelagem dos dados

geográficos possibilita maior chance de sucesso nas análises e nos resultados a serem alcançados, além de minimizar o tempo de implementação do projeto. A visão dos campos e objetos pode ser mostrada no lado esquerdo da Figura 5.

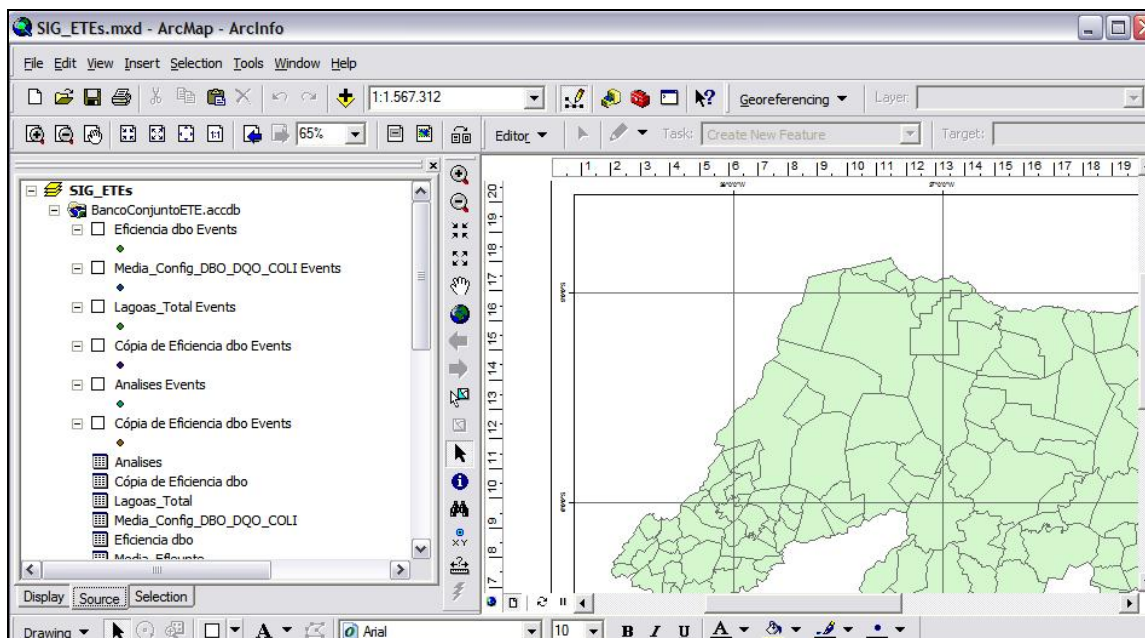


Figura 5 – Aspecto visual da sessão ArcMap do SIG criado, realçando os campos e os objetos.

RESULTADOS

No ambiente personalizado para alimentação e consulta do Bancos de Dados desenvolvido, os dados foram manipulados em três cadastros primordiais: as análises de água residuárias; cadastro das análises de campo e cadastro das ETE. No cadastro das Análises de Águas Residuárias constam os parâmetros físico-químicos e características temporais e locais. Os itens deste cadastro foram baseados nos dados disponibilizados pela CAERN para que os parâmetros fossem semelhantes e pudesse permitir posterior análise e comparação dos dados obtidos pela CAERN e pela pesquisa. Esses itens englobam os parâmetros físico-químicos como clorofila, nitrogênio amoniacal, DBO5, DQO, OD, fósforo total, pH, temperatura, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos sedimentáveis e coliformes termotolerantes, além da determinação do nome da ETE, ponto de coleta (esgoto bruto, efluente facultativo ou efluente de maturação), mês, ano e hora da coleta (Figura 6). Como se pode perceber na margem superior esquerda da Figura 6, foram cadastradas 604 análises, referente a 147 coletas realizadas em 10 ETE: Coqueiros, Pipa, Ponta Negra, Ilha de Santana, Passagem de Pedras, Sítio Santana, Caiçara, Touros, Cidade e Santo Antonio; durante o período de agosto de 2009 a julho de 2010, totalizando mais de 8 mil dados neste período.

Mês	Ano	Número da Amostra	Estação de Tratamento de Esgoto	Hora da Coleta	Ponto da Coleta	Clorofila	Nitrogênio Amônia (mg N/L)	D.B.O (mg/L O ₂)	D.Q.O (mg/L O ₂)	Fósforo Total (mg/L)	Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)
Julho	2009	22	Passagem de Pedra	10:15	facultativa primária	379,6	3,0576	176,6205	214	5,2819	1
Julho	2009	22	Passagem de Pedra	10:00	esgoto bruto		21,4032	541,4647	71,4285	4,8265	0
Julho	2009	22	Passagem de Pedra	10:23	maturação 1	789,1	0,2548	151,3687	232,1428	2,6036	3
Julho	2009	22	Passagem de Pedra	10:30	maturação 2		0,5096	144,6153	142,8571	3,4735	2,9
Setembro	2009	29	Passagem de Pedra	-	maturação 1	1092	3,0576		272,7272	4,6036	3,5
Setembro	2009	29	Passagem de Pedra	-	facultativa primária	939,9	6,37		72,7272	5,4681	2,7
Setembro	2009	29	Passagem de Pedra	-	maturação 2	1246,7	2,0384	409,2	127,2727	2,9333	5,9
Setembro	2009	29	Passagem de Pedra	-	esgoto bruto		42,8064	973,5	109,0909	8,0761	0
Outubro	2009	32	Passagem de Pedra	-	maturação 1	1155,7			256,8807	3,1091	8,8
Outubro	2009	32	Passagem de Pedra	-	maturação 2	1055,6			91,7431	3,1238	9,9
Outubro	2009	32	Passagem de Pedra	-	facultativa primária	1040	7,1344	330	369	5,6732	9,2
Outubro	2009	32	Passagem de Pedra	-	esgoto bruto		52,9984	330,3	477,0642	9,7172	
Novembro	2009	37	Passagem de Pedra	-	maturação 1	843,7	22,4224	291,765	169,2307	4,545	3
Novembro	2009	37	Passagem de Pedra	-	maturação 2	592,8	6,1152	291,765	138,4615	6,0102	2
Novembro	2009	37	Passagem de Pedra	-	facultativa primária	1064,7	26,4992	341,31	184,6153	10,1128	2,5
Novembro	2009	37	Passagem de Pedra	-	esgoto bruto		32,6144	756,9375	123,0769	10,186	
Dezembro	2009	38	Passagem de Pedra	08:45	maturação 1	1131	28,5376	73,698	368,9574		5,6

Figura 6 – Visão geral do cadastro das Águas Residuárias no ambiente desenvolvido.

A Figura 7 mostra a localização das dez ETE estudadas durante a execução do projeto ALERN. Tal projeto tem o objetivo de identificar todos os sistemas de lagoas de estabilização do Rio Grande do Norte, destacando suas coordenadas georreferenciadas, configuração, características operacional de eficiência e monitoramento; caracterizar o esgoto bruto no estado em termos de matéria orgânica, microorganismos e nutrientes, visando à utilização desses dados em futuros projetos; criar um banco de dados com todas as informações referentes aos sistemas de lagoas de estabilização no Estado com vistas à criação de um SIG de forma a atualizar constantemente o banco de dados para implantação de planos de monitoramento contínuo dos sistemas e, a qualquer momento, obter informações sobre o seu funcionamento. A este último objetivo concerne o desenvolvimento deste trabalho.

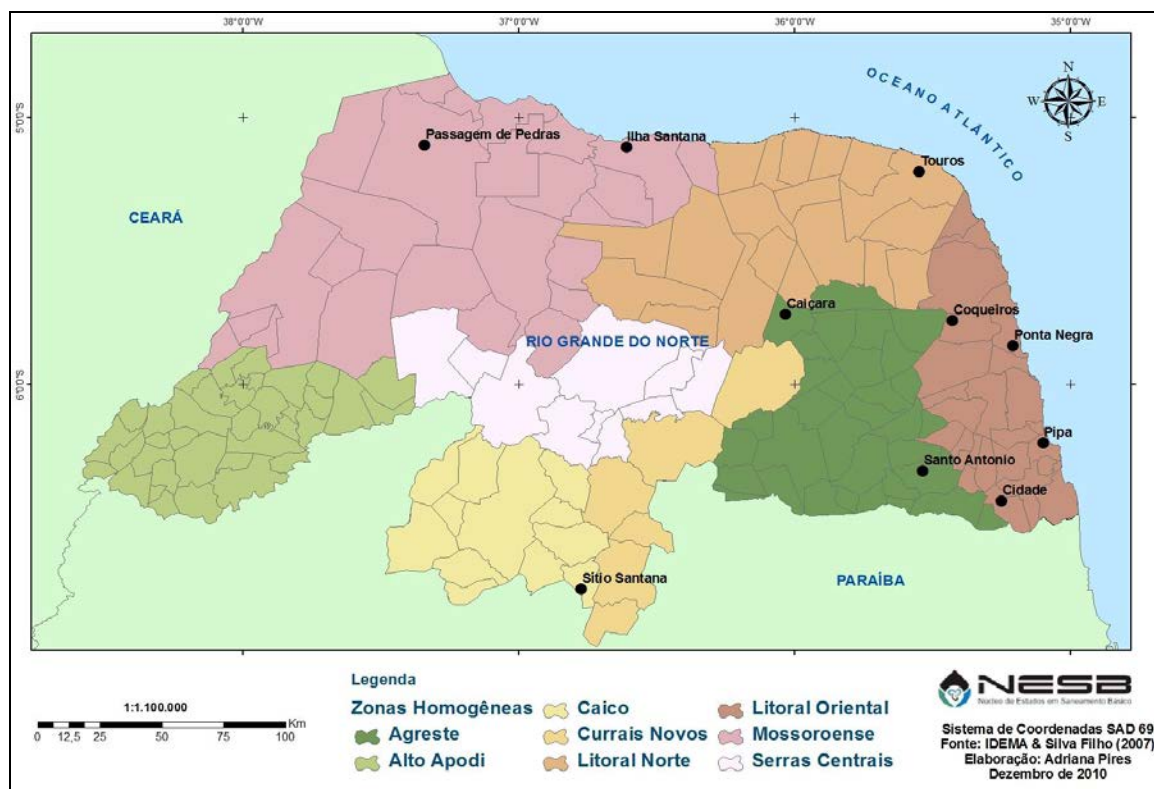


Figura 7 – Localização das ETE estudadas.

O Cadastro das Análises de Campo refere-se ao levantamento operacional e à discriminação dos aspectos físicos da área da estação. Este cadastro concerne à adaptação do modelo de *checklist* – o PCOD (Planilha de Controle Operacional Diário), aplicado por Silva Filho (2007), ao ambiente de programação com a linguagem Visual Studio. O cadastro das Análises de Campo envolve dois momentos específicos: o levantamento de dados feito em campo (Figura 8) e o levantamento de parâmetros físico-químicos. Neste primeiro momento são

colocados os dados gerais referentes à ETE (nome, dados da coleta); posteriormente são assinalados os parâmetros de campo identificados no âmbito físico da ETE (erosão dos taludes, aparecimento de vegetação nas lagoas, manchas verdes na superfície das lagoas, etc.) e por fim, são preenchidos e respondidas algumas perguntas sobre o sistema, como, por exemplo, *Há manchas de óleo nas lagoas? O operador tem conhecimento sobre a operação da lagoa? O operador usa algum tipo de EPI?*

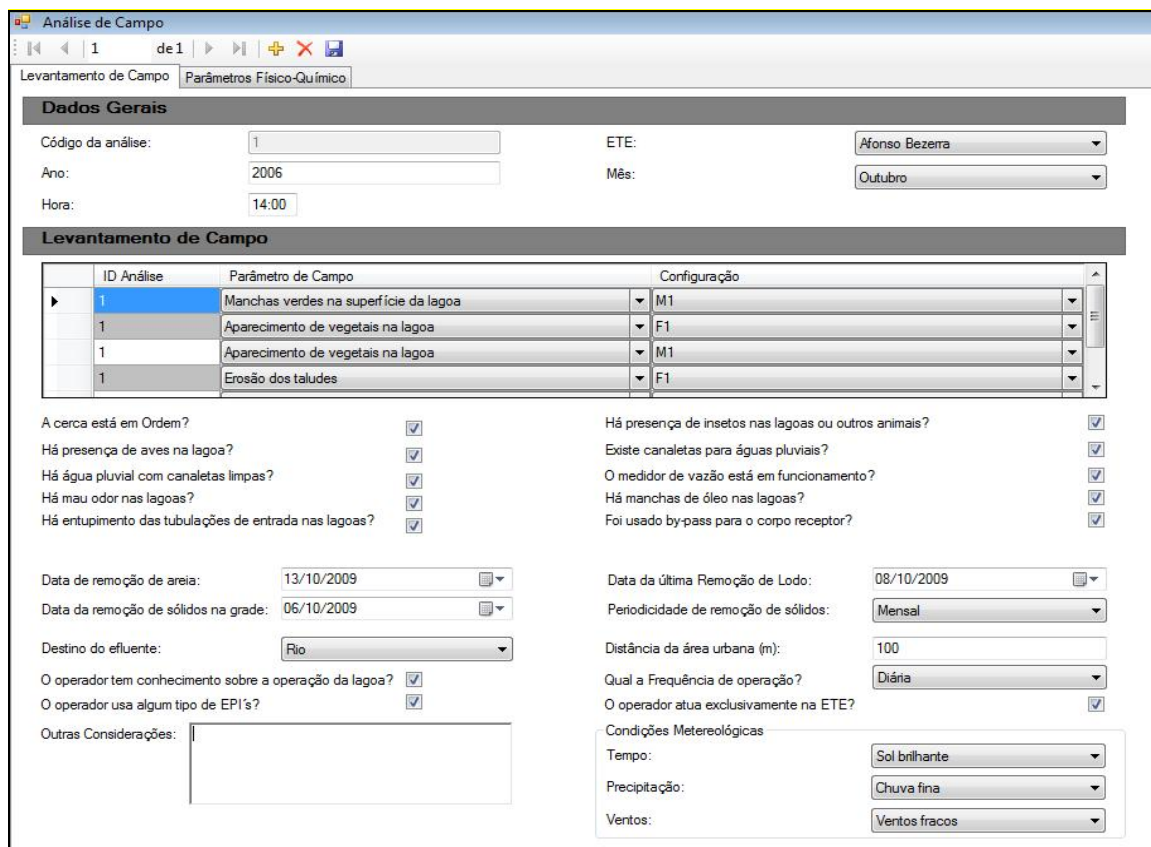
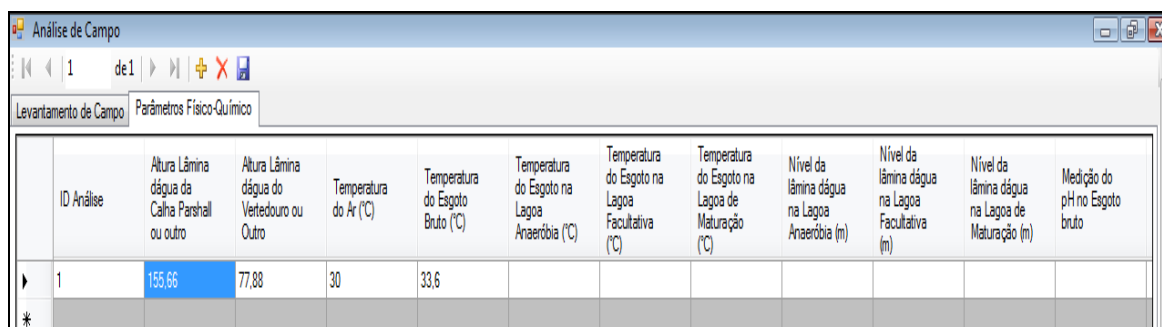


Figura 8 – Visão geral do cadastro das Análises de Campo no ambiente desenvolvido, com destaque ao levantamento de campo. Fonte: Dados da pesquisa.

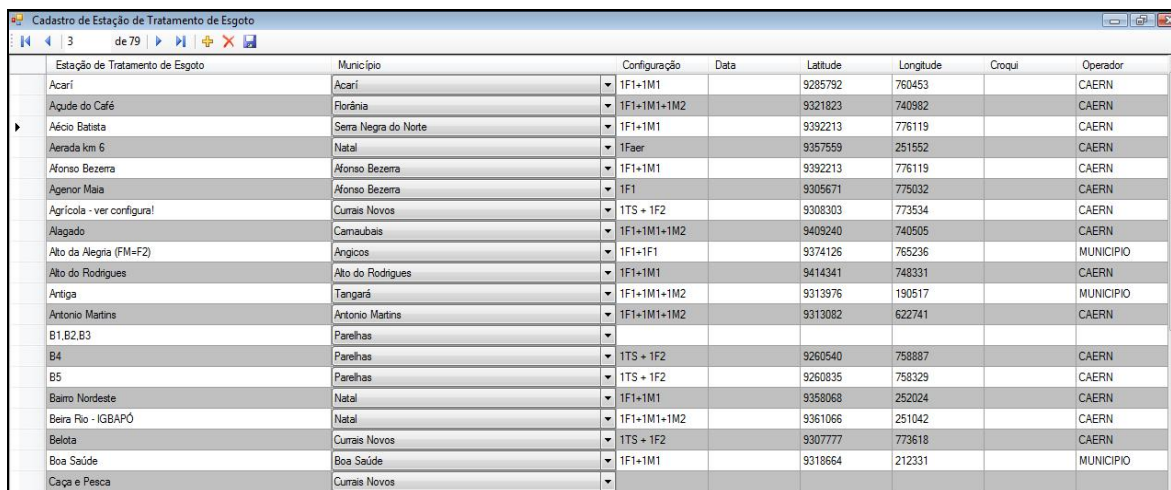
No segundo momento, o levantamento de parâmetros físico-químicos compreende os dados levantados referentes à altura da lâmina d'água da calha Parshall ou outra unidade, altura da lâmina d'água do vertedouro, temperatura do ar, temperatura do esgoto bruto, temperatura do esgoto nas lagoas facultativa e na de maturação, nível da lâmina d'água, pH, OD das lagoas de maturação e facultativa (a 15cm de profundidade), além dos sólidos no esgoto bruto e no efluente da primeira lagoa, conforme a Figura 9.



ID Análise	Altura Lâmina água da Calha Parshall ou outro	Altura Lâmina água do Vertedouro ou Outro	Temperatura do Ar (°C)	Temperatura do Esgoto Bruto (°C)	Temperatura do Esgoto na Lagoa Anaeróbia (°C)	Temperatura do Esgoto na Lagoa Facultativa (°C)	Temperatura do Esgoto na Lagoa de Maturação (°C)	Nível da lâmina água na Lagoa Anaeróbia (m)	Nível da lâmina água na Lagoa Facultativa (m)	Nível da lâmina água na Lagoa de Maturação (m)	Medição do pH no Esgoto bruto
1	155.66	77.88	30	33.6							

Figura 9 – Visão geral do cadastro das Análises de Campo no ambiente desenvolvido, com destaque aos parâmetros físico-químicos.

Por fim, o Cadastro das Estações de Tratamento de Esgoto caracteriza sua configuração geral, localização espacial e geográfica e aborda também alguns aspectos gerenciais, como por exemplo, o nome do órgão operador da ETE. Como se pode perceber na parte superior esquerda da Figura 10, foram cadastradas 79 ETE neste trabalho.



Estação de Tratamento de Esgoto	Município	Configuração	Data	Latitude	Longitude	Croqui	Operador
Acari	Acari	1F1+1M1		9285792	760453		CAERN
Água do Café	Florânia	1F1+1M1+1M2		9321823	740982		CAERN
Aécio Batista	Serra Negra do Norte	1F1+1M1		9392213	776119		CAERN
Aerada km 6	Natal	1Faer		9357559	251552		CAERN
Afonso Bezerra	Afonso Bezerra	1F1+1M1		9392213	776119		CAERN
Agenor Maia	Afonso Bezerra	1F1		9305671	775032		CAERN
Agrícola - ver configura!	Currais Novos	1TS + 1F2		9308303	773534		CAERN
Alagado	Camaubais	1F1+1M1+1M2		9409240	740505		CAERN
Alto da Alegria (FM+F2)	Angicos	1F1+1F1		9374126	765236		MUNICIPIO
Alto do Rodrigues	Alto do Rodrigues	1F1+1M1		9414341	748331		CAERN
Antiga	Tangará	1F1+1M1+1M2		9313976	190517		MUNICIPIO
Antonio Martins	Antonio Martins	1F1+1M1+1M2		9313082	622741		CAERN
B1.B2.B3	Parelhas						
B4	Parelhas	1TS + 1F2		9260540	758887		CAERN
B5	Parelhas	1TS + 1F2		9260835	758329		CAERN
Barro Nordeste	Natal	1F1+1M1		9358068	252024		CAERN
Beira Rio - IGBAPÓ	Natal	1F1+1M1+1M2		9361066	251042		CAERN
Belota	Currais Novos	1TS + 1F2		9307777	773618		CAERN
Boa Saúde	Boa Saúde	1F1+1M1		9318664	212331		MUNICIPIO
Caça e Pesca	Currais Novos						

Figura 10 - Visão geral do cadastro das Estações de Tratamento de Esgoto no ambiente desenvolvido.

Após o cadastro, os dados ficam disponíveis para consulta no sistema, e podem subsidiar a tomada de decisões tanto de cunho operacional, como também servir de auxílio para planejamento, manutenção e monitoramento integrado dos sistemas de lagoas de estabilização. Serve ainda de instrumento norteador para traçar objetivos e metas a serem alcançados tendo em vista a possibilidade de relacionar os dados disponíveis e interpolar as informações das estações de tratamento.

As consultas aos dados das ETE cadastrados no Banco de Dados podem ser feitas no momento do cadastramento. Se houver a necessidade de alteração e/ou exclusão de dados, estas podem ser feitas também diretamente no programa de cadastramento, através da aba de cadastro do item escolhido (aba de cadastro das análises dos parâmetros físico-químicos, aba de cadastro das ETE ou a aba de cadastro das análises de campo). Outras consultas mais elaboradas podem ser executadas diretamente no Banco de Dados através do programa ACCESS ou, ainda de forma mais dinâmica, que aqui são estimuladas, serem executadas diretamente no ambiente do SIG, onde se associa o componente geográfico georreferenciado ao dado relacional armazenado nas tabelas do *geodatabase*.

Na execução de consultas diretamente no ambiente MS ACCESS são permitidas algumas operações de cálculos. Ao ser executada a consulta, pode-se realizar cálculo dos totais de acordo com a categoria de dados selecionada. Dessa forma, é possível saber os valores para cada categoria. A partir deste tipo de consulta é possível obter diversas informações como, por exemplo, a média de concentração de esgoto bruto total ou por cada ETE, a variância e o desvio padrão dessas concentrações, os valores mínimo e máximo de cada categoria.

Já as consultas ao Banco de Dados executadas no ambiente do SIG, a partir do software ARCGIS, permitem a visualização espacial das ETE cadastradas, dos resultados das análises físico-químicas e das análises de campo. Para acessar os dados alfanuméricos do cadastro das ETE, o programa ArcGis conecta-se diretamente com o arquivo de Banco de Dados do ACCESS. Essa tarefa é possível pelo fato do formato do Banco de Dados ser padronizado com a mesma estrutura do *geodatabase*. O sistema lê diretamente a base de dados no momento em que se carrega o arquivo do projeto (arquivo *MXD* do *ARCGIS*) pelo programa ARCMAP.

O SIG das ETE organiza-se como uma rede de temas localizados ao lado esquerdo do ARCGIS (área de controle), menus na parte superior do *software* e na área central (*Layout View/Data View*), a visualização dos temas, podendo ser de forma universal, ou na forma de *layout*, conforme está mostrado na Figura 5.

A recuperação de informações das ETE contidas no banco de dados, considerada uma das maiores utilidades do SIG, pode ser mostrado na Figura 11. Nesse caso, com um único comando consegue-se recuperar atributos

como Nome, Zona Administrativa (regional), valores médios dos parâmetros de DBO, DQO, pH, temperatura, coliformes termotolerantes, localização de cada ETE estudada, etc.

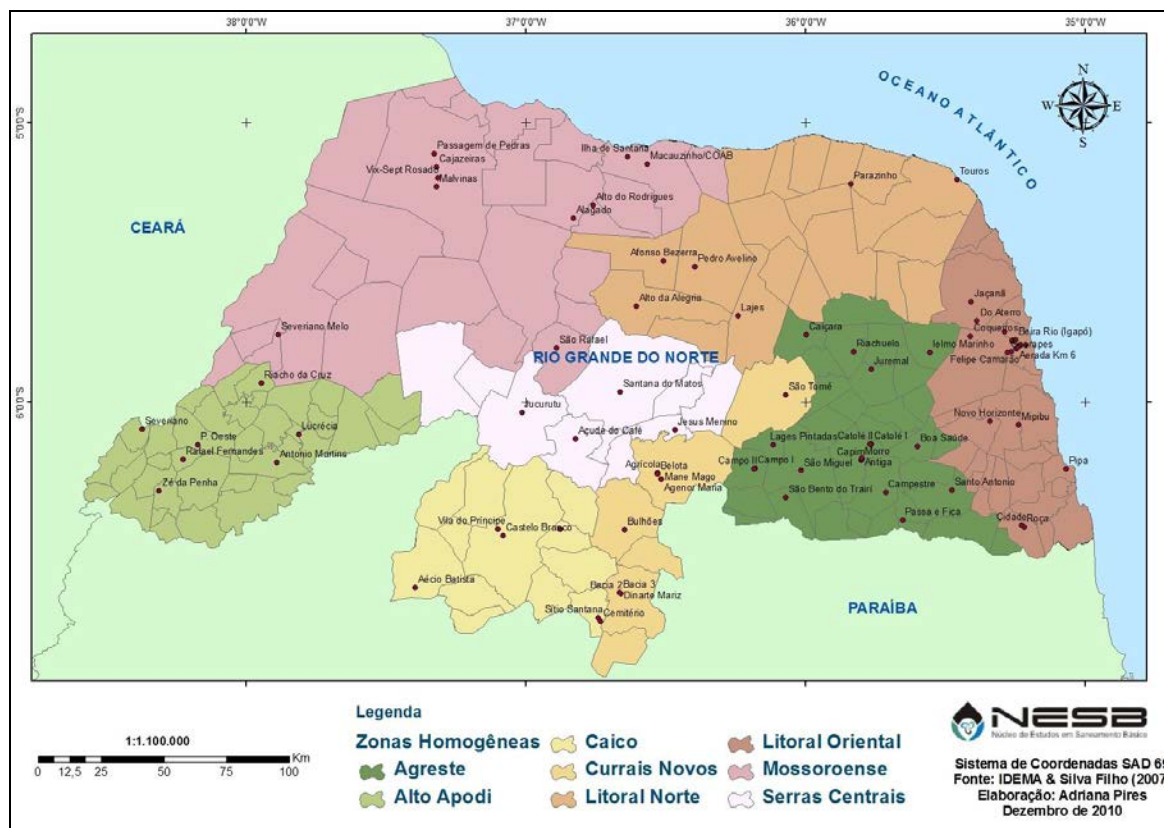


Figura 11 – Mapa do estado do Rio Grande do Norte com a localização das ETE cadastradas.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com a realização deste trabalho pode-se apontar o geoprocessamento, com o uso do SIG, como uma ferramenta ideal para a gestão de sistemas complexos, como ETE, por exemplo. A avaliação dos dados foi feita baseado nos resultados obtidos, na interpretação destes dados e a partir das referências citadas neste trabalho. O SIG das ETE encontra-se concluído. Os mapas presentes no corpo deste trabalho foram gerados no ambiente SIG a partir da integração do ARCGIS com o Banco de Dados.

O Banco de Dados foi instituído com as informações do cadastro das ETE, análises físico-químico e análises de campo. Neste banco de dados constam também os resultados das medições dos parâmetros laboratoriais das águas residuárias das dez ETE estudadas durante a fase de monitoramento qualitativo e quantitativo dessas estações, bem como os resultados obtidos através da manipulação dos dados fornecidos pela CAERN desenvolvido simultaneamente ao SIG.

Nas ETE, o monitoramento por meio do SIG gera informações para que seja efetivada a otimização da gestão e do gerenciamento das unidades de tratamento de esgoto que operam por meio de lagoas de estabilização, subsidiando a definição e a adoção de melhorias operacionais e de manutenção. Dessa forma, as informações geradas no ambiente SIG deverão transmitir clareza aos técnicos, aos tomadores de decisões, à comunidade científica e a toda a sociedade sobre a situação a qual se quer analisar a cerca das especificidades dos sistemas estudados.

Por fim, releva-se a principal importância da utilização do SIG no monitoramento das ETE que é garantir que este faça parte das estratégias de longo prazo e que esteja inserido na “lógica de negócios dos municípios”, ou seja, que faça parte das ações ou funções da administração pública como fator essencial para o desenvolvimento e efetividade na qualidade dos serviços de saneamento básico dos municípios. Dessa forma, haverá interesse em

manter a coleta, a análise e a armazenagem de dados por longos períodos de tempo, o que garantirá efetividade do sistema de monitoramento, planejamento e operacionalização.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Nacional de Saúde (FUNASA-BRASIL) pelo financiamento do projeto de pesquisa, o qual este trabalho está incluso (convênio nº 1237/07).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 20**, de 18 de junho de 1986. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em 4 jun. 2010.
2. _____. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 4 jun. 2010.
3. CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2002.
4. CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; MEDEIROS, C. B.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Curitiba. Sagres Editora, 1997. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/geopro/livros/anatomia.pdf>. Acesso em: 03 março 2010.
5. CASTRO, A. F. de. SOUTO, M. S. S. AMARO, V.E. CAVALCANTE. R. G. **Modelagem e desenvolvimento de sistema de computacional de apoio a decisão no monitoramento ambiental de áreas costeiras no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e sensoriamento remoto, 4. 2008, Aracaju, **Anais**. Aracaju, 2008. 1 CD-ROM.
6. ESRI. **Modelling Our World : The ESRI Guide to Geodatabase Design**. Redlands, CA. 2000.
7. ESRI. **ARCGIS 9. Using ArcMap**. 2005. 585p.
8. ELMASRI, R. N., S. **Fundamentals of Database Systems**. Pearson Education, 2004.
9. QUEIROZ, G. R. & REIS, K. **Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos**. Geo Brasil 2006. INPE. 104p.
10. SANTOS, Jerônimo Pereira dos (Coord.). **Cadastramento e Nivelamento de Poços do Aquífero Barreiras no Município do Natal/RN**. CEFETRN/FUNCERN/SERHID/PROÁGUA/IGARN. Relatório Final Volume I. 2006. 198p. Inédito.
11. SILVA FILHO, Pedro Alves. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
12. SILVEIRA, A. B. S. **Geoprocessamento aplicado à gestão de estação de tratamento de esgotos do Rio Grande do Norte**. 2006. Monografia (Tecnólogo em Controle Ambiental) – Departamento de Recursos Naturais, Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
13. Von SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002.
14. TAYLOR, Bruce B. **Comprehensive water resources management through geographic information systems**. In Georgia Water Conference. 2005.