



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
ARQUITETURA E URBANISMO**

**“USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA  
GESTÃO DO LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA”**

Cristian Fonseca Ribeiro

**Campinas, SP  
2008**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, AQUITETURA E  
URBANISMO**

**“USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA  
GESTÃO DO LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA”**

Mestrando: Cristian Fonseca Ribeiro

Dissertação apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac

**Campinas, SP  
2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Ribeiro, Cristian Fonseca
R354u      Uso de sistema de informações geográficas na gestão do lodo das estações de tratamento de água de uma bacia hidrográfica / Cristian Fonseca Ribeiro. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.
Orientador: Ricardo de Lima Isaac.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura.
1. Bacias Hidrográficas. 2. Sistemas de Informações Geográficas. 3. Água - Estação de tratamento. 4. Lodo. 5. Resíduos Sólidos. I. Isaac, Ricardo de Lima . II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. III. Título.

Titulo em Inglês: Use of geographic information system in watershed management of water treatment plants sludge

Palavras-chave em Inglês: Watershed management, Geographic information system, water treatment plant residuals, Sludge, Solid wastes management

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Edevar Luvizotto Júnior , Dione Mari Morita

Data da defesa: 25/08/2008

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**“USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA  
GESTÃO DO LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA”**

**Cristian Fonseca Ribeiro**

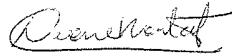
**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**



Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac  
Presidente e Orientador / FEC/UNICAMP



Prof. Dr. Edevar Luvizotto Júnior  
FEC/UNICAMP



Profa. Dra. Dione Mari Morita  
Escola Politécnica/USP

**Campinas, 25 de agosto de 2008.**

A meu Filho Kaíke “minha vida”, minha esposa Lubienska, pelo apoio incondicional, compreensão e amor dedicado e aos meus pais Eduardo e Laura pelo incentivo e amor.

## **Agradecimentos**

A Deus por ter me proporcionado a vida.

Ao meu filho, Kaíke, por existir e dar mais vida e mais sentido aos meus dias, ensinando-me o valor das pequenas coisas.

A minha esposa e amiga, Lubi, obrigado pelo companheirismo, paciência e compreensão durante esses anos, compartilhando os bons e maus momentos da realização deste trabalho.

Aos meus pais Eduardo e Laura pelo constante incentivo e amor dedicado ao longo da vida, e as minhas irmãs Juliana e Janice pela paciência e dedicação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac, obrigado pela paciência, amizade e orientação dispensadas durante todo tempo.

A todos os colegas (alunos, professores e funcionários) que estavam presentes nas etapas do meu trabalho, em especial à aluna e amiga Simone José Sardinha de Azevedo pelo apoio contínuo.

As empresas CPqD, em especial para Daniel Garcia Teijeiro e José Luiz Alonso Silva, e à OrbiSat - Unidade Campinas, em especial para Paulo Fernandes Sarli e Mário Corrêa pelo contínuo incentivo ao aperfeiçoamento.

Em especial ao amigo Prof. Dr. Edevar Luvizotto Jr. e à Prof. Dra. Dione Mari Morita, pela colaboração e sugestões apresentadas.

## **Sumário**

<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Abreviaturas e Siglas.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>14</b>
<b>2. Objetivo.....</b>	<b>18</b>
<b>3. Fundamentação Teórica .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Caracterização do Lodo .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Quantificação do Lodo de ETA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Utilização do Lodo de ETA em Cerâmica.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Setor Ceramista no Brasil e no Estado de São Paulo.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Geoprocessamento .....</b>	<b>37</b>
<b>3.6.1 Características de um SIG.....</b>	<b>41</b>
<b>3.6.1.1 Sistema de aquisição e conversão de dados .....</b>	<b>41</b>
<b>3.6.1.2 Banco de dados .....</b>	<b>41</b>
<b>3.7 Cartografia .....</b>	<b>42</b>
<b>4. Material e Métodos .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Área de Estudo.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 Base Cartográfica.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Base de dados.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 Software Utilizado .....</b>	<b>48</b>
<b>4.5 Etapas de Construção do SIG.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5.1 Composição do MUB .....</b>	<b>49</b>

4.5.2 Levantamento dos Dados .....	49
4.5.3 Organização e Georeferenciamento dos dados .....	53
4.5.4 Visualização das Informações Espacializadas .....	54
4.5.5 Análise dos Dados.....	54
4.5.6 Criação de Mapas Temáticos e Cenários .....	54
5. Resultados e Discussão .....	55
5.1 Identificação de Padrões .....	69
5.2 Mapas Temáticos e Cenários Gerados .....	70
6. Conclusões e Recomendações .....	92
7. Referências Bibliográficas .....	94
Abstract .....	100

## **Listá de Figuras**

Figura 1. Fluxograma desta Dissertação.....	17
Figura 2. Principais pólos cerâmicos do Brasil.....	29
Figura 3. Situação da unidade de Gerenciamento de Recursos hídricos das Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI-5), trecho paulista das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH – PCJ, 2006) .....	31
Figura 4. Bacias Hidrográficas do Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH – PCJ, 2006). ....	32
Figura 5. Localização da Área de Estudo no Brasil.(CBH–PCJ 2006).....	45
Figura 6. Localização da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba Capivari e Jundiaí no Estado de São Paulo (CBH–PCJ 2006). .....	46
Figura 7. Cartografia com as divisões por Estados.....	56
Figura 8. Limite da Área de Abrangência da Bacia PCJ. ....	57
Figura 9. Localização de Rios e Córregos da Bacia PCJ.....	58
Figura 10. Localização dos Municípios da Bacia PCJ.....	59
Figura 11. Principais vias de acesso Rodoviário.....	60
Figura 12. Arruamentos, Ferrovias e Hidrografias. ....	61
Figura 13. ETA inseridas no SIG.....	63
Figura 14. Cerâmicas inseridas no SIG.....	64
Figura 15. Aterros inseridos no SIG. ....	65
Figura 16. ETA, Cerâmicas e Aterro inseridos no SIG. ....	66
Figura 17. Dados da ETA cadastrados no SIG. ....	67
Figura 18. Dados do Aterro cadastrados no SIG. ....	67
Figura 19. Dados da Cerâmica cadastrados no SIG.....	68
Figura 20. Variáveis inseridas em conjunto.....	69

Figura 21. ETA – Quant. Lodo por Ano – Chuvas.....	71
Figura 22. ETA – Quant. Lodo por Ano – Estiagem.....	72
Figura 23. ETA – Quant. Lodo por Ano – Média.....	73
Figura 24. ETA - Quant. Lodo por Ano – Gráfico Pizza.....	74
Figura 25. ETA – Quant. Lodo x Vazão – Gráfico Barras.....	76
Figura 26. ETA – Quant. Lodo por Município – Média Anual Gerada.....	77
Figura 27. Cerâmicas – Capacidade de Recepção de Lodo Anual.....	79
Figura 28. Municípios – Capacidade de Recepção de Lodo Anual.....	80
Figura 29. Cerâmicas – Jazidas Próprias e Vida Útil.....	81
Figura 30. Cerâmicas – Recebem Lodo ETA e Capacidade de Recepção (t).....	82
Figura 31. Aterro – Informações das ETA consolidadas por 2 raios de cobertura.....	83
Figura 32. Aterro – Distâncias das ETA e 2 raios de cobertura.....	84
Figura 33. Consultas de Cerâmicas que tem condições de receber sozinhas todo lodo da ETA... ..	86
Figura 34. Consultas de Cerâmicas que atendem a quantidade média mensal de Lodo de ETA.. .	86
Figura 35. Cerâmicas mais próximas que extrapolam a quant. de recepção de Lodo de ETA.....	87
Figura 36. Cerâmicas mais próximas que atendem a quant. de recepção de Lodo de ETA. ....	87
Figura 37. ETA - Buffer de 10, 15, 20 e 23 Km. ....	88

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1. Resíduos provenientes em processos de tratamento de água.....	21
Tabela 2. Relações de Cerâmicas na BH-PCJ fornecida pela CETESB (2002). ....	30
Tabela 2. Principais Sub-Bacias do Piracicaba.....	33
Tabela 3. Municípios Paulistas Totalmente inseridos nas Bacias PCJ.....	35
Tabela 4. Municípios Paulistas parcialmente inseridos nas Bacias PCJ.....	36
Tabela 5. Municípios Mineiros inseridos nas Bacias PCJ.....	36
Tabela 6. Valores Extremos das Vazões Médias Máximas e Mínimas Mensais.....	36
Tabela 7. Base de Dados – ETAs, Cerâmicas e Aterros Sanitários.....	47
Tabela 8. ETA Capivari e Receptores – Distâncias lineares e custo de transporte em relação a ETA Capivari e Destinos. ....	89

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

- ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica  
ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica  
BH-PCJ – Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí  
CBH-PCJ – Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
ETL – Estação de Tratamento de Lodo  
GPS – Geographic Position System  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
MDT – Modelo Digital do Terreno  
MUB – Mapa Urbano Básico  
PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí  
SGBD – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
UGRHI-5 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 (Piracicaba, Capivari e Jundiaí)  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

## **Resumo**

RIBEIRO, Cristian Fonseca. Uso de sistema de informações geográficas na gestão do lodo das estações de tratamento de água de uma bacia hidrográfica. 100p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2008.

O presente trabalho aborda a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) – recurso hoje indispensável para a análise de dados espacializados, amplamente utilizada no auxílio à tomada de decisão em diversos campos – como ferramenta de gestão do lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA) localizadas em uma mesma bacia hidrográfica. Esta gestão, em geral, é baseada em dados convencionais, ficando a mesma condicionada a informações estáticas. Os custos logísticos de transporte e disposição final em aterro sanitário, na maioria dos casos, são preponderantes em relação aos custos operacionais do sistema de tratamento do lodo. Diversos usos benéficos têm sido propostos por vários pesquisadores como melhor forma de destinação, do ponto de vista da sustentabilidade ambiental e econômica. Nesse caso, o material é considerado não mais como resíduo, mas como matéria-prima. O uso de informações espacializadas objetiva nesse caso facilitar a busca e seleção da alternativa mais adequada, tendo a localização geográfica dos potenciais usuários como critério diferencial em relação aos demais aspectos envolvidos na decisão. A área de estudo foi a das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ). Diversos cenários foram gerados e avaliados. O gestor considerado foi ora uma determinada companhia de saneamento, ora um consórcio de todas as companhias de saneamento presentes na área ou um agrupamento delas. Para fins demonstrativos, as indústrias cerâmicas – para as quais a viabilidade técnico-econômica e ambiental já foi cientificamente comprovada – foram comparadas como destinação alternativa à disposição nos aterros licenciados existentes nessas bacias. Demonstrou-se, assim, o enorme potencial do SIG para a resolução de problemas de planejamento e gerenciamento de resíduos de ETA, tarefa essa que tende a se tornar cada vez mais difícil e complexa no contexto de uma bacia hidrográfica apresentando

inúmeros geradores destes e de outros tipos de resíduos sólidos – tais como os resíduos urbanos, de estações de tratamento de esgoto, industriais – que competirão entre si sob as regras de livre mercado pelos já escassos e limitados aterros sanitários e também pelos diversos usuários dessa matéria-prima.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica, Sistema de Informações Geográficas, Estação de Tratamento de Água, Lodo, Gestão de Resíduos Sólidos.

## **1. Introdução**

Assim como ocorre com outros processos industriais a produção de água potável em Estações de Tratamento de Água (ETA) convencionais tem como inconveniente à geração de resíduos, notadamente o lodo dos decantadores, que necessitam tratamento e destinação adequados do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

A destinação adequada do lodo gerado nas ETAs tem ocupado a agenda dos gestores de companhias de saneamento, agências de bacias hidrográficas, órgãos ambientais e ambientalistas de algumas regiões do Brasil, notadamente aquelas mais densamente ocupadas e desenvolvidas economicamente. Isto devido à pressão dos órgãos ambientais fiscalizadores, bem como pela necessidade das empresas de saneamento apresentarem bons indicadores de desempenho ambiental, exigidos para obtenção de novos financiamentos nacionais ou internacionais.

O descarte de lodo diretamente em corpos d'água impacta a qualidade da mesma e onera o tratamento nas ETAs localizadas à jusante desse ponto, sendo praticamente proibida se considerados os padrões de lançamento vigentes na legislação federal (BRASIL, 2005) e estadual (SÃO PAULO, 1976). Já a disposição em aterros sanitários impõe alto custo, tendo em vista o desequilíbrio entre a oferta de aterros licenciados e a quantidade de resíduos sólidos gerados, inclusive os municipais. Soma-se a isto o fato de que o gerador torna-se co-responsável pelo resíduo durante e mesmo depois de encerrada a vida útil do mesmo (CETESB, 2005). O lançamento no sistema de esgotamento sanitário, quando possível, apenas transfere o problema de disposição do lodo da ETA para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) a qual, em geral, tem como principal limitação justamente o tratamento e a destinação final dos lodos gerados no tratamento biológico (ANDRADE, 2005).

Em substituição aos métodos de disposição final citados, têm sido propostas alternativas de aplicação do lodo como matéria-prima em processos industriais. Destaca-se a aplicação em indústria

cerâmica, em especial na cerâmica vermelha, cuja viabilidade técnica, econômica e ambiental já foi comprovada em escala real (NOVAES, 2005; ANDRADE, 2005). Estudos mineralógicos quanto à composição química deste resíduo constataram a similaridade deste com a argila normalmente utilizada no processo cerâmico (CORNWELL et al., 2000; COSIN et al., 2002; GODBOLD et al., 2003; HUANG et al., 2001; ISAAC et al., 2002b).

Segundo a Associação Nacional de Cerâmica (ANICER, 2008), atuam no Brasil, cerca de 5.500 empresas Cerâmicas e Olarias, cujo faturamento anual é de US\$ 6 bilhões. Com isso, pode-se constatar grande vantagem para a indústria cerâmica, devido a grande capacidade de se absorver os lodos de ETA e assim utilizá-los como matéria-prima, aumentando a vida útil de suas jazidas de argila, entre outros benefícios.

Acredita-se que a existência de uma política de incentivo fiscal para incorporação de resíduos como matéria-prima poderá induzir o mercado a este tipo de aplicação.

A unidade de gerenciamento de recursos hídricos adotada no Brasil, do ponto de vista legal e institucional, é a bacia hidrográfica. Pode-se considerar aqui também uma solução do problema dos resíduos dos sistemas de tratamento, aquela que considera como alternativa ao destino final em aterro sanitário, os potenciais usos e usuários localizados dentro da área da bacia hidrográfica em que a ETA está inserida. No caso das regiões sudeste e sul do País, a existência de diversos pólos cerâmicos com elevado consumo de matéria-prima indica, do ponto de vista logístico, que deve ser este setor um dos principais usuários desse resíduo.

Na gestão de resíduos de ETA por bacias hidrográficas, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ainda são pouco utilizados, embora sejam ferramentas bastante apropriadas para a análise desse tipo de problema. Para a realização da análise em sistemas de informações convencionais, as mesmas estão sujeitas a um conjunto de restrições implícitas dos mesmos, não permitindo a utilização de informações espaciais. No SIG, através do cruzamento entre alguns dados e do georreferenciamento dos mesmos, pode-se compor diversos mapas temáticos que possibilitam a visualização espacializada das informações, de maneira que um sistema de informações convencional sem relacionamento geográfico não apresentaria.

Segundo DAVIS et al. (1999), o Geoprocessamento é: “o conjunto de ferramentas, rotinas e métodos com o propósito de apoiar a aquisição, manipulação, análise, modelagem e exibição de dados, visando à solução de problemas de planejamento e gestão de recursos e/ou fenômenos geograficamente distribuídos”.

O problema da otimização da destinação do lodo de ETA aos potenciais usuários, no caso as diversas indústrias cerâmicas e das diversas áreas de aterro, envolve um conjunto razoável de variáveis técnicas e econômicas ligadas ao seu tratamento, transporte e disposição final. Do ponto de vista do gestor de bacia hidrográfica, como por exemplo, um comitê gestor, a busca de uma solução conjunta para todas as ETAs ou por agrupamentos de ETAs, para um único destino, pode reduzir custos e viabilizar economicamente tal solução.

O uso de ferramentas específicas de análise espacial auxilia o gestor na avaliação e proposição de soluções. A análise espacial dos dados constitui um instrumento de grande valia para a tomada de decisões, à medida que permite antever as diversas alternativas de disposição final do lodo e orientar a implementação de medidas tanto de planejamento, e.g., quanto ao tipo de tratamento de lodo a ser adotado ainda na concepção do sistema, quanto de gerenciamento, e.g., quanto a adequações nos processos existentes em função dos requisitos de matéria-prima da melhor alternativa entre os possíveis usos disponíveis.

O presente estudo foi desenvolvido na unidade territorial da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ), que se localiza majoritariamente no estado de São Paulo (92% de sua área) e uma pequena parte em Minas Gerais. Há escassez quantitativa e qualitativa do recurso hídrico e o conflito inerente é notório entre os múltiplos usuários, quer públicos quer privados. De todas as ETAs existentes, cerca de 5 tratam e dispõe adequadamente o lodo sendo que, no momento presente, as companhias de saneamento que aí atuam buscam, individual ou coletivamente, a melhor solução deste problema.

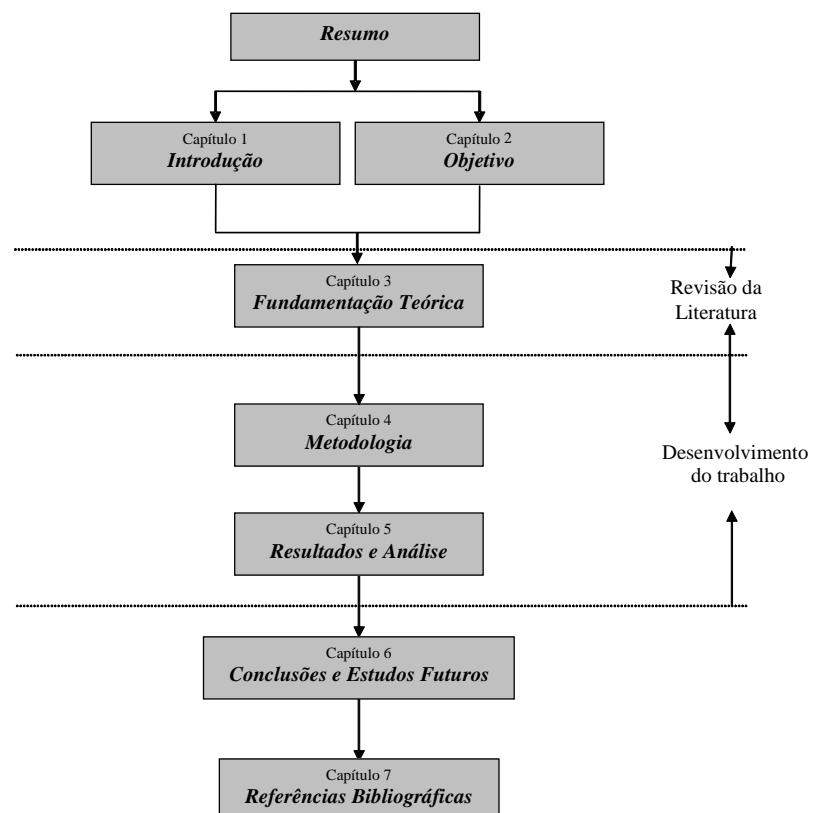
Esta dissertação é organizada em sete capítulos mais resumo, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

A primeira parte do trabalho, capítulos 1 e 2 contém a introdução e o objetivo da dissertação.

A segunda parte, capítulo 3 compreende a revisão bibliográfica da caracterização do lodo, a sua utilização em pólos cerâmicos, um panorama do setor ceramista, a descrição da unidade de gerenciamento dos recursos hídricos das bacias do rio Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ) e uma definição de Geoprocessamento.

A terceira parte, capítulos 4 e 5 apresenta o desenvolvimento do trabalho, descrevendo a metodologia utilizada, a localização da área de estudo assim como a base cartográfica utilizada, a base de dados, o software usado, todas as etapas de processamento (composição do MUB, levantamento, organização e georreferenciamento dos dados, visualização das informações espacializadas, e a análise dos dados e por fim a criação de cenários) além dos resultados e análises.

Finalmente, as principais conclusões e sugestões, para estudos futuros, assim como as referências bibliográficas, são apresentadas nos capítulos 6 e 7.



**Figura 1. Fluxograma desta Dissertação.**

## **2. Objetivo**

A pesquisa objetiva propor um sistema de apoio à gestão por bacia hidrográfica dos lodos gerados nas estações de tratamento de água através da aplicação de metodologia de análise de informações espacializadas, visando auxiliar no processo de escolha de sua destinação final ou uso benéfico. O Estudo de caso foi feito na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí podendo a metodologia ser extrapolada para quaisquer bacias hidrográficas.

### **3. Fundamentação Teórica**

Os planejamentos de recursos hídricos sempre consideram dois pontos básicos para o desenvolvimento do estudo: o diagnóstico ambiental, que retrata as realidades do meio; e a definição de alternativas ou diretrizes, que solucionam ou minimizam os problemas identificados no diagnóstico, bem como reforçam os acertos existentes.

Os dados primários coletados durante a etapa de diagnóstico podem ser representados por meio de mapas. Conforme IBGE (1999), um mapa é a representação convencional ou digital da configuração da superfície topográfica. Esta representação consiste em se projetar esta superfície, com os detalhes nela existentes, sobre um plano horizontal ou em arquivos digitais. Os detalhes representados podem ser:

- Naturais: São os elementos existentes na natureza como os rios, mares, lagos, montanhas, serras entre outros.
- Artificiais: São os elementos criados pelo homem como: represas, estradas, pontes, edificações e outros.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) podem ser definidos como sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-las (ARONOFF, 1989 apud CÂMARA, 1996).

Com a necessidade de dispor apropriadamente os resíduos gerados no tratamento de água, que causam impacto nos corpos d'água em sua qualidade e na biota aquática e aterros, acredita-se que esta

moderna ferramenta (SIG) permite a projeção de cenários para efeito de planejamento, bem como o modelamento de funções de correlação, a interação de dados de monitorização para efeito de controle, além da supervisão e obtenção de diagnósticos. Diante destas informações, serão abordados os principais conceitos empregados neste trabalho.

### **3.1 Caracterização do Lodo**

Segundo RICHTER (2001), as características de lodos de ETA variam de acordo com a natureza da água bruta, dos processos e operações unitários, produtos químicos aplicados, tipo e forma de limpeza dos decantadores, entre outros fatores. As águas superficiais estão sujeitas à contaminação por formas naturais e também por decorrência de ações antrópicas, como aplicação de fertilizantes, pesticidas e, principalmente, disposição de águas residuárias.

Segundo CORDEIRO (1999), os lodos de ETA caracterizam-se por possuírem grande umidade, geralmente maior que 95%, estando no estado semi-sólido.

A água bruta pode conter uma diversidade de substâncias químicas, dentre elas metais e matérias orgânicas provenientes do esgoto doméstico e águas residuárias indústrias. Na ausência de uma contaminação significativa do manancial, a fração orgânica presente no lodo é pequena, e neste caso ela é estável e não putrescível. Durante o período de chuvas, o escoamento superficial contribui com um aumento no teor de matéria orgânica.

REALI (1999) descreveu a influência do tipo de decantador e o modo de limpeza ou descarga do lodo no teor de sólidos. Em decantadores retangulares com limpeza manual, cuja freqüência em geral é de 1 a 3 meses, o mesmo apresenta teor de sólidos mais elevados. Quando a limpeza é mecanizada, com freqüência semanal, diária, ou até mesmo contínua, o volume retirado é bem maior com menor teor de sólidos.

O teor de sólidos no lodo dos decantadores varia de uma ETA para outra, podendo apresentar valores na faixa de 0,1% a 4%. Na maioria dos casos, situa-se abaixo de 1% (CULP,1986). O teor de sólidos na água de lavagem de filtros é bem menor do que no lodo de decantador, variando na faixa de 0,01% a 0,1% (YUZHU, 1996).

Como geralmente são usados sais de alumínio ou ferro na coagulação, os hidróxidos dos respectivos metais são os principais constituintes do lodo, sendo que a água de hidratação presa aos flocos torna o lodo gelatinoso e volumoso, de difícil desaguamento.

A tabela 1 mostra os materiais mais comuns encontrados nos resíduos do tratamento de água:

**Tabela 1. Resíduos provenientes em processos de tratamento de água.**

<b>Material</b>	<b>Proveniente de:</b>	<b>Aparece no resíduo como:</b>	<b>Sólido</b>
Sólidos dissolvidos	Água bruta	Sólidos dissolvidos	Somente se precipitados
Sólidos em suspensão	Água bruta	Silte	Sim
Matéria orgânica	Água bruta	Matéria orgânica	Sim
Sais de alumínio	Coagulação química	Hidróxido de alumínio	Sim
Sais de ferro	Coagulação química	Hidróxido de ferro	Sim
Polímero	Tratamento químico	Polímero	Sim
Cal	Tratamento químico e correção de pH	$\text{CaCO}_3$ (Carbonato de Cálcio)	Sim
Carvão ativado granular e em pó	Controle de sabor e odor	Carvão ativado granular e em pó	Sim

*Fonte: DOE (1990)*

Segundo ISAAC (2001), os principais parâmetros utilizados na caracterização do lodo de ETA são sólidos totais, sólidos voláteis, pH, temperatura, viscosidade, metais (e.g., alumínio, ferro, manganês, mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, etc.), fósforo e nitrogênio totais. Alguns índices bacteriológicos e hidrobiológicos de interesse sanitário também são importantes, como coliformes totais e fecais, ovos de helmintos, cistos de protozoários, etc.

### **3.2 Quantificação do Lodo de ETA**

A quantidade e as características dos lodos gerados em ETA variam em função da tecnologia de tratamento, qualidade da água bruta, tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados nos processos de coagulação / floculação da água.

Existem duas situações para a quantificação de lodo em ETA. A primeira é quando o sistema de tratamento do lodo é dimensionado conjuntamente com o tratamento da água, e a segunda situação, ocorre quando da concepção, para a ETA já existente.

A produção de lodos para ambas situações pode ser calculada de modo distinto. Para as ETAs existentes, a determinação da produção de lodo, pode ser estimada in loco, pela determinação dos sólidos provenientes da descargas dos decantadores e da vazão das mesmas. A produção de lodos para ETA em fase de projeto pode ser determinado através de fórmulas empíricas. Em ambos os casos é conveniente o levantamento de dados da qualidade da água e do consumo de produtos químicos durante um período de no mínimo um ano (FERREIRA FILHO e SOBRINHO, 1991).

Há diversas fórmulas empíricas na literatura para a estimativa da produção de sólidos em ETA .  
Como exemplo, tem-se:

#### **American Water Work Association - AWWA (1978)**

$$P = 3,5 \times 10^{-3} T^{0,66}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/ s)

### **Water Research Center - WCR (1979)**

$$P = (SS + 0,07_x C + H + A) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L)

C – cor na água bruta (°H)

H – hidróxido coagulante (mg/L)

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/ s)

### **Association Francaise Pour L'étude Des Eaux – AFEE (1982)**

Utilizando-se:

$$SS = 1,2 \times \text{Turbidez (uT)} \text{ da água bruta}$$

$$C (\text{°H}) = \text{Cor aparente da água bruta (uC)}$$

$$H = \text{Constante de precipitação para o sulfato de alumínio (0,17)} \times \text{Dosagem de Coagulante (mg/L)}$$

Tem-se:

$$P = (1,2 \times T + 0,07_x C + 0,17_x D + A) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

T – turbidez da água bruta (uT)

C – cor aparente da água bruta (uC)

D – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

## **CETESB**

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/ s)

## **CORNWELL**

$$P = (0,44 \times AS + 1,5 \times T + A) \times 10^{-3}$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T – turbidez da água bruta

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/ s)

## **KAWAMURA (1991)**

$$P = (D \times Fc1) + (T \times Fc2)$$

Onde:

P – produção de sólidos (g de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

D – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

Fc1 – fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio. Usualmente varia entre 0,23 a 0,26.

Fc2 – razão entre a concentração de sólidos suspensos totais presentes na água bruta e turbidez da mesma. Geralmente na faixa de 1,0 a 2,0.

Segundo SARON e LEITE, a diferença em qualquer uma das formulas utilizadas não passa de 1%, portanto foi utilizado a que se adequava com as informações disponíveis. Mas com relação à quantidade real de geração a variação chega até 5 vezes de diferença.

### **3.3 Utilização do Lodo de ETA em Cerâmica**

Segundo PRACIDELLI et al (1997), o sucesso ou falha da utilização do lodo em peças cerâmicas depende dos fatores: proximidade entre a indústria cerâmica e a estação de tratamento de água, características físico-químicas dos resíduos, coagulantes e outros produtos químicos utilizados no processo de tratamento, aceitação deste resíduo pelos fabricantes de telhas e blocos e os impactos que este uso possa causar nas operações normais da indústria. Com o uso do lodo, o grau de compactação torna-se menor, facilitando o processo de secagem.

Segundo CERATEC (1998), matérias-primas utilizadas na fabricação de blocos cerâmicos e resíduos originados a partir da sedimentação de flocos em decantadores das estações de tratamento de água, têm composições químicas e físicas que muito se assemelham à argila natural usada na produção de blocos cerâmicos.

Segundo CORNWELL (2000), os resíduos com grande quantidade de argila são ideais para produzir peças cerâmicas. Por outro lado, resíduos que apresentam teores significativos de cal não são admitidos para este fim. Os resíduos de tratamento de água tem em sua composição argila, silte e areia, além de matéria orgânica e outros compostos químicos formados durante a coagulação. A aplicação do lodo de ETA pode ser realizada durante o processo de fabricação de tijolo ou diretamente na própria jazida, de onde a argila é retirada. Na maioria dos casos, a aplicação direta em jazidas não requer a utilização de equipamento ou maquinário além dos comumente utilizados na extração da argila. Normalmente, para aplicação nas jazidas, o lodo desaguado é transportado e aplicado na proporção de 10% de lodo e a mistura com argila é realizada in loco.

DONDI (1998) descreve em seu artigo os objetivos da inclusão de rejeitos na fabricação de produtos de Cerâmica Vermelha: “As massas utilizadas na indústria dos tijolos são de natureza altamente heterogênea, geralmente constituídas por matérias-primas argilosas, com um vasto espectro de composições. Por este motivo, tais massas têm a capacidade de tolerar a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo quando presentes em percentagens significativas. A incorporação destes resíduos nas massas para a fabricação de tijolos implica sempre obter, pelo menos, duas vantagens de tipo ambiental: a reciclagem e inertização dos resíduos freqüentemente poluentes e de difícil eliminação, e a economia de matérias primas argilosas”.

Segundo CORNWELL (2000), um parâmetro importante para determinar seu manuseio é o teor de umidade do lodo. Se for aplicado durante o processo, o lodo com alta umidade pode prejudicar o caminhamento dos componentes de fabricação, obstruindo passagens ou aderindo-se nas partes do sistema. Para aplicação durante o processo, muitos fabricantes exigem um teor de sólidos maior ou igual a 50%. Quanto mais a granulometria do lodo for similar à da argila, melhor sua aplicabilidade. Por outro lado, quanto maior o teor de areia, maior o impacto negativo na qualidade final do tijolo. A presença do carvão ativado em grandes teores no lodo pode inviabilizar sua aplicação, uma vez que causa expansão e, consequentemente, rachaduras no tijolo. Lodos contendo hidróxidos de ferro e bário atribuem ao tijolo coloração avermelhada, desejada pelos fabricantes. A presença de grandes teores de cal no lodo, por outro lado, pode comprometer a qualidade do tijolo produzido, inviabilizando sua aplicação. Ainda segundo o autor, a umidade contida no resíduo é muito importante para seu manuseio e incorporação no processo de obtenção de materiais cerâmicos. Os fabricantes preferem lodos desaguados com teores de sólidos superiores a 20%. Deve-se evitar o uso dos resíduos que contenham

altas concentrações de compostos que possam causar expansão e fissuras ao produto final, tais como o antracito e o carvão ativado em pó (CAP). Além disso, devem ser realizadas análises para determinar se não há grande quantidade de metais voláteis que possam, no processo de queima da cerâmica, se desprender e poluir o ar.

Segundo LABRINCHA et al. (2000), a incorporação de 5% (em massa) do resíduo reduziu a resistência à compressão em 30%, embora os níveis de absorção de água tenham sido muito semelhantes aos produtos sem resíduo. Devido às deficientes condições de mistura, concluiu-se que a prévia secagem e moagem do lodo poderiam minimizar os indesejáveis resultados obtidos e viabilizar a incorporação do resíduo.

Com a finalidade de resolver o problema de disposição do lodo de ETA foram realizados por MORITA et al. (2002) estudos em uma indústria cerâmica localizada no pólo de Tatuí, no Estado de São Paulo, que recebeu lodo proveniente da ETA Cubatão, incorporando-o na fabricação de blocos cerâmicos. Foi verificada uma compatibilidade entre as características materiais do lodo da ETA Cubatão e a matéria-prima utilizada nesta indústria cerâmica. Os blocos apresentaram pouca retração (inferior a 3%) e, quanto à resistência à compressão, os valores corresponderam aos limites estipulados pela norma NBR 6461 (BRASIL, 1983). Concluiu-se que os blocos nos quais foram incorporados 12,5% de lodo de ETA e confeccionados com molde de paredes retas no momento da extrusão atenderam as especificações determinadas pela ABNT (BRASIL, 1992a).

Segundo pesquisa de ANDRADE (2005), concluiu-se que o lodo da estação de tratamento de água de Cubatão podia ser aplicado na indústria cerâmica de Tatuí, sem trazer alterações significativas no processo industrial, na qualidade dos blocos e nos impactos ambientais produzidos no processo cerâmico, reduziu as emissões mas gastou mais madeira para a queima. Além disto, foi possível desenvolver uma metodologia para avaliar a possibilidade de reuso de resíduos de estações de tratamento de água na indústria cerâmica.

### **3.4 Setor Ceramista no Brasil e no Estado de São Paulo**

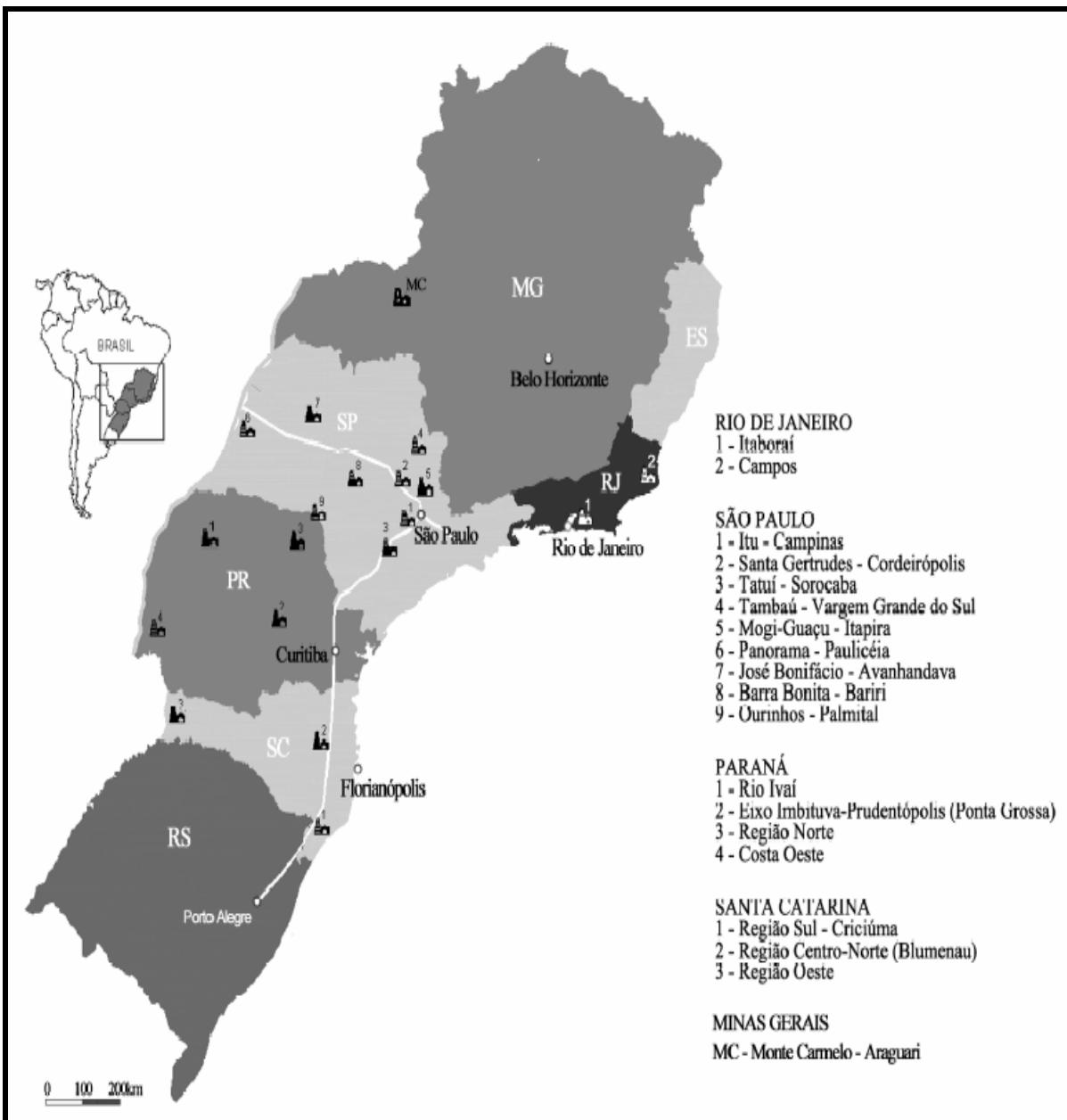
A Cerâmica tem um papel importante para economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares. A abundância de

matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada. O setor industrial da cerâmica é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, materiais refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa, cerâmica artística (decorativa e utilitária), filtros cerâmicos de água para uso doméstico, cerâmica técnica e isolantes térmicos. No Brasil, existem todos estes segmentos, com maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção (ABCERAM, 2008).

Segundo a Associação Nacional de Cerâmica, no Brasil, existem 12.000 indústrias de cerâmica vermelha ou estrutural, assim distribuídas: 62% fabricam blocos e tijolos; 37% telhas e 0,2% tubos. O faturamento anual destas empresas é de US\$ 6 bilhões. Mensalmente, são consumidas 10.500.000 t de argila para a fabricação de blocos e tijolos e 4.500.000 t para telhas. O setor cerâmico gera 650.000 empregos diretos e 2 milhões de empregos indiretos (ANICER, 2008).

Na região da bacia BH-PCJ, na qual o município de Campinas está inserido, a maioria das indústrias cerâmicas é de pequeno porte, mas devido ao grande número, pode viabilizar o destino da grande quantidade de lodo gerado nas ETAs da área em estudo para diversas cerâmicas e olarias, propiciando uma solução viável para a disposição final dos resíduos (MOTTA et al., 2001). A Figura 2 apresenta os principais pólos cerâmicos do Brasil.

A Tabela 2 apresenta as cerâmicas e suas atividades que estão inseridas na área da BH-PCJ:



*Fonte: Motta et al., 2001.*

**Figura 2. Principais pólos cerâmicos do Brasil.**

**Tabela 2. Relações de Cerâmicas na BH-PCJ fornecida pela CETESB (2002).**

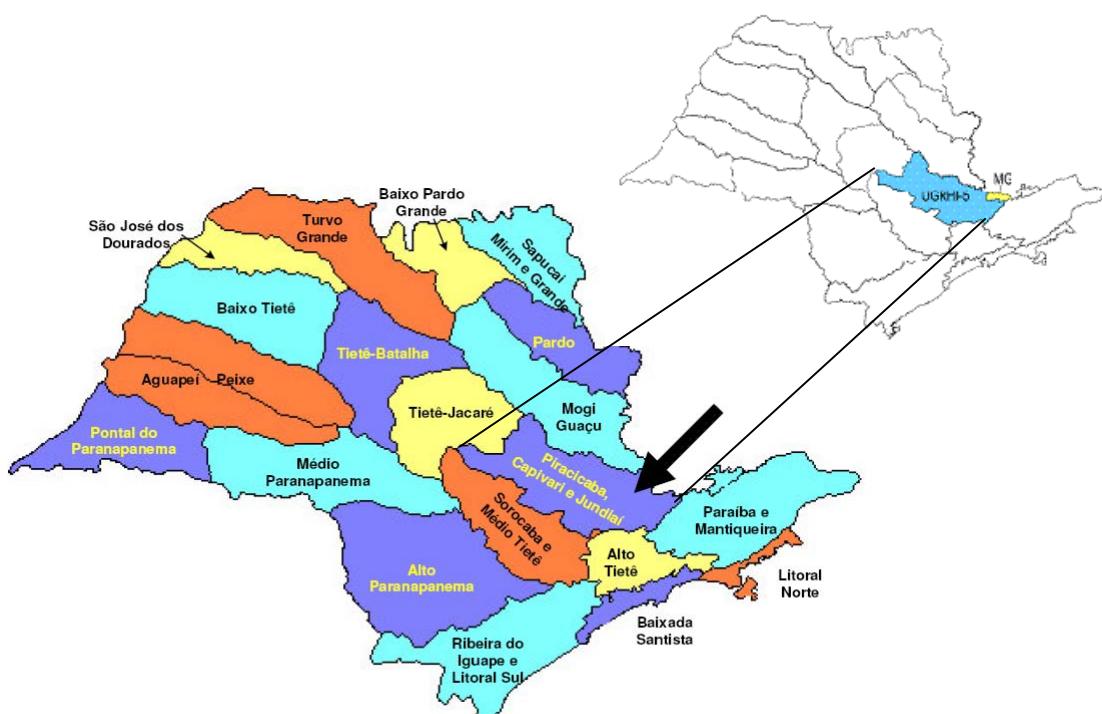
RAZÃO SOCIAL	MUNICÍPIO	ATIVIDADE
CERAMICA PAIVA LTDA	SALTO	IND PRODS MINERAIS N/ METALICOS - FABR TIJOLOS TELHAS ETC
CERAMICA SALTENSE LTDA	SALTO	FAB DE TELHAS E TIJOLOS
CHANGAI PRODUTOS CERAMICOS LTDA	CAMPINAS	IND E COMERCIO DE TIJOLOS LAJOTAS E MATERIAIS PARA CONSTRUCAO EMGERAL
CERAMICA TABOAL LTDA	CAMPINAS	FABRICAÇAO DE TIJOLOS, LAJES E BLOCOS CERAMICOS.
CERAMICA MILAO LTDA	CAMPINAS	FABRICAÇAO DE TIJOLOS E BLOCOS CERAMICOS
CERAMICA LOUVEIRA LTDA	LOUVEIRA	CERAMICA DE TIJOLOS E EXTRACAO DE AREIA
CERAMICA ADOGUERI LTDA	MONTE MOR	FABRICACAO DE TIJOLOS DE BARRO COZIDO
CERAMICA MILANO LTDA	MOR	INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE MINERAIS NAO METALICOS
CEMMOR CERAMICA MONTE MOR LTDA	MONTE MOR	INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE MINERAIS NAO METALICOS FAB DE TIJOLOS
ENZ HUBERT INDUSTRIA CERAMICA LTDA	MONTE MOR	FABRICACAO DE TIJOLOS E LAJES DE ARGILA
INDUSTRI CERAMICA CONCEIÇÃO LTDA	ELIAS FAUSTO	FABRICACAO DE TIJOLOS E LAGES DE BERRO COZIDO
CERAMICA BATAGIN LTDA	CAPIVARI	FABRICACAO DE TIJOLOS DE BARRO COZIDO
CERAMICA VALICAP LTDA	CAPIVARI	FABRICACAO DE TIJOLOS TELHAS E LAJOTAS CERAMICAS
CERAMICA ONIX LTDA	INDAIATUBA	FAB TELHAS TIJOLOS LAJOTAS CERAMICAS BARRO COZIDO EXCL ART REFRACTARIOS
CERAMICA CECILIATO LTDA	INDAIATUBA	FABRICACAO DE TELHAS TIJOLOS E OUTROS ARTIGOS DE BARRO
CERAMICA JUNDIAÍ S/A	JUNDIAÍ	FABRICACAO DE TELHAS TIJOLOS E LAJOTAS CERAMICAS OU DE BARRO COZIDO
CERAMICA IBETEL LTDA	JUNDIAÍ	FABRICACAO DE TELHAS TIJOLOS E LAJOTAS CERAMICAS OU DE BARRO COZIDO
CERAMICA GRESCA LTDA	JUNDIAÍ	FABRICACAO DE TIJOLOS E TAVELAS
CERAMICA CASTANHO LTDA	JUNDIAÍ	FABRICACAO DE TIJOLOS E BLOCOS CERAMICOS OU DE BARRO COZIDO
OLARIA DANIEL MARQUES ROSA	VARGEM	FABRICACAO DE TIJOLOS
OLARIA SANTA ELISA LTDA	VARGEM	FAB. DE TELHAS, TIJOLOS E LAJOTAS CERAMICAS OU DE BARRO COZIDO
OLARIA DO DINHO	VARGEM	FAB. DE TELHAS, TIJOLOS E LAJOTAS CERAMICAS OU DE BARRO COZIDO
OLARIA DO MARCOS CERAMICA NOSSA SENHORA AUXILIADORA LTDA	VARGEM	FAB. DE TELHAS, TIJOLOS E LAJOTAS CERAMICAS OU DE BARRO COZIDO
CERAMICA CONCORDIA DE IRMAOS FRANCESCHINI LTDA	VINHEDO	FABRICACAO DE TIJOLOS E LOJOTAS CERAMICOS
BARDUCHI & BARDUCHI LTDA	VALINHOS	FABRICACAO DE TIJOLOS E TELHAS
TIJOLO FACIL LTDA	VALINHOS	FABRICACAO DE TIJOLOS DE BARRO COZIDO (OLARIA).
AURORA RASFINA SETTEN	PAULÍNIA	FABRICAÇAO DE TIJOLO
IRMÃOS ROSADA LTDA	PIRACICABA	FABR TIJOLO CERAMICA
	PIRACICABA	FABR TIJOLO CERÂMICO

### 3.5 Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

As bacias são organizadas em Comitês, compostos por representantes da União, Estados e Municípios (metade do total dos membros), usuários de água e organizações civis (ONGs e universidades e consórcios de bacias).

Quando as águas dos rios de uma bacia nascem e morrem no mesmo estado, ela é considerada estadual. Se atravessam dois ou mais estados ou comportam-se como limite entre eles é considerada federal. Há casos em que a bacia é parte federal e parte estadual como a Bacia Hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ). A BH-PCJ é uma das maiores e mais importantes do Estado de São Paulo, sendo formada pelos rios Jaguari (que nasce em MG) e Piracicaba (que encontra-se com o rio Paraná), que são federais, e o Capivari, Jundiaí e Atibaia, que são estaduais.

As bacias hidrográficas localizadas próximas aos grandes centros urbanos têm sofrido ações negativas intensas quanto a despejos de águas residuárias e lodos, comprometendo a qualidade das águas superficiais que são captadas para tratamento e abastecimento público de água, que é o caso da BH-PCJ. As Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí (BH-PCJ) contém um dos mais importantes mananciais com vistas ao abastecimento público da região de Campinas. A Figura 3. apresenta a localização da BH- PCJ e de todas as demais UGRHIs do Estado de São Paulo:



**Figura 3. Situação da unidade de Gerenciamento de Recursos hídricos das Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI-5), trecho paulista das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH – PCJ, 2006).**

A Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI – 5, Figura 4), objeto do presente trabalho, tem uma área aproximada de 14.040 Km<sup>2</sup>, correspondentes a 92% da área total das bacias hidrográficas que a compõem, da ordem de 15.320 Km<sup>2</sup>. Os restantes 1.280 Km<sup>2</sup> pertencem ao estado de Minas Gerais, onde se localizam as cabeceiras dos rios Jaguari e Camanducaia (CBH – PCJ, 2006).

A área em foco localiza-se entre os meridianos 46° e 49° oeste e as latitudes 22° e 23,5° sul, apresentando uma extensão aproximada de 300 Km, no sentido leste-oeste, e de 100 Km, no sentido norte-sul.

Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí



**Figura 4. Bacias Hidrográficas do Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH – PCJ, 2006).**

Quanto a usos do solo, as pastagens cobrem 57% da área da bacia (40% cultivadas) para rebanho de corte e leite; o uso para agricultura também é significativo, predominando o cultivo de cana-de-açúcar e café, seguidos pela fruticultura (cítricos) e milho, além de hortifruticultura; existem nesta bacia também áreas urbanas densamente ocupadas, abrigando importante parque fabril do Estado de São Paulo. A Bacia abrange a área declarada, por decreto estadual, como Área de Proteção

Ambiental de Piracicaba. Os usos da água incluem: abastecimento público e industrial; afastamento de efluentes domésticos e industriais e irrigação de plantações. Entre as principais atividades industriais da região estão: papel e celulose, alimentícias e sucro-alcooleiro, têxtil, curtumes, metalúrgicas, químicas e refinarias de petróleo (CBH – PCJ, 2006).

Em termos hidrográficos, há sete unidades (sub-bacias) principais, sendo cinco pertencentes ao Piracicaba (Piracicaba, Corumbataí, Jaguari, Camanducaia e Atibaia), além das sub-bacias dos rios Capivari e Jundiaí (CBH – PCJ, 2006). A bacia do Piracicaba é constituída pelas sub-bacias principais, apresentadas no Tabela 2.

**Tabela 2. Principais Sub-Bacias do Piracicaba.**

Sub-bacia	Área em SP (Km <sup>2</sup> )	Área em MG	Área total (Km <sup>2</sup> )
Piracicaba	3.700,79	-	3.700,79
Camanducaia	870,68	159,32	1.030,00
Jaguari	2.323,42	966,58	3.290,00
Atibaia	2.828,74	39,98	2.868,74
Corumbataí	1.679,19	-	1.679,19
Total Piracicaba	11.402,82	1.165,88	12.568,72
Total Capivari	1.620,92	-	1.620,92
Total Jundiaí	1.114,03	-	1.114,03
Total	14.177,77	1.165,88	15.303,67

*Fonte: CBH-PCJ (2001).*

Toda infra-estrutura de transportes, ao mesmo tempo em que se comporta como suporte do desenvolvimento econômico da região, estimula a urbanização da área, onde já se verificam fortes tendências a conurbação de cidades. Essas tendências aliadas à importância geoeconômica da região levaram ao processo, ora em andamento, de criação da Região Metropolitana de Campinas, que integra 18 municípios da área: Americana, Artur Nogueira, Campinas, Cosmópolis, Holambra, Hortolândia, Itatiba, Indaiatuba, Jaguariúna, Monte Mor, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara d'Oeste, Santo Antônio da Posse, Sumaré, Valinhos e Vinhedo.

Os principais acessos à área de estudo são as rodovias:

- Dom Pedro I (SP-65);
- Engenheiro Ermênio de Oliveira Penteado / Santos Dumont (SP-75);

- Jornalista Francisco Aguirre Proença (SP-101);
- Deputado Laércio Corte (SP-147);
- Dom Gabriel Paulino Bueno Colto (SP-300);
- Anhangüera (SP-303);
- Luis de Queiroz / Geraldo de Barros (SP-304);
- General Milton Tavares de Souza (SP-332);
- Dos Bandeirantes (SP-348);
- Fernão Dias (BR-381).

A região geoeconômica da média UGRHI concentra uma das redes de infra-estrutura de transportes mais importantes do País. A região conta ainda com a linha tronco da FERROBAN, o aeroporto internacional de Viracopos no município de Campinas e a hidrovia Tietê-Paraná no compartimento de entrada do reservatório de Barra Bonita (calha do rio Piracicaba) até o terminal portuário de Santa Maria da Serra. (CBH – PCJ, 2006)

O clima na região, de modo geral, é do tipo quente, temperado e chuvoso. O período chuvoso ocorre entre os meses de outubro e abril, e o de estiagem, entre maio e setembro. Os índices de precipitação pluviométrica, na média, variam entre 1.200 e 1.800 mm anuais. Entretanto, nos trechos das cabeceiras dos cursos formadores do rio Piracicaba, na região da Mantiqueira, à leste de Bragança Paulista, ocorrem as maiores precipitações pluviométricas, cujos índices superam os 2.000 mm anuais. Esses índices caem para 1.400 e 1.200 mm, nos cursos médios e baixos, respectivamente. Na região mais a oeste, a temperatura aumenta e a precipitação diminui, ficando a média próxima de 1.300 mm. As chuvas convectivas são favorecidas pela presença da Serra de São Pedro, que facilita a formação de cúmulos nimbos. Os dados das precipitações médias mensais indicam que os meses menos chuvosos são julho e agosto (médias entre 25 e 40 mm), e que as maiores precipitações ocorrem em dezembro e janeiro (médias entre 190 e 270 mm) (CBH – PCJ, 2006).

A Tabela 3 apresenta os municípios paulistas totalmente contidos nas bacias PCJ, no Estado de São Paulo:

**Tabela 3. Municípios Paulistas Totalmente inseridos nas Bacias PCJ.**

Município	Área (Km <sup>2</sup> )	Município	Área (Km <sup>2</sup> )
Águas de São Pedro	3	Louveira	54
Americana	144	Mombuca	136
Amparo	463	Monte Alegre do Sul	117
Analândia	312	Monte Mor	236
Artur Nogueira	192	Morungaba	143
Atibaia	478	Nazaré Paulista	322
Bom Jesus dos Perdões	120	Nova Odessa	62
Bragança Paulista	489	Paulínia	145
Cabreúva	267	Pedra Bela	148
Campinas	887	Pedreira	116
Campo Limpo paulista	84	Pinhalzinho	161
Capivari	319	Piracaia	374
Charqueada	179	Piracicaba	1.353
Cordeirópolis	123	Rafard	140
Corumbataí	264	Rio Claro	521
Cosmópolis	166	Rio das Pedras	221
Elias Fausto	203	Saltinho	99
Holambra	65	Salto	160
Hortolândia	62	Santa Bárbara D’Oeste	270
Indaiatuba	299	Santa Gertrudes	100
Ipeúna	170	Santa Maria da Serra	266
Iracemápolis	105	Santo Antônio da Posse	141
Itatiba	325	São Pedro	596
Itupeva	196	Sumaré	164
Jaguariúna	96	Tuiuti	128
Jarinu	200	Valinhos	111
Joanópolis	377	Vargem	145
Jundiaí	450	Várzea Paulista	36
Limeira	579	Vinhedo	80

Fonte: [www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br).

A Tabela 4. apresenta os municípios paulistas parcialmente contidos nas bacias PCJ, no Estado de São Paulo. A Tabela 5 apresenta os municípios mineiros que integram a bacias PCJ.

**Tabela 4. Municípios Paulistas parcialmente inseridos nas Bacias PCJ.**

Município	Área (Km <sup>2</sup> )	Município	Área (Km <sup>2</sup> )
Anhembi	728	Mairiporã	307
Botucatu	554	Mineiros do Tietê	198
Cabreúva	267	Mogi Mirim	484
Dois Córregos	599	Serra Negra	203
Engenheiro Coelho	112	Socorro	442
Itirapina	567	Tietê	398
Itu	642	Torrinha	323

Fonte: [www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br).**Tabela 5. Municípios Mineiros inseridos nas Bacias PCJ.**

Município	Área (Km <sup>2</sup> )
Camanducaia	528,9
Extrema	243,7
Itapeva	178,0
Toledo	136,4

Fonte: [www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br).

Os valores extremos observados para as vazões médias mensais máximas e mínimas para as sub-bacias são:

**Tabela 6. Valores Extremos das Vazões Médias Máximas e Mínimas Mensais.**

Sub-Bacia	Período	Média Mensal Mês	Máxima Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Média Mensal Mês	Mínima Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Camanducaia	1943 a 1997	MAR	79,2	SET	4,30
Jaguari	1943 a 1977	MAR	181,0	SET	19,6
Atibaia	1936 a 1997	MAR	138,0	SET	15,8
Corumbataí	1989 a 1997	MAR	128,0	OUT	6,24
Piracicaba	1931 a 1997	MAR	478,0	SET	52,8
Jundiaí	1947 a 1996	JAN	96,4	NOV	4,12

Fonte: CBH-PCJ(1999).

Ressalva-se, porém que a partir de meados da década de 70, os valores as vazões das sub-bacias do Jaguari, Atibaia e Piracicaba são influenciados pela ação reguladora das barragens do Sistema Cantareira (CBH – PCJ, 2001).

O parque industrial mais significativo da BH-PCJ localiza-se na Região Administrativa de Campinas. O valor adicionado pelas indústrias dessa região, em 1996, correspondeu a 18,8% do valor adicionado pela totalidade das indústrias do Estado de São Paulo. Considerando o conjunto das atividades - industrial comercial/serviços e agrícola - verifica-se que o valor adicionado pela Região Administrativa no Estado vem crescendo nos últimos 3 decênios, tendo passado de 10,2% em 1970 para 13,9% em 1980, e 17,1% em 1997. Essas contribuições são bem superiores à proporção do crescimento populacional, indicando que a renda “per capita” da região é superior à média paulista, configurando-a, assim, como a mais dinâmica do interior do Estado. O município de Campinas caracteriza-se por possuir um setor terciário expressivo, em razão de sua função de polo regional. Mas, as indústrias se distribuem nas cidades do seu entorno, principalmente em Paulínia, Indaiatuba, Sumaré, Americana e Santa Bárbara d'Oeste, seguidas de Piracicaba, Limeira e Jundiaí (CBH – PCJ, 2001).

### **3.6 Geoprocessamento**

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade do século passado, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento (CÂMARA, 2001).

Nesse contexto, o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA, 2001).

Hoje em dia, a informação é um recurso econômico; as organizações e instituições investem muitos recursos na coleta, armazenamento e manutenção dessas informações, assim como em equipamentos (computadores e periféricos), treinamento e contratação de pessoal. Cria-se um grande diferencial entre empresas e instituições pela sua capacidade de organização e manipulação das

informações armazenadas. A informação só tem sentido quando ela aumenta a capacidade das pessoas em atingir seus objetivos, assim como ter uma boa distribuição entre as pessoas interessadas. Outra coisa de suma importância é a quantidade e a qualidade dos dados coletados, informação a mais ou a menos é prejudicial ao processo.

A partir disso, um primeiro conceito de geoprocessamento pode ser um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objeto específico (BRASIL, INPE, 1999). Entendendo-se como informação espacial qualquer tipo de dado referenciado geograficamente, ou seja, conhece-se sua posição no espaço. Estes sistemas são tratados como Sistemas de Informação Geográfica - SIG, termo proveniente da expressão inglesa Geographic Information System - GIS.

O geoprocessamento é um conceito mais abrangente, representando qualquer tipo de processamento de dados espaciais, enquanto que um SIG processa dados numéricos e alfanuméricos com ênfase em análises e modelagens espaciais. Os primeiros SIG surgiram na década de 60 no Canadá, com a intenção de criar um inventário de recursos naturais. Ao longo da década de 1970, com a evolução da informática, tornou-se possível o desenvolvimento de sistemas comerciais, da mesma forma que alguns conceitos matemáticos voltados para a cartografia foram desenvolvidos, facilitando o avanço da nova ciência. Nas décadas de 1980 e 1990, com a popularização, barateamento, criação e evolução de computadores e programas, principalmente computadores pessoais - PC, observa-se grande aumento de aplicações de SIG nas mais diversas áreas de atuação.

Existem várias definições de um SIG, cada uma delas tentando privilegiar um aspecto, mas antes convergentes que conflitantes, refletindo sua importância nas várias áreas de conhecimento. A seguir são citadas algumas definições de SIG:

“SIG é um software, uma tecnologia que, utilizando recursos de computação gráfica e processamento digital de imagens, associa informações geográficas à banco de dados convencionais. Assim, é possível recuperar informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial” (DAVIS et al., 1999).

“SIG são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la” (DAVIS et al., 1999).

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

“SIG é um caso especial de sistema de informação, em que o banco de dados é formado por características, atividades ou eventos distribuídos espacialmente” (DUEKER, 1979).

“SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenagem, recuperação e exibição de dados do mundo real para determinados propósitos” (BURROUGH, 1986).

“SIG é um sistema de apoio à decisão, que envolve a integração de dados espacialmente referenciados, em um ambiente para resolução de problemas” (COWEN, 1988).

“Uma tecnologia de informação que armazena, analisa e exibe dados espaciais ou não - SIG é de fato uma tecnologia e necessariamente não é limitada a um simples e bem definido sistema de computador” (PARKER, 1988).

“SIG é uma entidade institucional, refletindo uma estrutura organizacional, que integra tecnologia com um banco de dados, expertise e continuado apoio financeiro” (CARTER, 1994);

“SIG é um sistema de informações, baseado em computador, que permite a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados georreferenciados” (WORBOIS, 1995).

O aspecto mais importante de um SIG é a natureza dual da informação. Um dado possui uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (representados num banco de dados). Por outro lado, não menos importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço. Tão importante quanto localizá-los é descobrir as relações entre eles e os demais. Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG de análise são

Condição, Localização, Tendência, Roteamento, Padrões e Modelos. Com isso, as perguntas mais geradas são o que está, onde, o que mudou, por onde ir, qual o padrão, o que acontece se . . .?

Para que o SIG cumpra suas finalidade, há a necessidade de dados. A aquisição de dados em geoprocessamento deve partir de uma definição clara dos parâmetros, indicadores e variáveis, que serão necessários ao projeto a ser implementado. Deve-se verificar a existência destes dados nos órgãos apropriados (IBGE, DSG, Prefeituras, concessionárias e outros). A sua ausência implica num esforço de geração que depende de recursos, prazos e processos disponíveis para aquisição.

A digitalização é um dos processos mais utilizados para aquisição de dados já existentes. Como os custos para geração costumam ser significativos, deve-se aproveitar ao máximo possível os dados analógicos, convertendo-os para a forma digital através de digitalização manual ou automática.

A fotogrametria é muito utilizada na geração de dados cartográficos. Durante muitos anos, era a única forma de mapeamento para grandes áreas. Com a evolução da informática e das técnicas de processamento digital de imagens, surgiu a Fotogrametria Digital.

Inicialmente considerado como um ramo da fotogrametria, o Sensoriamento Remoto emergiu com a capacidade impressionante de geração de dados. Sistemas orbitais com sensores de alta resolução, imageando periodicamente a Terra, combinados com o processamento de imagens, oferecem diversas possibilidades de extração de informações e análises temporais.

O GPS (Global Position Sistem ou Sistema de Posicionamento Global), apesar de ter sido criado para finalidades militares, revelou-se um sistema extremamente preciso e rápido para posicionamento e mapeamento, apoiando também a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente.

### **3.6.1 Características de um SIG**

Atualmente, existe um grande número de Sistemas de Informações Geográficas, com características as mais variadas possíveis em termos de tipos de estruturas de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análise e outras. Apesar de possuírem habilidades diferentes, existem alguns módulos presentes na maioria destes programas. Estes módulos são:

- Sistemas de Aquisição e Conversão dos Dados;
- Banco de Dados Espaciais e de Atributos;
- Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD);
- Sistema de análise Geográfica;
- Sistema de Processamento de Imagens;
- Sistema de Modelagem Digital do Terreno – MDT;
- Sistema de Análises Estatísticas;
- Sistema de Apresentação Cartográfica.

#### **3.6.1.1 Sistema de aquisição e conversão de dados**

Os sistemas de aquisição são constituídos de programas ou funções de um programa que possuem capacidade de importar os formatos de dados disponíveis. Resumindo, existem quatro fatores a considerar em trabalhos de conversão de dados: Informação a converter, Organização do processo, Pessoas envolvidas, Tecnologia utilizada.

#### **3.6.1.2 Banco de dados**

Os Bancos de dados são formados pelo banco de dados espaciais, descrevendo a forma e a posição das características da superfície do terreno, e o banco de dados de atributos, descrevendo os atributos ou qualidades destas características. Em alguns sistemas, o banco de dados espaciais e o de atributos são rigidamente distintos. Em outros, são integrados em uma entidade simples, conhecida como coverage.

### **3.7 Cartografia**

Cartografia é o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseadas nos resultados de observações direta ou de análise de documentação, visando a elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, bem como a sua utilização.

“Cartografia é a ciência e a arte que se propõe a representar através de mapas, cartas e outras formas gráficas os diversos ramos do conhecimento do homem sobre a superfície e o ambiente terrestre. Ciência quando se utiliza do apoio científico da astronomia, matemática, física, geodésia e outras ciências para alcançar exatidão satisfatória. Arte quando recorre às leis estéticas da simplicidade e da clareza, buscando atingir o ideal artístico da beleza.” (TIMBÓ, 2000).

O primeiro objetivo da cartografia foi o de criar uma imagem das referências naturais úteis ao homem, ou seja, fornecer imagem dos rios, mares, montanhas, cidades, estradas, etc.

A cartografia passa por uma reformulação de conceitos e processos, tanto quanto pelo desenvolvimento tecnológico: computadores e equipamentos de automação, quanto pela definição filosófica, acrescentando às referências naturais uma multidão de fenômenos que o homem deve levar em conta quando da tomada de decisões, com o objetivo de entender e melhorar o mundo em que vivemos (BERTIN, 1993).

Dentre as várias classificações de mapas e documentos cartográficos, dois tipos se sobressaem:

- Mapas Básicos - de uso geral de localização e orientação, serve como base para localização de informações temáticas. Incluem mapas topográficos, cadastrais, geológicos, pedológicos, hidrográficos, cartas aeronáuticas, entre outras, ou seja, qualquer forma de representação cartográfica conforme o conceito clássico de cartografia.
- Mapas Temáticos - de uso específico, mostra o comportamento espacial de um tema ou fenômeno geográfico, mostra a relação que existe entre vários fenômenos e o comportamento dessa relação no espaço. Por exemplo, mapas de população, de

distribuição de renda, de uso do solo, de produtividade por área, de índices de desenvolvimento, entre outras.

Neste trabalho não serão utilizados os conceitos de cartografia básica, simplesmente serão empregadas bases cartográficas para atingir os objetivos partindo do princípio de que um mapa básico é essencialmente descritivo e geométrico.

Conceitos de cartografia temática partem do princípio de que um mapa temático é essencialmente analítico e explicativo, todo mapa temático tem um objetivo bem específico: uma mensagem a comunicar, além da localização um mapa temático procura demonstrar a existência de certo padrão de distribuição, ou certa tendência de ocupação do espaço, sendo que até a falta de tendências ou ocupações é uma mensagem do mapa.

#### **4. Material e Métodos**

O desenvolvimento do trabalho se deu com base na elaboração de um conjunto de mapas temáticos utilizando os dados das ETAs, cerâmicas, aterros na BH-PCJ, identificando os potenciais receptores do lodo de ETA e servindo de inventário completo com histórico para acompanhamento das análises.

Os pré-requisitos do SIG para o trabalho considerados foram:

- capacidade para coletar e processar dados espaciais obtidos a partir de fontes diversas, tais como: levantamentos de campo (incluindo o sistema GPS), mapas existentes, fotogrametria, sensoriamento remoto e outros;
- capacidade para armazenar, recuperar, atualizar e corrigir os dados processados de uma forma eficiente e dinâmica;
- capacidade para permitir manipulações à realização de procedimentos de análise dos dados armazenados, com possibilidade de executar diversas tarefas, tais como alterar a forma dos dados através de regras de agregação definidas pelo usuário, ou produzir estimativas de parâmetros e restrições para modelo de simulação e gerar informações rápidas a partir de questionamentos sobre os dados e suas interrelações. Os dados utilizados no SIG foram divididos em dois grandes grupos: i) dados gráficos, espaciais ou geográficos, que descrevem as características geográficas da superfície (forma e posição) e; ii) dados não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que descrevem os atributos destas características.
- capacidade para controlar a exibição e saída de dados em ambos os formatos, gráfico e tubular.

A diferença entre um mapa temático e outros mapas gerais é que o primeiro é essencialmente analítico e explicativo. Além da localização, o mapa temático procurou demonstrar a existência de certo padrão de distribuição, ou certa tendência de ocupação do espaço.

Através da espacialização das informações e dos mapas temáticos, foi possível determinar os potenciais receptores de lodo por diversos fatores como custo, distância e demanda das empresas e produção das ETA, para se visualizar uma solução ótima para disposição do lodo considerando os diversos fatores envolvidos como econômicos, ambientais, entre outros.

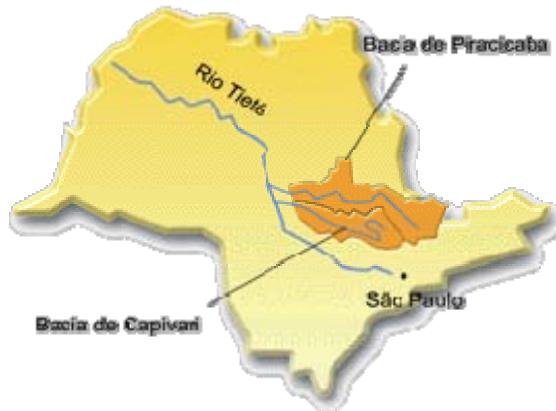
Com isso, esperou-se que esse sistema se tornasse uma ferramenta poderosa a qualquer um dos gestores para executar simulações e consultas, para analisar qual a melhor maneira de se fazer a gestão do resíduo de ETA e de ser um inventário espacializado com as informações dos geradores e potenciais receptores.

#### **4.1 Área de Estudo**

A área de estudo proposta no trabalho é a da unidade territorial abrangida pelas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Nesta área foram levantadas informações de ETAs, Cerâmicas e Aterros, com a finalidade de se montarem cenários considerando um número de entidades a serem comparadas e/ou analisadas de acordo com seu porte, i.e., pequeno, médio ou grande. A seguir é apresentado o mapa que caracteriza a localização da área de estudo no Brasil (Figura 5) e no Estado de São Paulo (Figura 6):



**Figura 5. Localização da Área de Estudo no Brasil.(CBH-PCJ 2006).**



**Figura 6. Localização da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba Capivari e Jundiaí no Estado de São Paulo (CBH-PCJ 2006).**

#### **4.2 Base Cartográfica**

Toda a base cartográfica utilizada para a geração dos mapas foi obtida da SANASA e com terceiros.

A Base Cartográfica foi composta pelos Limites de País, Limite de Estado, Limites de Municípios, Limites da Área de abrangência das BH-PCJ, pelas principais vias de acesso, sejam elas Rodovias, Ferrovias, Hidrovias e Trechos de Logradouros, lotes, quadras, entre outros, os objetos necessários para visualização e identificação das ETA, Cerâmicas e Aterros no mapa.

#### **4.3 Base de dados**

Nesta etapa, foram identificados e levantados os dados das entidades para compor a base. A base de dados utilizada é própria do software utilizado, onde os dados são armazenados e visualizados em forma de tabelas. As entidades e seus atributos inicialmente pretendidos eram:

**Tabela 7. Base de Dados – ETAs, Cerâmicas e Aterros Sanitários.**

<b>ETA – Estação de</b>		
<b>Tratamento de Água</b>	<b>Indústrias Cerâmicas</b>	<b>Aterros Sanitários</b>
Nome da ETA	Nome da Cerâmica	Nome do Aterro
Tipo de ETA	Posição Geográfica	Posição Geográfica
Endereço	Endereço	Endereço
Tipo do Logradouro	Tipo do Logradouro	Tipo do Logradouro
Nome do Logradouro	Nome do Logradouro	Nome do Logradouro
Número do Logradouro	Número do Logradouro	Número do Logradouro
Bairro	Bairro	Bairro
Cidade	Distrito	Distrito
Polímeros Utilizados	Cidade	Cidade
Coagulantes Utilizados	Capacidade de Absorção de	Capacidade de Disposição (t)
Vazão nominal (l/s)	Matéria-prima – Lodo (t/dia)	
Qualidade da água bruta	Produção de Cerâmicas por	
Turbidez	tipo de produto (Milheiro/dia)	
Cor	Consumo de argila	
Caracterização do Lodo	Se utiliza jazida própria	
considerando época de	Vida útil da jazida	
estiagem e chuvas	Características dos fornos	
Produção de Lodo (mg/l)	Controle de temperatura dos	
Massa do Lodo gerado (Kg/s)	fornos	
Densidade do Lodo gerado	Tipo de acesso	
(Kg/m <sup>3</sup> )		
Volume do Lodo gerado		
(m <sup>3</sup> /s)		
Contaminantes do Lodo (Ex.:		
Níquel, chumbo, etc.)		
Quantidade de Lodo gerado		
por dia (t/dia)		

Para o levantamento dos dados diretamente das companhias de saneamento foi feito o contato telefônico, eletrônico e, em alguns casos, presencial. Contudo, poucas informações dentre as solicitadas foram disponibilizadas dentro do cronograma, e somente da parte de algumas empresas. Paralela e complementarmente, foi feita a pesquisa em publicações e em páginas eletrônicas, tanto das próprias empresas, como do órgão ambiental, do comitê de bacias, entre outras.

Entretanto, considerando-se que o intuito do trabalho era de construir, testar e comprovar a utilidade do SIG como ferramenta de gestão por bacia hidrográfica dos resíduos de saneamento, e não de um projeto de engenharia aplicada, procurou-se contornar tal situação do modo a seguir exposto. Ressalva-se que a aplicação de fato, no futuro, irá requerer uma aferição para maior acurácia dos dados e, consequentemente, resultados mais precisos.

#### **4.4 Software Utilizado**

Existem hoje no mercado várias categorias de software SIG, onde cada uma foi desenvolvida para resolver um conjunto específico de problemas em Geoprocessamento. Cada um dos softwares tem seus pontos fortes e fracos, e não existem sistemas que atendam perfeitamente a todas as características de um SIG.

O software proposto para a execução deste trabalho é o *MapInfo Professional*, por dispor-se de uma grande quantidade de mapas e informações já neste formato e pelo sistema possuir uma grande variedade de recursos para criação de mapas temáticos, de maneira simplificada, possibilitando a visualização e análise dos dados (MAPINFO, 1995).

O MapInfo se enquadra na categoria de sistemas chamados *Desktop Mapping*. Estes sistemas não oferecem muitos recursos para edição e entrada de dados e nem são os mais adequados para gerenciar grandes volumes de dados, pois sua estrutura de arquivos é bastante simples. Mas o forte desta classe de aplicações está precisamente na facilidade de integração de dados de diversas fontes, além das excelentes facilidades para produção de mapas temáticos (MAPINFO, 1995).

É uma ferramenta de mapeamento eletrônico de ampla utilização, que permite a execução de análises geográficas complexas, como redistribuição de territórios, vinculação a dados remotos,

incorporação de objetos de mapa em suas aplicações, criação de mapas temáticos, entre outros. Tem suporte para tabelas ODBC, rotulação reprojetada, controle de níveis de mapas, suporta imagens raster, entre outras funcionalidades (MAPINFO, 1995).

Para ao tratamento e entrada de algumas informações no SIG foi utilizado o *Microsoft Excel*, visando facilitar o manuseio das informações para a extração de alguns resultados e consequentemente serem inseridos no SIG.

## **4.5 Etapas de Construção do SIG**

### **4.5.1 Composição do MUB**

A primeira etapa de processamento realizada foi a da composição do Mapa Urbano Básico (MUB), em que foram obtidos os dados referentes ao arruamento da área de estudo, como Limite da Bacia, Limites de Município, Rodovias, Trechos de Logradouros, Bairros, Hidrografias, entre outros.

Após a obtenção dos dados, foi feita a separação das informações em níveis distintos específicos, adotando nomes padronizados nos arquivos que compõem cada nível, para facilitar a administração dos arquivos de dados.

### **4.5.2 Levantamento dos Dados**

Esta etapa consistiu em levantar a maioria de dados possíveis dos geradores de resíduos (ETAs) e dos possíveis receptores (Cerâmicas e Aterros). Foram levantados pelo menos um gerador e receptor de cada porte (exceto o aterro que só foi considerado um), ou seja, um grande, um médio e um pequeno, visando facilitar a montagem de cenários e a de identificar padrões de comportamento pelo porte.

Foram levantadas todas as informações necessárias para a quantificação de resíduos gerados, como vazão nominal, dosagens médias de coagulantes e outros produtos e dados de qualidade da água bruta, para poder estimar a quantidade teórica de lodo gerada em cada uma das ETAs levantadas, além das informações geográficas que interferem diretamente no custo de transporte do lodo.

Os possíveis receptores também foram levantados, para se conseguir identificar pelas características do lodo, quantidade e distância quais deles eram “candidatos ótimos”.

Para localização da ETA, isto é, suas coordenadas geográficas, quando a informação não estava disponível, foi admitida que a mesma estava localizada junto à captação, utilizando-se os dados obtidos do mapa esquemático do Comitê de Bacias (CBH-PCJ 2006). As vazões captadas nas ETAs foram obtidas no Anexo-V - Resultados dos parâmetros e indicadores de qualidade das águas, do Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2007 (CETESB , 2008).

Para estimativa da quantidade de lodo desaguado, foram utilizadas as equações empíricas. A massa específica dos sólidos foi adotada igual a 1.500 kg/m<sup>3</sup>, a eficiência de remoção de sólidos do decantador de 90%, a relação entre o valor de turbidez e de sólidos totais  $k_1$  igual a 1,3 e coeficiente estequiométrico na formação do precipitado de hidróxido de alumínio igual a 0,23 [para  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3\text{H}_2\text{O}$ ], de acordo com a literatura (REALI, 1999; RICHTER, 2001) . O teor de sólidos do lodo desaguado foi adotado igual a 30%, valor mínimo exigido para recebimento em aterro sanitário. O mesmo valor foi adotado para transporte às cerâmicas. Admitiu-se que a eficiência de captura de sólidos no sistema de tratamento de lodo é de 100%. A massa específica do lodo assim desaguado resulta em 1.090 kg/m<sup>3</sup>.

A seguir, é apresentado um exemplo numérico quanto à estimativa da quantidade de lodo desaguado a 30% gerado em uma ETA cuja vazão tratada é de 934 L/s, turbidez de 91,8 UT, dosagem de sulfato de alumínio de 50 mg/L.

Foi utilizada a fórmula empírica de CORMWELL que não considera a Cor da água. O ideal é que as ETAs façam análise de sólidos em pelo menos um ano hidrológico.

Exemplo da ETA de Limeira:

- Massa de sólidos secos por volume de água (CORNWELL):

$$P = (0,44 \times AS + 1,5 \times T + A) \times 10^{-3}$$

$$P = (0,44 \times 50 + 1,5 \times 91,8 + 0) \times 10^{-3}$$

$$P = 159,70 \text{ Kg/1000m}^3 \text{ ou } 0,1597 \text{ Kg/m}^3$$

Onde:

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / 1000 m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

AS – dosagem de sulfato de alumínio (mg/L) → adotada dosagem média de **50** mg/L

T – turbidez da água bruta (UT) → adotada turbidez média da água de **91,8** UT

A – outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

$$W = 86400 \times P \times K1 \times Q$$

$$W = 86400 \times 0,1597 \times 0,90 \times 0,934$$

$$W = 11598,67 \text{ Kg/dia} \text{ ou } 11,60 \text{ t/dia}$$

Onde:

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

P – produção de sólidos (kg de matéria seca / 1000 m<sup>3</sup> de água bruta tratada)

K1 – eficiência de remoção de sólidos do decantador de 90% (adotado)

Q – vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/ s) → Vazão captada de **0,934** m<sup>3</sup>/ s

- Massa de lodo por dia (RICHTER,2001):

$$ML = W / C$$

$$ML = 11598,67 / 0,30$$

$$ML = 38662,22 \text{ Kg/dia} \text{ ou } 38,66 \text{ t/dia}$$

Onde:

ML – Massa de lodo úmido por dia (kg/dia)

C – teor de sólidos de lodo desaguado → 0,30

No que se refere à quantidade de sólidos em suspensão, esta foi estimada indiretamente a partir dos valores de turbidez indicados nos relatório de qualidade da água de 2007 (CETESB, 2008) para todas as captações de água para fins de abastecimento público da BH-PCJ. Foram tomados os valores máximo (período de chuva), mínimo (período de estiagem) e também calculado o valor médio anual considerando-se todos os dados de cada local.

No que se refere ao coagulante, tomou-se como base o sulfato de alumínio, com dosagens mínima, média e máxima de 10, 50 e 100 mg/L em associação aos valores reais de turbidez mínimo, médio e máximo, respectivamente. Tais valores de dosagem foram adotados com base em dados reais fornecidos por algumas empresas e corroborados pela literatura técnico-científica para região de coagulação na varredura, indicada quando se tem ETA de ciclo completo, com decantação (DI BERNARDO, 2002).

Esta situação hipotética serve ao propósito da presente pesquisa, mesmo que o resultado obtido em cada cenário possa ser diferente - e certamente o será - ao se aferir os dados com levantamentos de campo e medições da quantidade de lodo efetivamente gerado em cada estação. Entretanto, é importante destacar que, conceitualmente, a dosagem ótima de coagulação varia de ETA para ETA com a qualidade da água de cada manancial, em função de características tais como turbidez, cor verdadeira ou carbono orgânico dissolvido, alcalinidade e pH, sendo específica de cada estação de tratamento e de cada período do ano. De fato, a maioria esmagadora das companhias de saneamento não dispõe desse tipo de levantamento quantitativo e qualitativo do lodo, que deverá incluir as variações sazonais.

Ressalva-se que outros coagulantes, tais como cloreto férrico, sulfato férrico, cloreto de polialumínio, e outros são bastante utilizados, com base em estudos de tratabilidade, em que se avaliam custo e eficiência entre os diversos produtos disponíveis no mercado. Tais coagulantes teriam, na equação empírica utilizada, coeficientes estequiométricos próprios, resultando em quantidades diferentes, em massa (de fato, maiores que aquelas obtidas para sulfato de alumínio, se considerada a mesma dosagem).

Do ponto de vista do uso benéfico proposto, qual seja, a incorporação na massa cerâmica em substituição parcial da argila, tanto os lodos à base de hidróxido de alumínio quanto de hidróxido de ferro mostraram-se, nos estudos da literatura, igualmente apropriados. Admitiu-se, para efeito de cálculo, a aplicação de 5% de lodo na massa cerâmica (relação mássica de 1:95). Isto baseado no estudo de NOVAES (2005) que comprovou a viabilidade da incorporação de 10,7% de lodo desaguado e secado naturalmente em leito atingindo 55% de sólidos. Ressalva-se que, para o estudo de outras destinações, esta simplificação, isto é, de admitir-se o sulfato de alumínio como coagulante em todas as ETA, não é válida, pois pode não atender aos requisitos técnicos, econômicos ou ambientais do uso

pretendido. Isto ocorre, por exemplo, para a aplicação em determinadas culturas para as quais o alumínio é tóxico e o ferro é benéfico, a siderurgia do aço, do alumínio, entre outras.

As indústrias cerâmicas consideradas foram aquelas levantadas por ISAAC e MORITA (2004). Esta base também deverá, no futuro, ser ampliada com os outros pólos cerâmicos existentes nas bacias hidrográficas estudadas, quando se parte da premissa de gestão de resíduos por bacia, ou mesmo com outras unidades industriais da região ou do estado.

Uma vez comprovada a eficácia do SIG, pretende-se no futuro, como desdobramento deste trabalho: inserir informações mais precisas quanto à localização de cada ETA e da caracterização e quantificação do lodo aí gerado; incluir as outras unidades de geração de resíduos das companhias de saneamento, quais sejam, as ETE; e ampliar a base com os diversos potenciais usuários.

#### **4.5.3 Organização e Georeferenciamento dos dados**

Esta foi uma das etapas mais trabalhosas, pois foi nessa etapa que se cruzaram os dados levantados de endereço e coordenadas geográficas das ETA, Aterros Sanitários e Cerâmicas, com os dados que compõem a base cartográfica contendo as vias de acesso, a qual foi montada, cadastrada e atualizada por empresas e pessoas diferentes, e com finalidades distintas.

A ferramenta MapInfo oferece três opções de Geocodificação, a manual, onde o usuário informa a coordenada geográfica a ser inserido o objeto, a Automática onde geocodifica o objeto de acordo com o endereço cadastrado, e a interativa, que necessita de intervenção do usuário para escolher a localização mais correta. O sucesso na geocodificação que determina a necessidade ou não de ser realizado um levantamento em campo para a coleta das coordenadas geográficas dos geradores e receptores do lodo. A precisão no georeferenciamento dos dados também norteia a precisão das medidas de distância e, consequentemente, os custos relativos estimados.

#### **4.5.4 Visualização das Informações Espacializadas**

Após toda a geocodificação das informações, foi possível a visualização dos geradores e receptores de lodo no mapa, possibilitando a análise dos dados georeferenciados, detalhado na próxima etapa.

#### **4.5.5 Análise dos Dados**

Nesta etapa, foram analisadas as informações de espacialização dos dados já inseridos na Base de Dados do sistema MapInfo como as características cadastradas em cada objeto, para a execução da próxima etapa, a montagem dos cenários possíveis. Desta análise verificou-se a existência de informações necessárias na elaboração de cenários de estudo, sendo que, na ausência de informações, retornava-se para o passo indicado no item 4.3.1 e retomava-se a seqüência até que os dados fossem suficientes para se passar para a próxima etapa.

#### **4.5.6 Criação de Mapas Temáticos e Cenários**

A partir da análise dos dados foi possível fazer a identificação de padrões na sua distribuição possibilitando, assim, a criação de mapas temáticos e cenários que em conjunto com a espacialização dos dados, poderão auxiliar o(s) gestor(es) na tomada de decisões, além de ser uma ferramenta importante para aprendizagem para todos os que trabalham com o lodo.

Foram criados vários mapas temáticos e cenários para gestores, sejam eles da bacia hidrográfica, das companhias de saneamento, das indústrias cerâmicas e até mesmo dos aterros sanitários, visualizando-se as informações do ponto de vista de cada um, dando subsídios para decisões de onde dispor de melhor forma o resíduo, considerando as épocas de estiagem e chuvas, o porte de ETA, dosagem de coagulante, tipos de potenciais receptores, compatibilidade produção e recepção, entre outros.

## **5. Resultados e Discussão**

Diante da necessidade de se obter uma ferramenta capaz de viabilizar análise de dados espaciais, cumpriu-se as etapas propostas na metodologia. Isso permitiu a realização de várias simulações, que permitirão aos diferentes gestores a visualização de vários cenários possíveis no processo de tomada de decisão.

Para a preparação e elaboração do MUB foi utilizada a base cartográfica com as entidades que a compõem, como a divisões por Estados, conforme Figura (7), limite da área de abrangência das Bacias Hidrográficas do PCJ (Figura 8), localização de rios e córregos (Figura 9), os municípios que compõem a área da Bacia (Figura 10), as principais vias de acesso rodoviário (Figura 11) e Arruamentos, Ferrovias e Hidrovias (Figura 12).

Todos estes mapas passam a compor a base cartográfica e a servir de inventário espacial, onde foram importados para o MapInfo de forma estruturada, renomeando-se os *layers* (camadas) de maneira a ficarem padronizados. Alguns mapas foram convertidos de outros formatos (DWG - AutoCAD) para a utilização na ferramenta. E alguns dados tiveram que ser digitalizados para atualização da Base. As entidades foram inseridas de acordo com sua posição geográfica, seja ela referencial ou absoluta.

# **MAPA DO BRASIL**

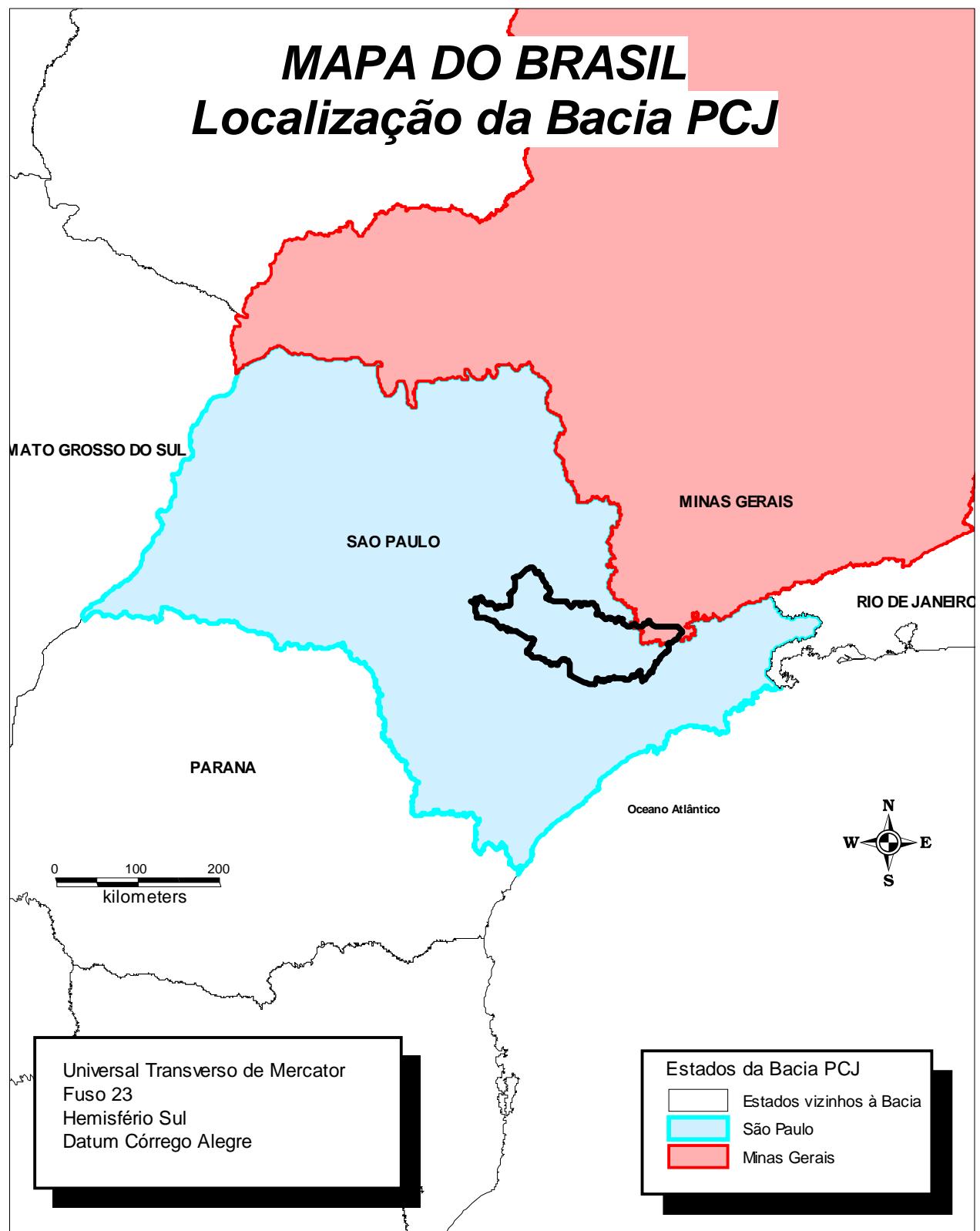
## **Localização da Bacia PCJ**



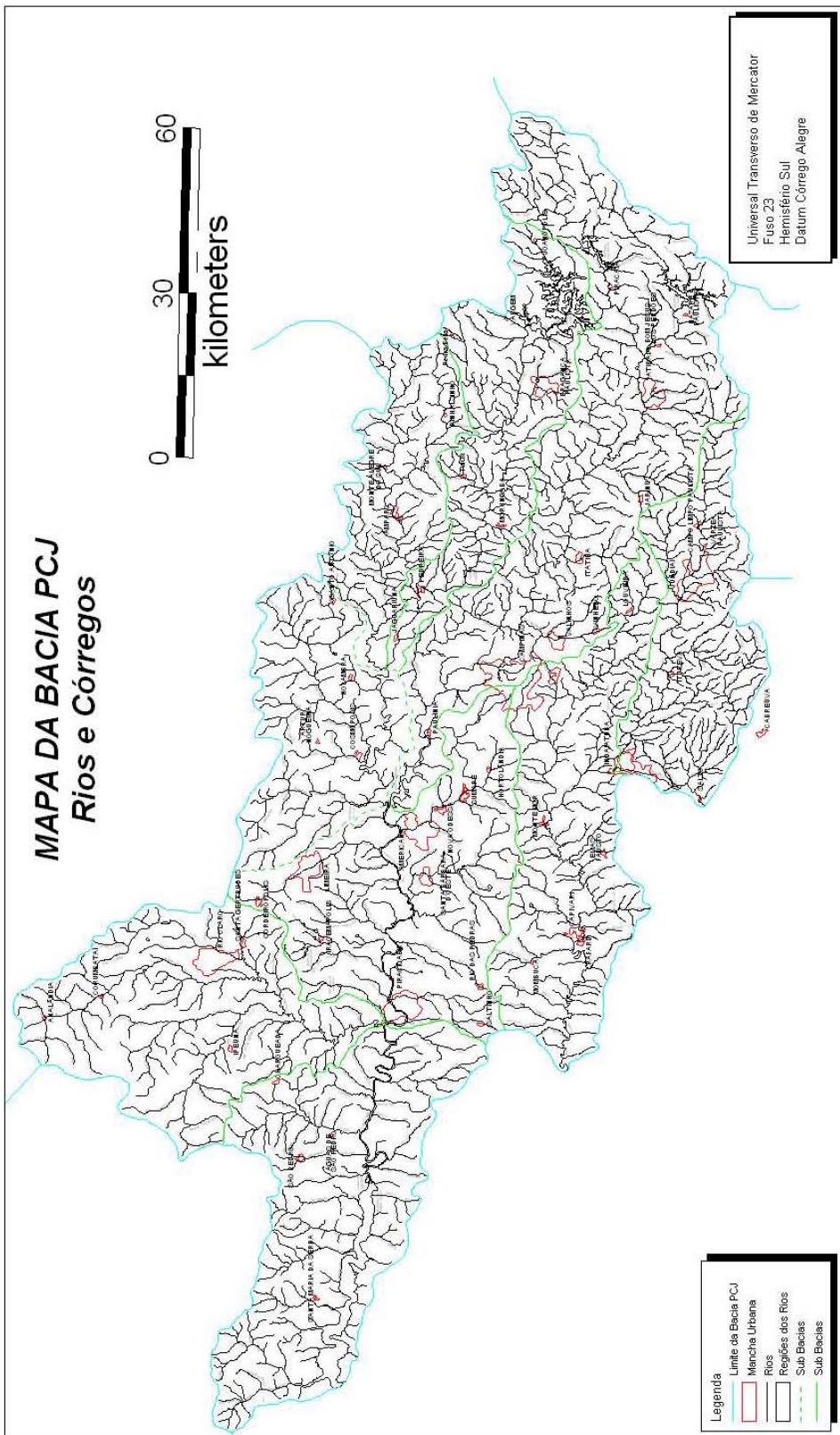
**Figura 7. Cartografia com as divisões por Estados.**

# **MAPA DO BRASIL**

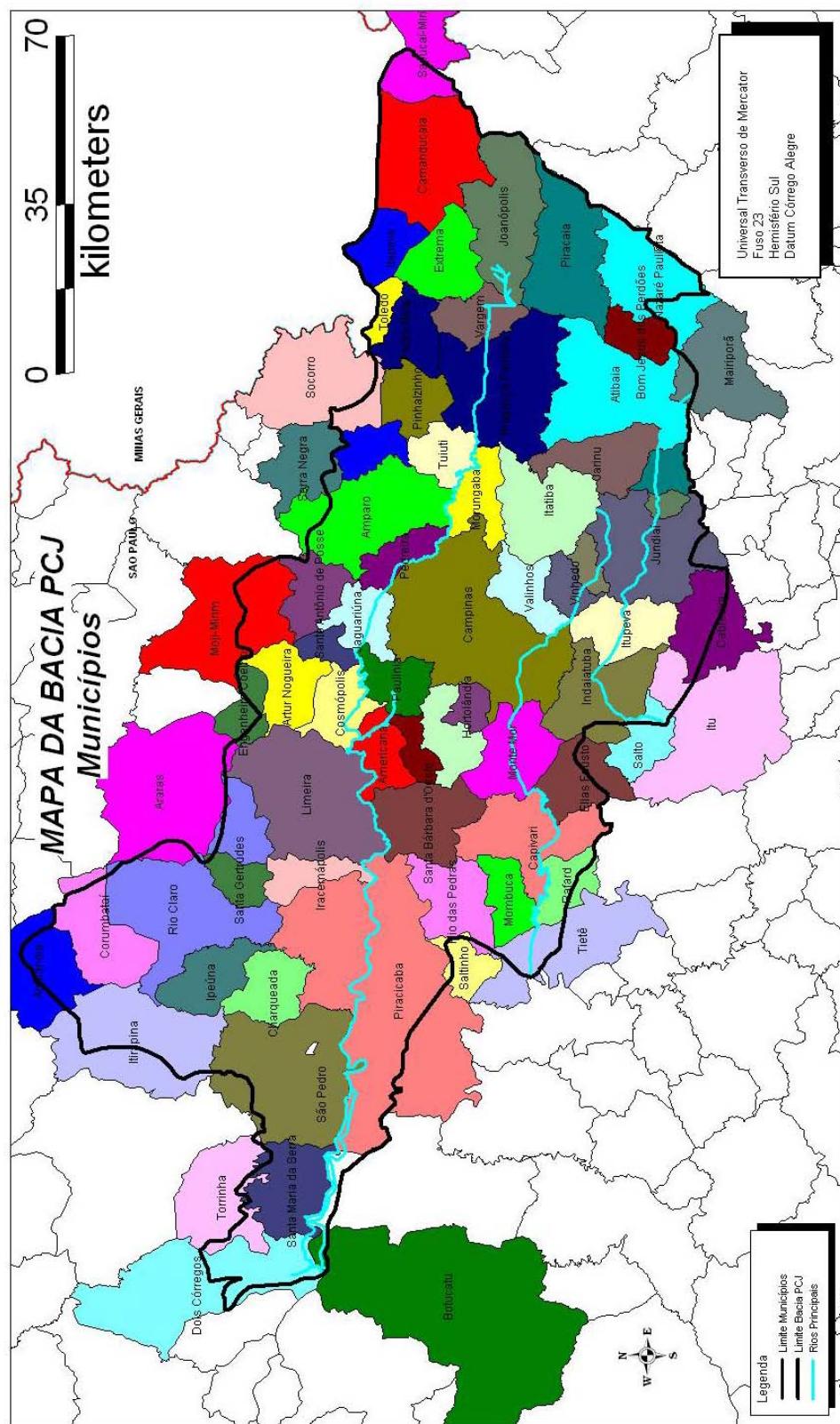
## **Localização da Bacia PCJ**



**Figura 8. Limite da Área de Abrangência da Bacia PCJ.**



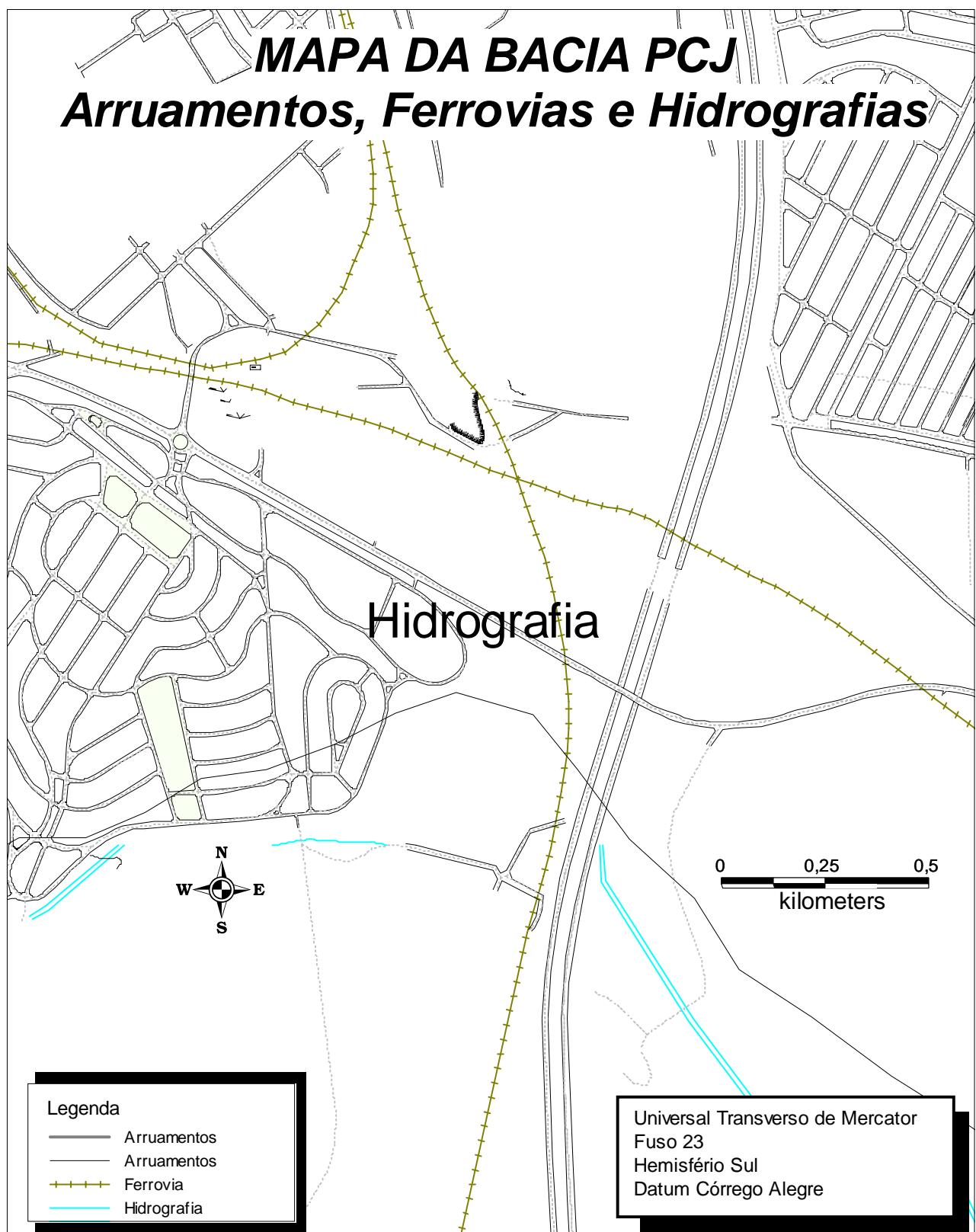
**Figura 9.** Localização de Rios e Córregos da Bacia PCJ.



**Figura 10. Localização dos Municípios da Bacia PCJ.**



**Figura 11. Principais vias de acesso Rodoviário.**

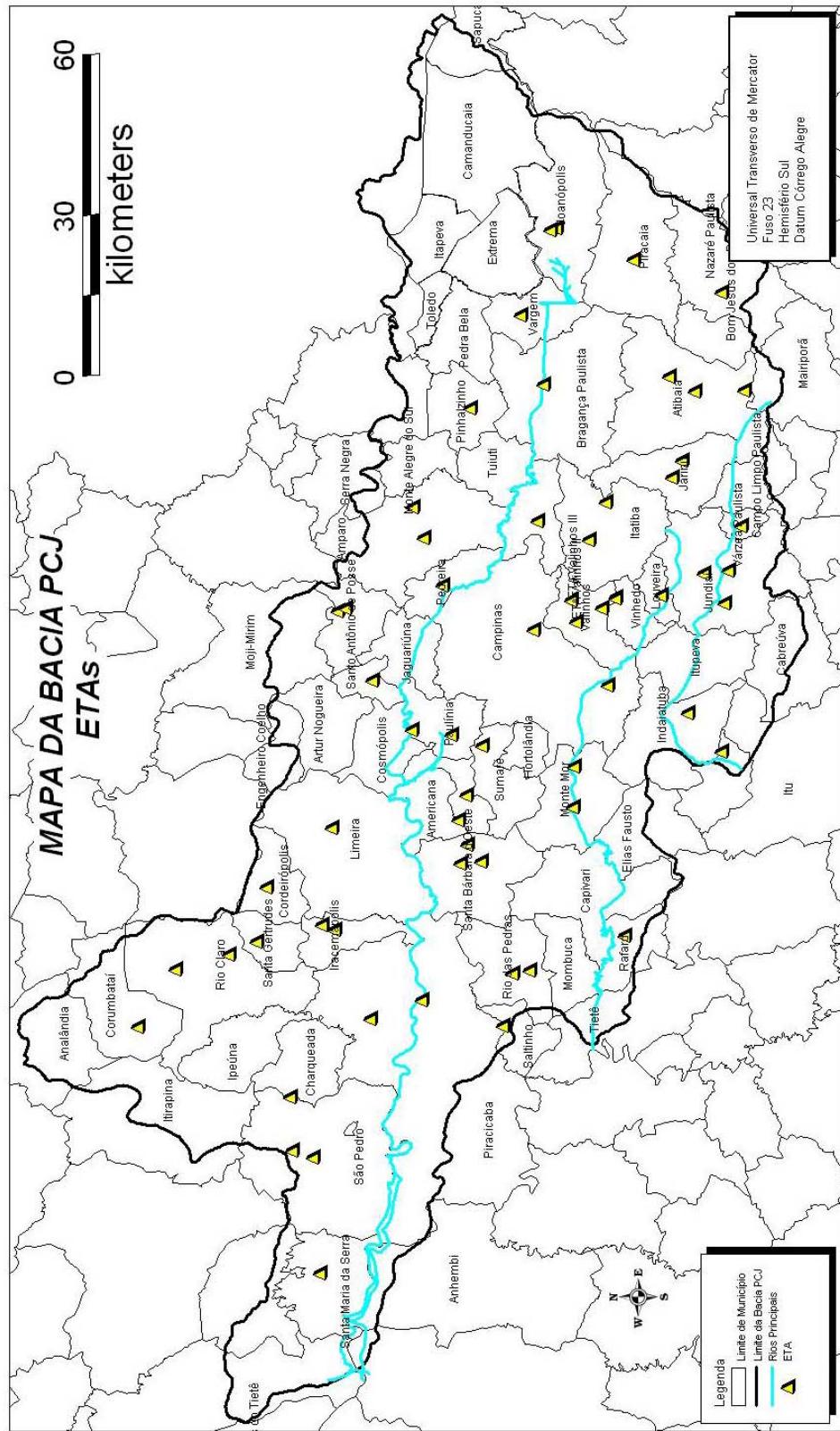


**Figura 12. Arruamentos, Ferrovias e Hidrografias.**

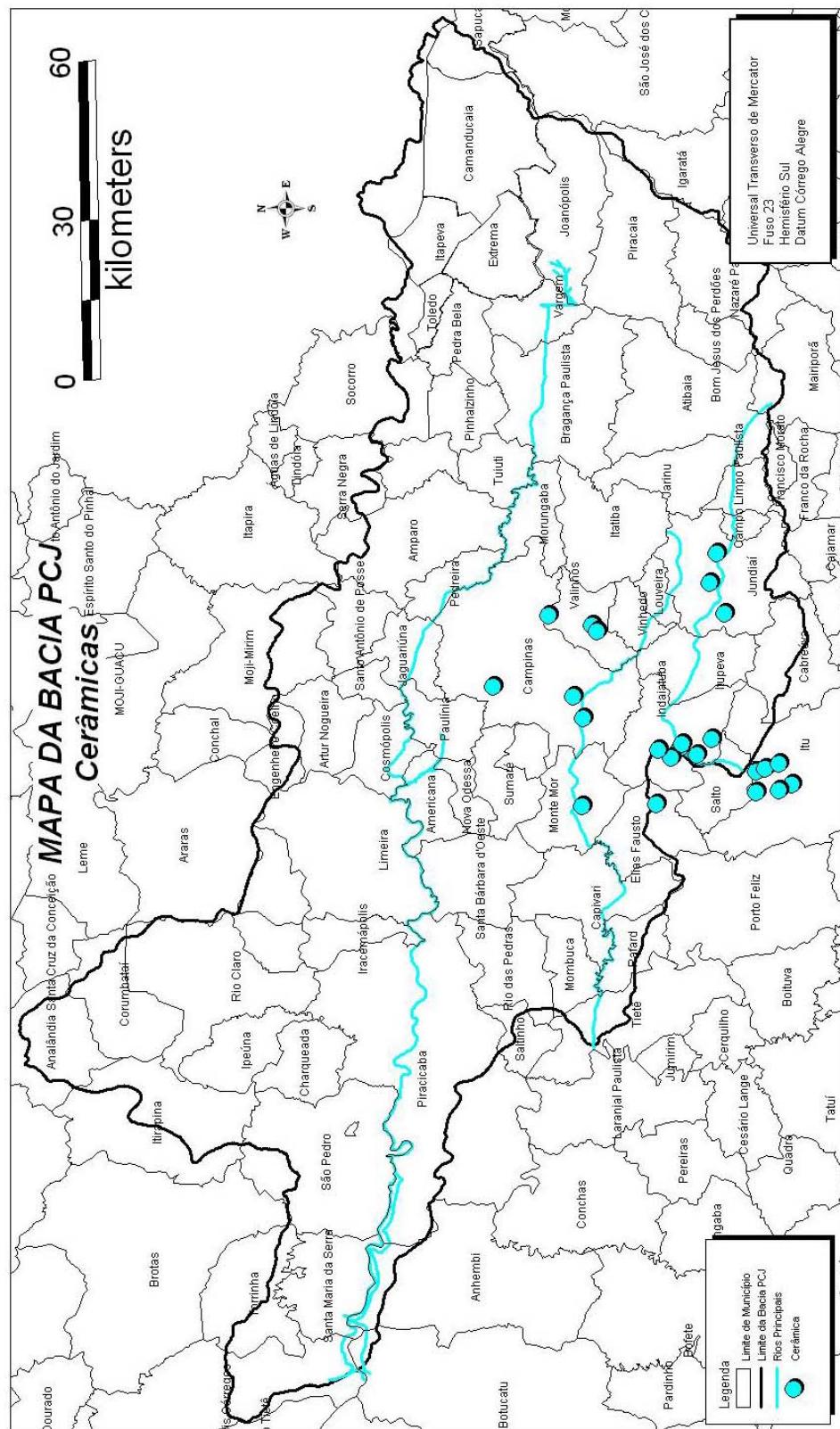
Após a elaboração do MUB, foram inseridas as entidades que compõem a base de dados: ETA (Figura 13), Cerâmicas (Figura 14) e Aterros (Figura 15). A Figura 16 apresenta um mapa com todas as entidades inseridas.

Na criação de cada entidade, foram definidas as variáveis (atributos/características) que precisaram ser registradas para futuras consultas e análises, e sua simbologia. Estas variáveis puderam ser inseridas em forma de tabela individualmente (Figuras 17, 18 e 19) ou em conjunto (Figura 20).

Após inserção e a análise dos dados, foi possível fazer a identificação de padrões na sua distribuição, possibilitando assim a criação de cenários que em conjunto com a espacialização, auxiliam na tomada de decisões.



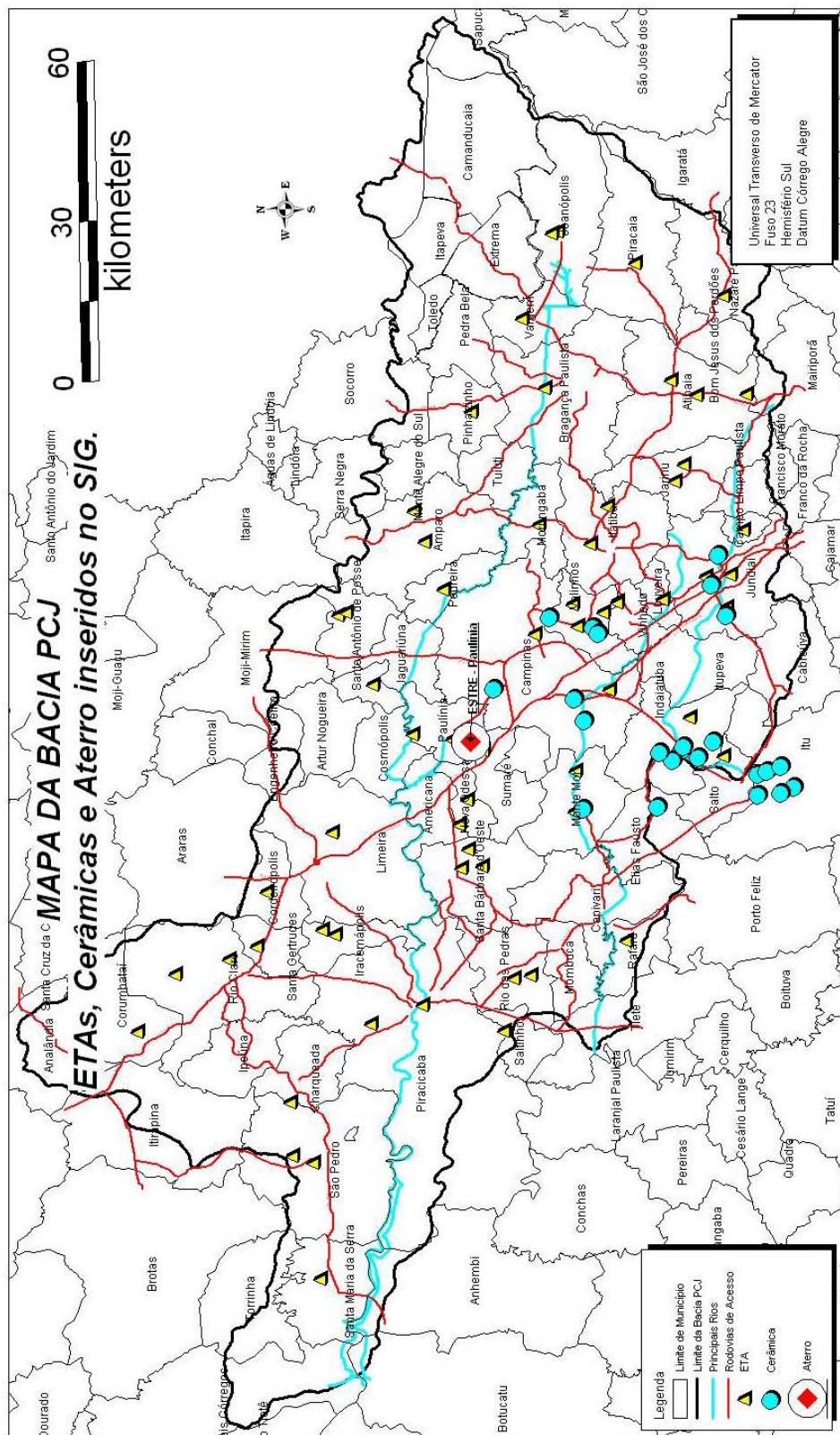
**Figura 13. ETA inseridas no SIG.**



**Figura 14.** Cerâmicas inseridas no SIG.



Figura 15. Aterros inseridos no SIG.



**Figura 16. ETA, Cerâmicas e Aterro inseridos no SIG.**

Ferramenta Info	
Nome_ETA:	ETA Limeira
Municipio:	Limeira
Vazao_m3_s:	0,934
Turbidez_C_uT:	302,0
Turbidez_E_uT:	22,3
Turbidez_M_uT:	91,8
Sulf_Alum_C_mg_L:	100,00
Sulf_Alum_E_mg_L:	10,00
Sulf_Alum_M_mg_L:	50,00
Quan_Lodo_Seco_C:	476,00
Quan_Lodo_Seco_E:	35,75
Quan_Lodo_Seco_M:	149,20
Quan_LodoC_ton_dia:	115,23
Quan_LodoE_ton_dia:	8,64
Quan_LodoM_ton_dia:	36,12
Quan_LodoC_ton_mes:	3.456,90
Quan_LodoE_ton_mes:	259,20
Quan_LodoM_ton_mes:	1.083,60
Quan_LodoC_ton_ano:	41.482,80
Quan_LodoE_ton_ano:	3.110,40
Quan_LodoM_ton_ano:	13.003,20
Codigo_CAP:	TATU04850

**Figura 17. Dados da ETA cadastrados no SIG.**

Ferramenta Info	
NOME_ATERRO:	ESTRE - Paulínia
Endereço:	
Bairro:	
Cidade:	Paulínia
Área_m2:	705.000,00
Area_Utilizada_m2:	105.000,00
Capacidade_Disposicao_m2:	500.000,00
Vida_Util_Anos:	20
Custo_Disposicao_Lodo_R\$:	121,43

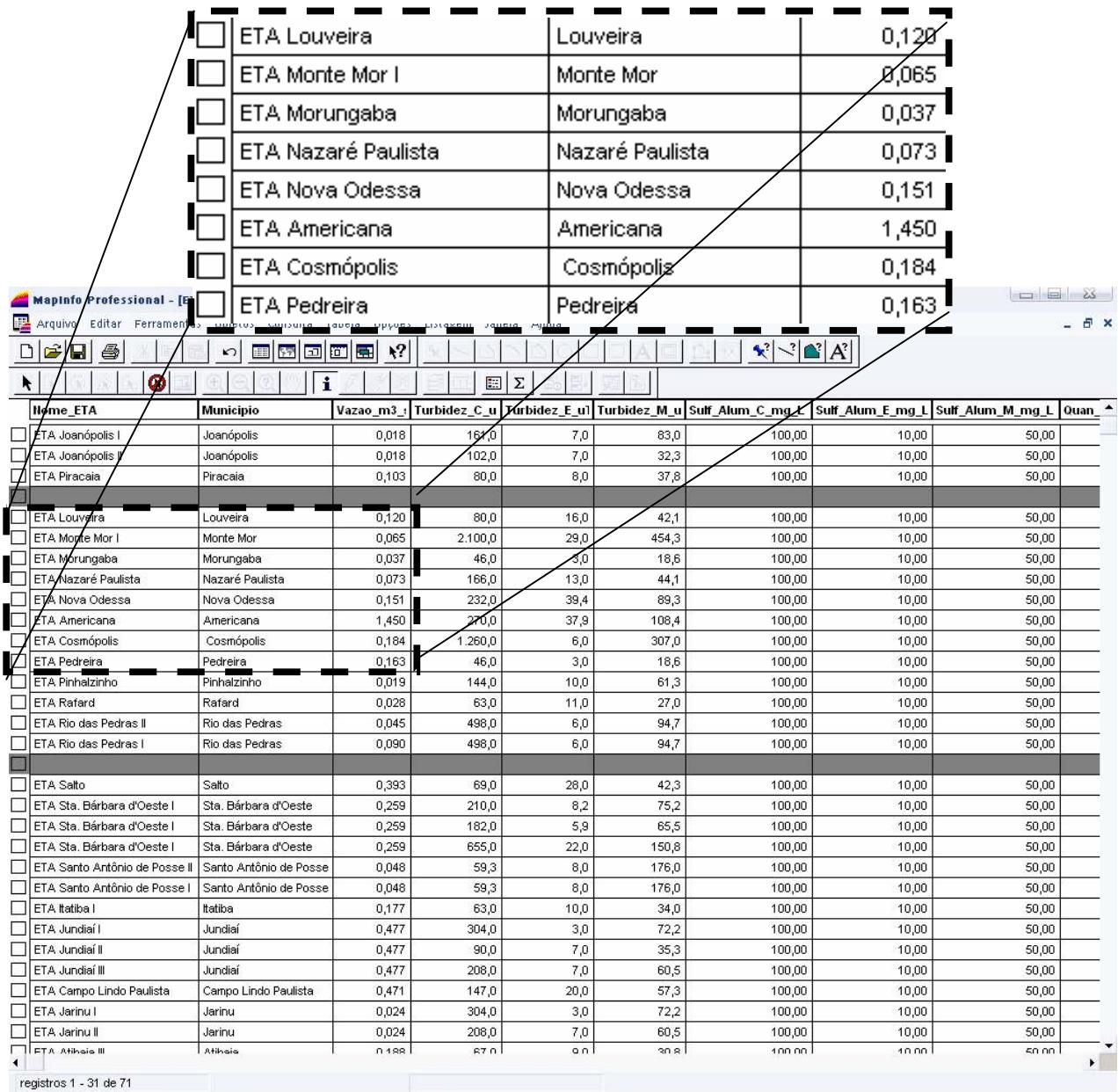
**Figura 18. Dados do Aterro cadastrados no SIG.**

**Ferramenta Info**

Nome_Ceramica:	Gianfrancisco
Endereço:	Av. Rui Rodrigues s/nº,
Bairro:	Santa Lúcia
Ponto_Refencia:	Jazida própria: Regi
Cidade:	Campinas
Tempo_Funcionamento_Anos:	53
Consumo_Argila_Ton_Dia:	133,33
Consumo_Argila_Ton_Mes:	4.000,00
Jazida_Própria:	T
Jazida_Fora_Cidade:	T
Dist_Jazida_Km:	25,00
Vida_Util_Anos:	40
Quant_Blocos_Mes:	1.900.000
Interessa_Receber_Lodo:	Sim
Cap_Recepcao_Lodo_Ton_Dia:	6,67
Cap_Recepcao_Lodo_Ton_Mes:	200,10
Cap_Recepcao_Lodo_Ton_Ano:	2.401,20
Custo_Argila_Ton:	0,00
Proprietário:	Carlos Alberto Gianfrancisco.
CEP:	13001970
Fax:	(019) 32234318
Telefone:	(019) 32234318
e_mail:	cerâmica@gianfrancisco.com.br
Site_Ceramica:	
Tipo_Forno:	Lenha

>> 
CERAMICAS

**Figura 19. Dados da Cerâmica cadastrados no SIG.**



**Figura 20.** Variáveis inseridas em conjunto.

## 5.1 Identificação de Padrões

Após todas as etapas do processo de composição da base, foi possível fazer a identificação de padrões através da geração de mapas temáticos.

Os mapas temáticos mostram a simulação de cenários distintos entre as variáveis das entidades pré-escolhidas para análise. A elaboração dos cenários também fica por conta de análises subjetivas do gestor e através destes cenários foi possível estabelecer critérios para a tomada de decisão que serão adotados pelo mesmo.

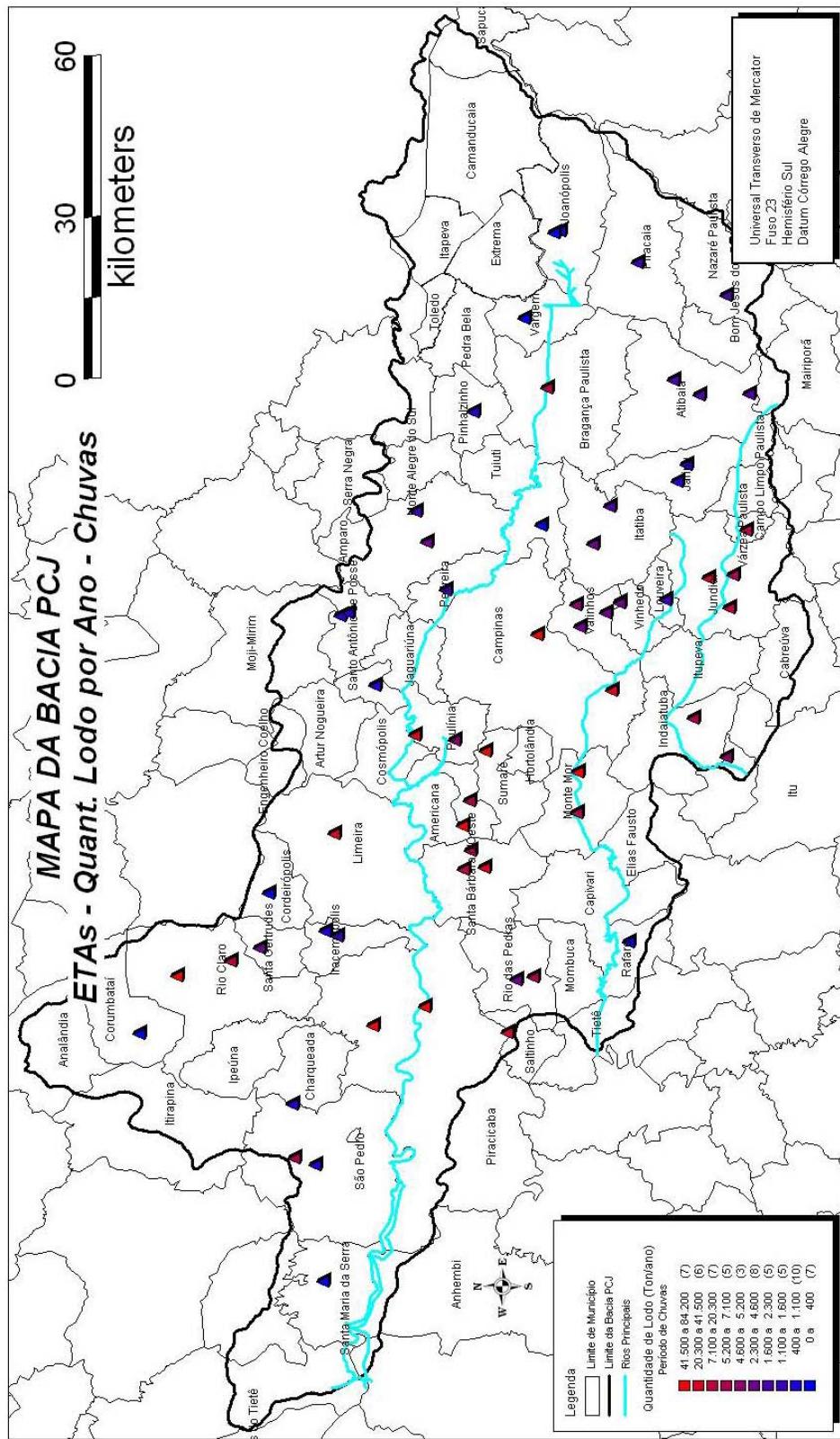
## **5.2 Mapas Temáticos e Cenários Gerados**

Alguns mapas temáticos e cenários foram gerados de forma a tentar dispor de maneira padronizada as variáveis de cada entidade, considerando as necessidades de cada gestor, sejam eles o da Bacia PCJ, das empresas de Saneamento, das Cerâmicas e Aterros.

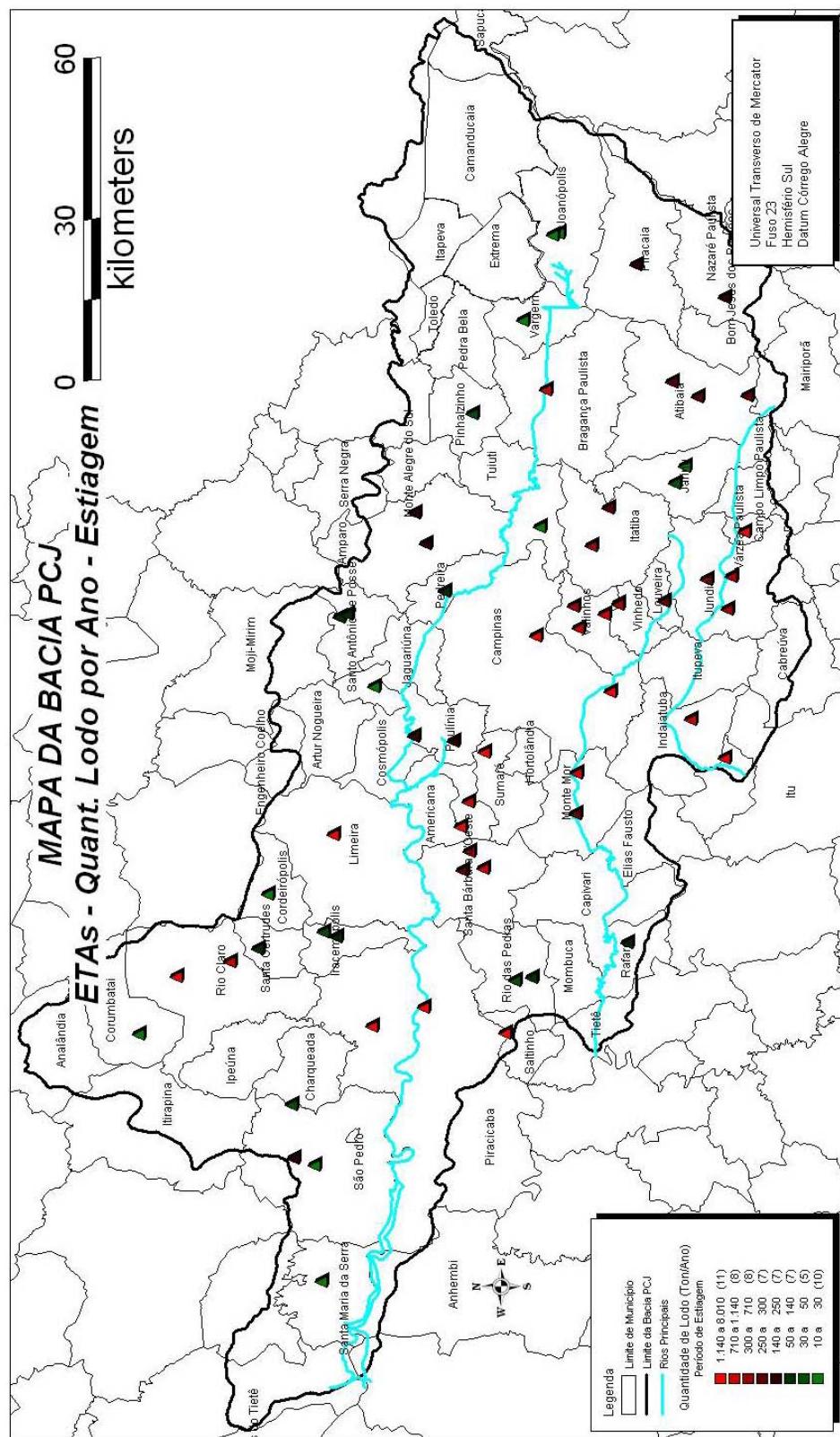
### **Mapa Temático 1 – Visualização das capacidades de geração de lodo das ETAs e características**

Estes mapas temáticos possibilitam ao gestor a visualização das capacidades de geração de lodo anual de cada ETA da Bacia nas épocas de chuva (Figura 21), estiagem (Figura 22) e a média (Figura 23). Com isso é possível visualizar e analisar a capacidade de geração de cada ETA nos municípios identificando espacialmente a localização de cada uma e possibilitando a identificação de “Polos” geradores de lodo.

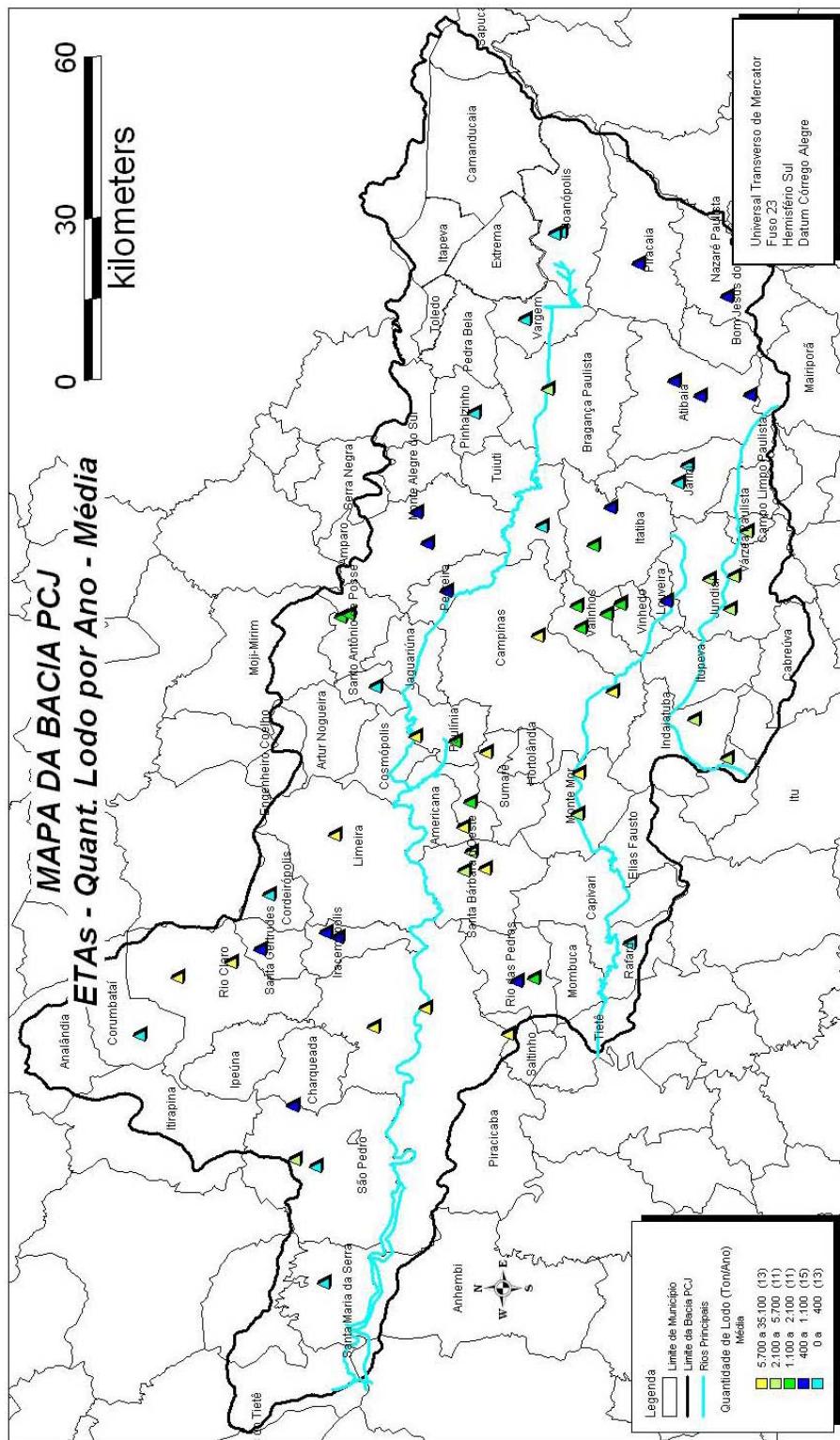
A Figura 24 apresenta em forma de gráfico de pizzas com as capacidades de lodo geradas em épocas de chuvas, estiagem e a média anual. Com isso é possível visualizar as informações em conjunto e tentar identificar padrões de comportamento de cada ETA quanto à geração de lodos.



**Figura 21. ETA – Quant. Lodo por Ano – Chuvas.**



**Figura 22. ETA – Quant. Lodo por Ano – Estiagem.**



**Figura 23. ETA – Quant. Lodo por Ano – Média.**

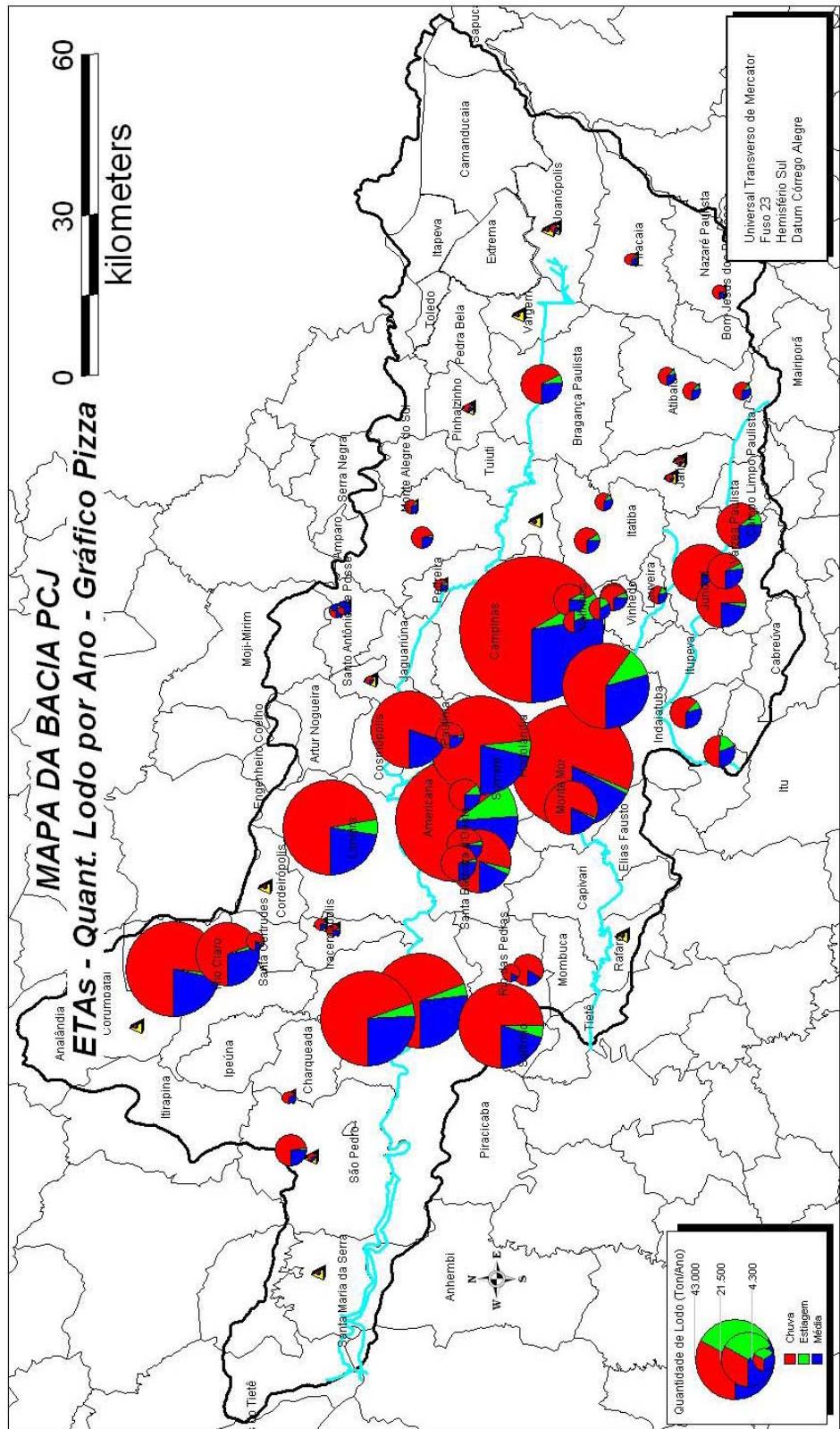
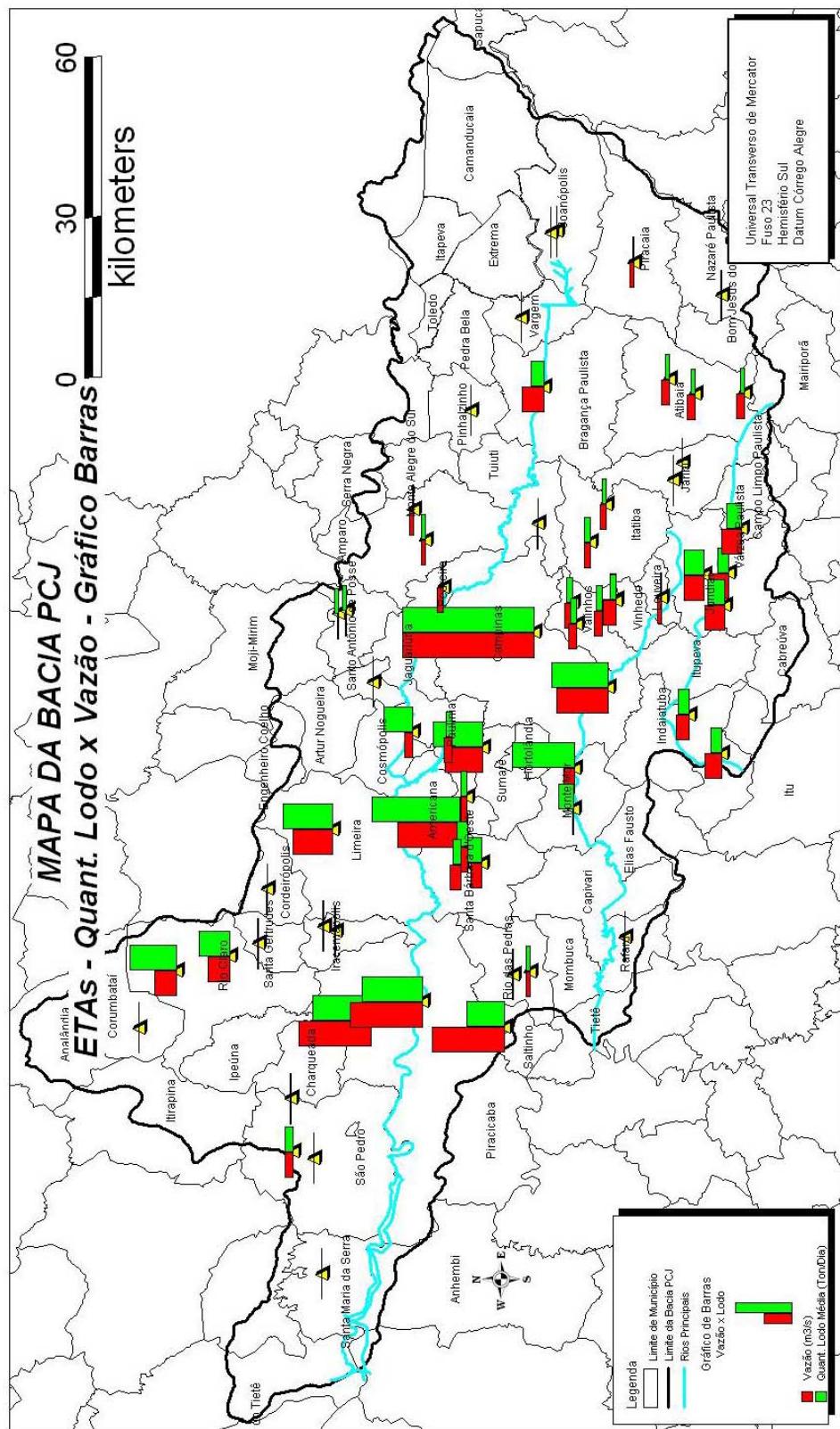


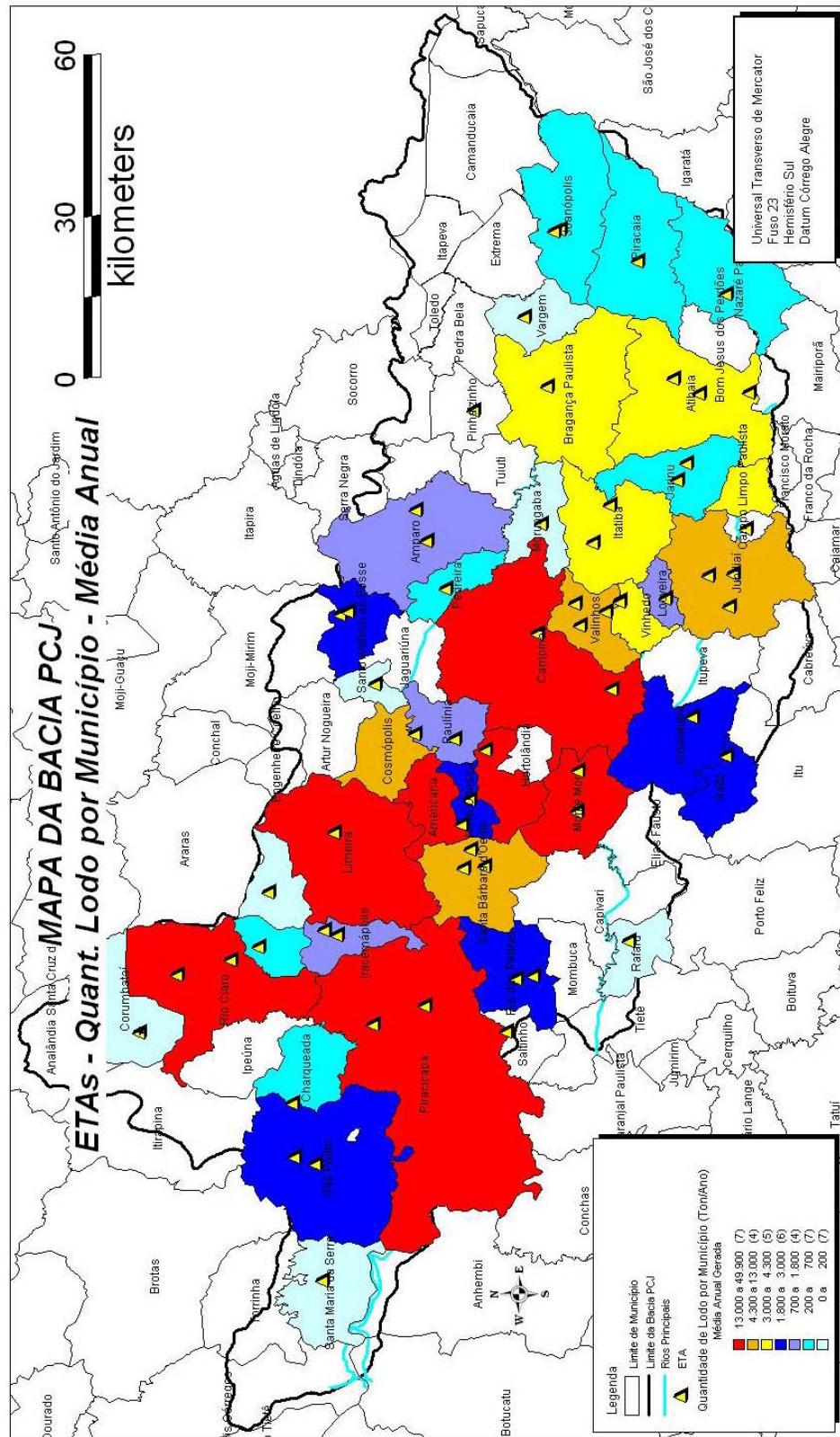
Figura 24. ETA - Quant. Lodo por Ano – Gráfico Pizza.

A Figura 25 apresenta uma relação entre a quantidade de água captada (Vazão) e quantidade média de lodo gerado, possibilitando a visualização e análise da produção de lodo versus a quantidade captada. Com isto se consegue inferir o impacto do tratamento considerando-se a quantidade captada e a qualidade da água bruta de cada ETA.

A Figura 26 apresenta a capacidade de geração média de lodo por ano em cada município, possibilitando ao gestor a visualização das quantidades de lodos gerados por faixas de valores. Esses valores são coletados pelo SIG de todas as ETAs que estão inseridas dentro do limite de cada município. Com isso, o gestor pode facilmente identificar as regiões na bacia onde tem uma grande quantidade de lodo a ser tratado, e com isso tomar as devidas ações.



**Figura 25. ETA – Quant. Lodo x Vazão – Gráfico Barras.**



**Figura 26. ETA – Quant. Lodo por Município – Média Anual Gerada.**

## **Mapa Temático 2 – Visualização das capacidades de recepção de lodo das Cerâmicas e características**

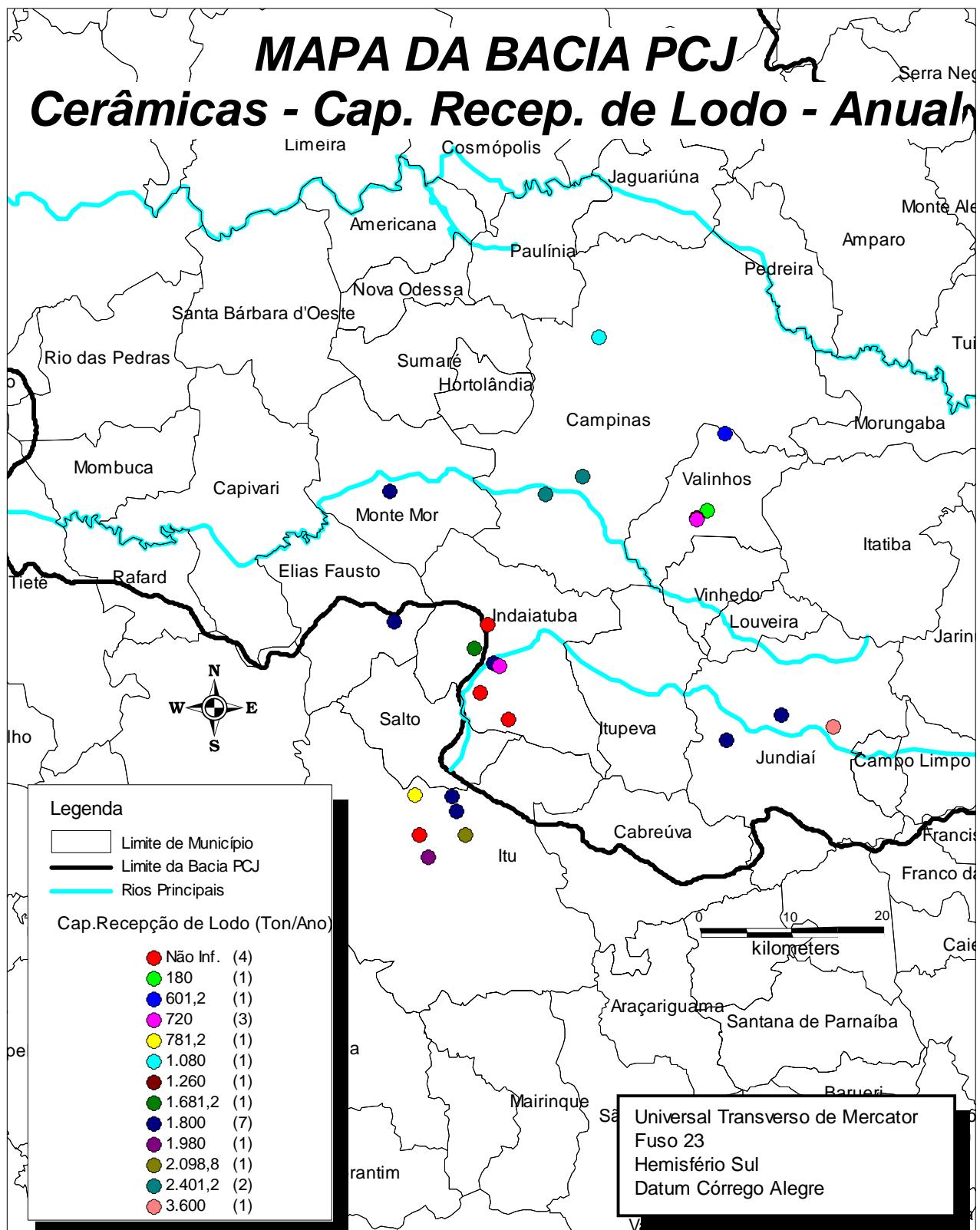
Estes mapas temáticos possibilitam aos gestores a visualização das capacidades de recepção de lodo anual de cada ETA da Bacia (Figura 27), considerando a utilização do lodo na proporção mássica de 5% da matéria-prima utilizada (argila). Com isso é possível visualizar e analisar a capacidade de recepção de lodo de ETA nas cerâmicas e identificar espacialmente a localização de cada uma.

A Figura 28 apresenta agrupado por município a quantidade de recepção anual de lodo, possibilitando a identificação de “Polos” receptores de grandes e pequenas quantidades de lodo.

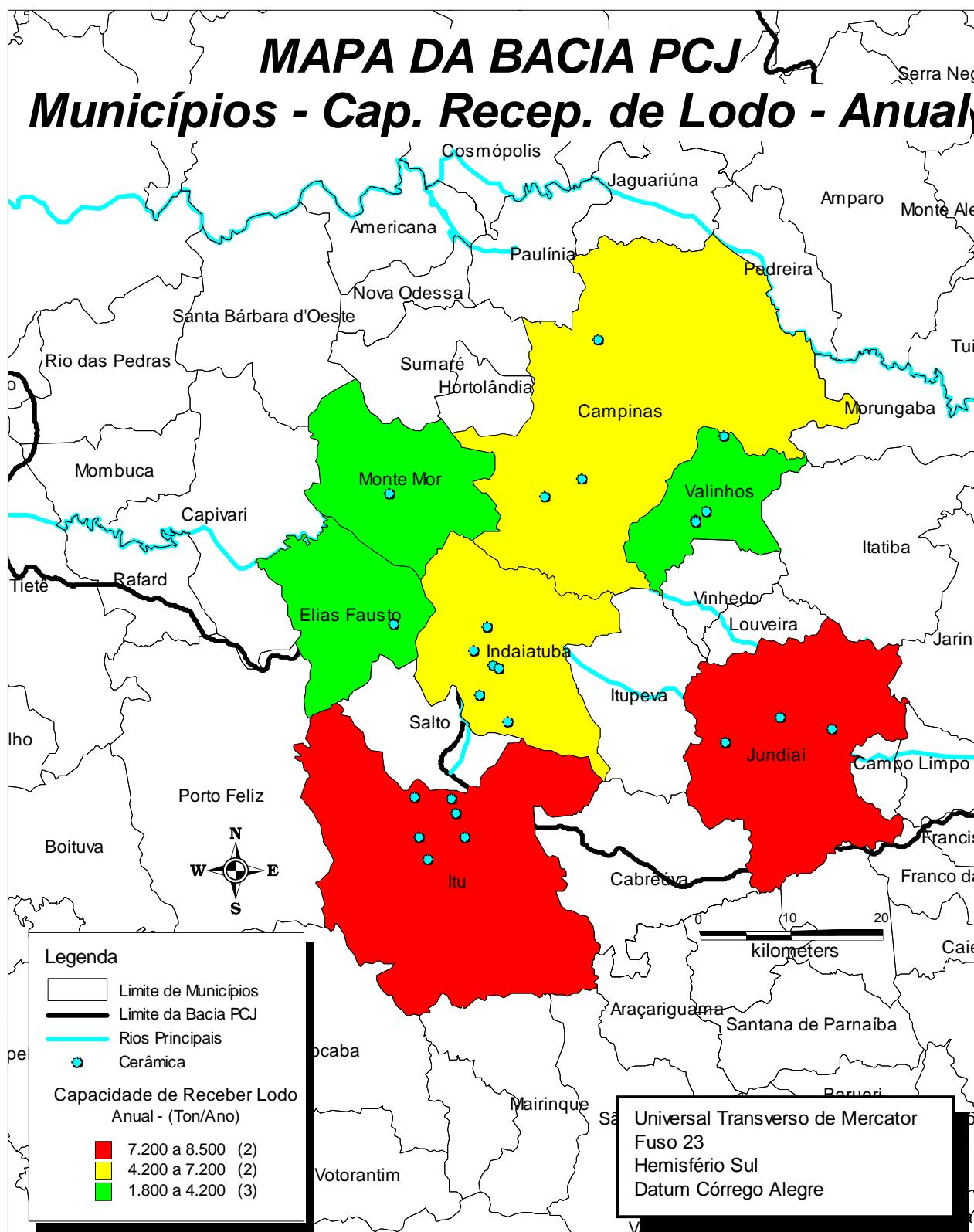
A Figura 29 apresenta as cerâmicas que tem ou não jazidas próprias e a vida útil das jazidas. Com isso é possível identificar quais são as cerâmicas mais propensas a aceitar a recepção do lodo de ETA para incorporar como matéria-prima. As cerâmicas que apresentam 0 (zero) se recusaram a fornecer a estimativa de vida útil da jazida.

A Figura 30 apresenta as cerâmicas que aceitam receber o lodo de ETA para ser incorporada como matéria-prima e a capacidade de recepção mensal de lodo de ETA, que corresponde a 5% da capacidade de processamento da cerâmica. As cerâmicas que apresentam valor igual a 0 (zero), se recusaram a fornecer a quantidade de argila utilizada mensalmente. Consequentemente, a capacidade de recepção de lodo foi calculada a partir deste valor.

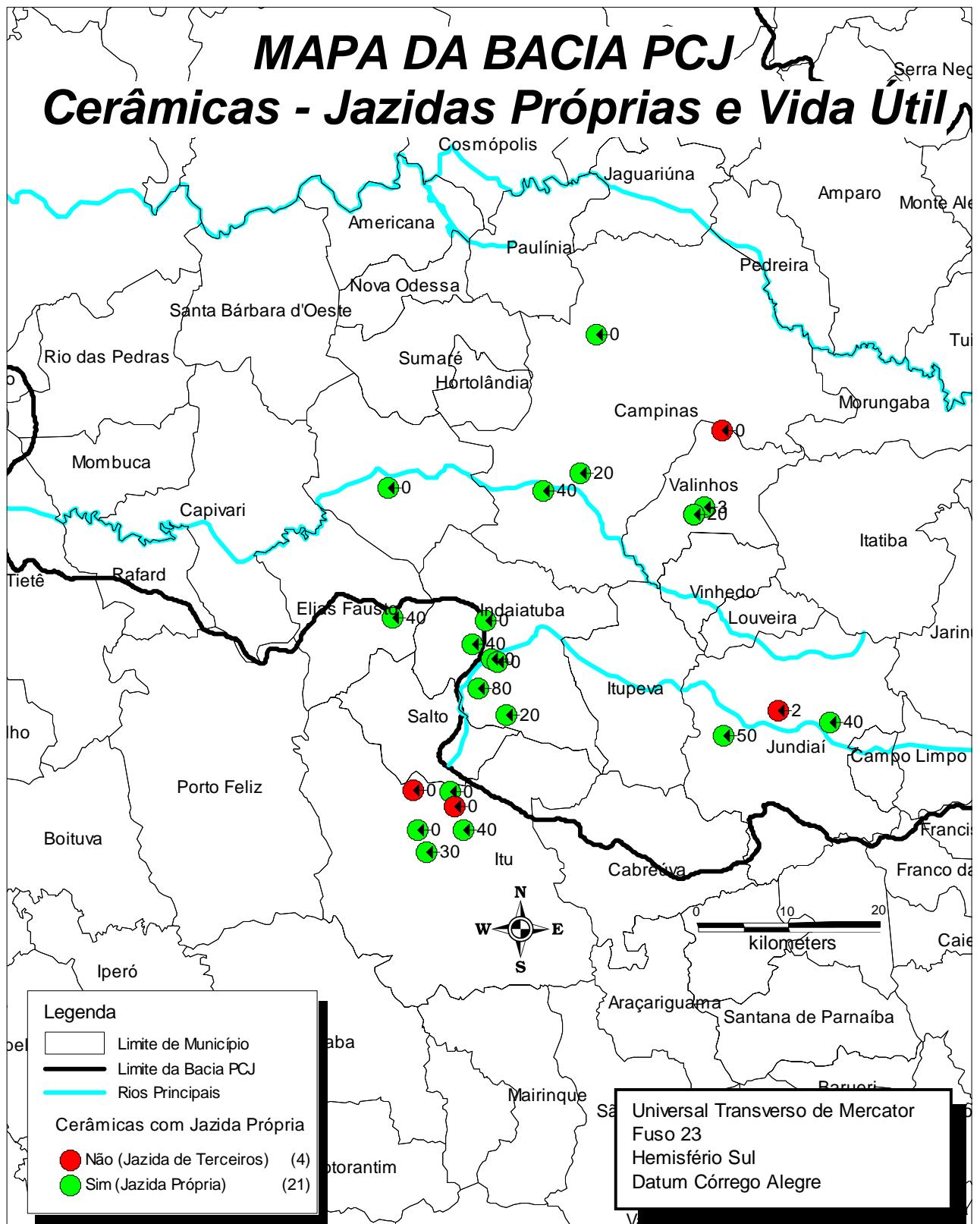
Os mapas temáticos apresentados (1 e 2) conseguiram mostrar as informações pertinentes das ETAs e cerâmicas que podem ser consideradas em análises e decisões para qualquer um dos gestores, sejam eles da Bacia PCJ, da companhia de saneamento ou até mesmo das cerâmicas. As informações apresentadas nos cenários anteriores constituem uma rica fonte de consulta para os gestores e passam a ser um inventário espacializado das informações.



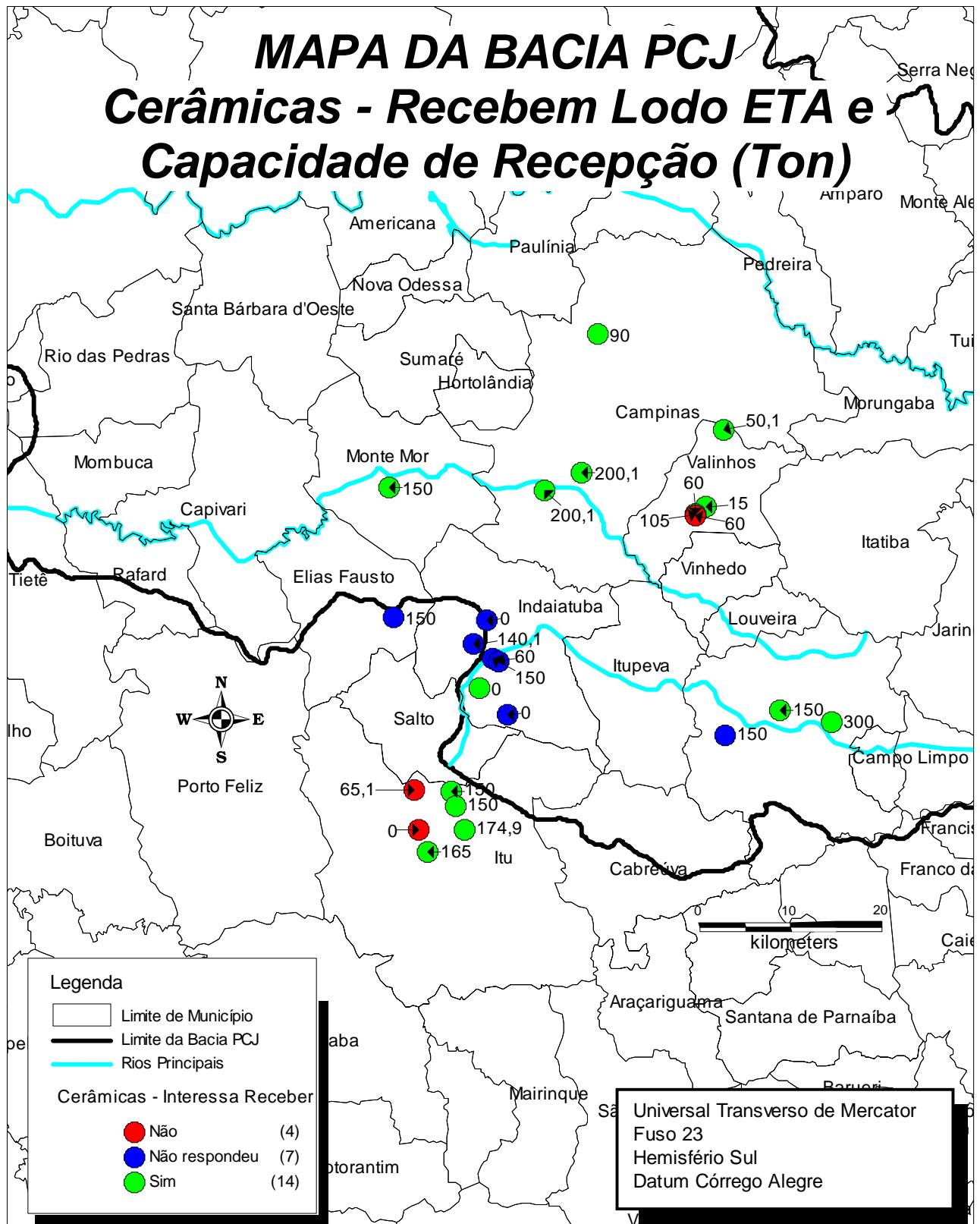
**Figura 27. Cerâmicas – Capacidade de Recepção de Lodo Anual.**



**Figura 28. Municípios – Capacidade de Recepção de Lodo Anual.**



**Figura 29. Cerâmicas – Jazidas Próprias e Vida Útil.**



**Figura 30. Cerâmicas – Recebem Lodo ETA e Capacidade de Recepção (t).**

## Cenário 1 – Visualização das capacidades de geração de lodo em relação à distância do Aterro

Este cenário (Figura 32) apresenta um exemplo simples de *buffer* que pode ser utilizado em um SIG. Como está sendo considerado um único aterro como opção de destino dos lodos gerados nas ETAs, não faz sentido a elaboração de mapas temáticos por quaisquer atributos deste aterro. É possível identificar todas as ETAs distantes 55 Km e 110 Km, por exemplo, pois qualquer faixa de distância poderia ser utilizada. Esta funcionalidade auxilia na visualização das distâncias lineares em relação as ETAs, uma vez que o mapa não contém todas as rodovias digitalizadas para o cálculo da distância entre a origem e destino considerando as rodovias e trechos de logradouros. Com este buffer pode-se visualizar as 41 ETAs que estão até 55 Km de distância do aterro e as 22 ETAs que estão de 55 até 110 Km, além da somatória de todas as informações contidas na base de dados das ETAs (Figura 31). São apresentadas as quantidades médias consolidadas de lodo de ETA considerando as distâncias definidas pelos raios concêntricos, centralizados no Aterro do ESTRE (em Paulínia).

Buffer_Table_ETAS Listagem									
Ring	Radius	Dist_Units	Area_	Area_Units	Count	SumVazao_m3_s	SumQuan_LodoC_ton_ano	SumQuan_LodoE_ton_ano	SumQuan_LodoM_ton_ano
1	55	quilômetros	9.402,36	quilômetros quadra	41	16,737	613.029,6	43.599,6	207.122,4
2	110	quilômetros	28.205,87	quilômetros quadra	22	5,297	156.070,8	9.201,6	56.106

**Figura 31.** Aterro – Informações das ETA consolidadas por 2 raios de cobertura.

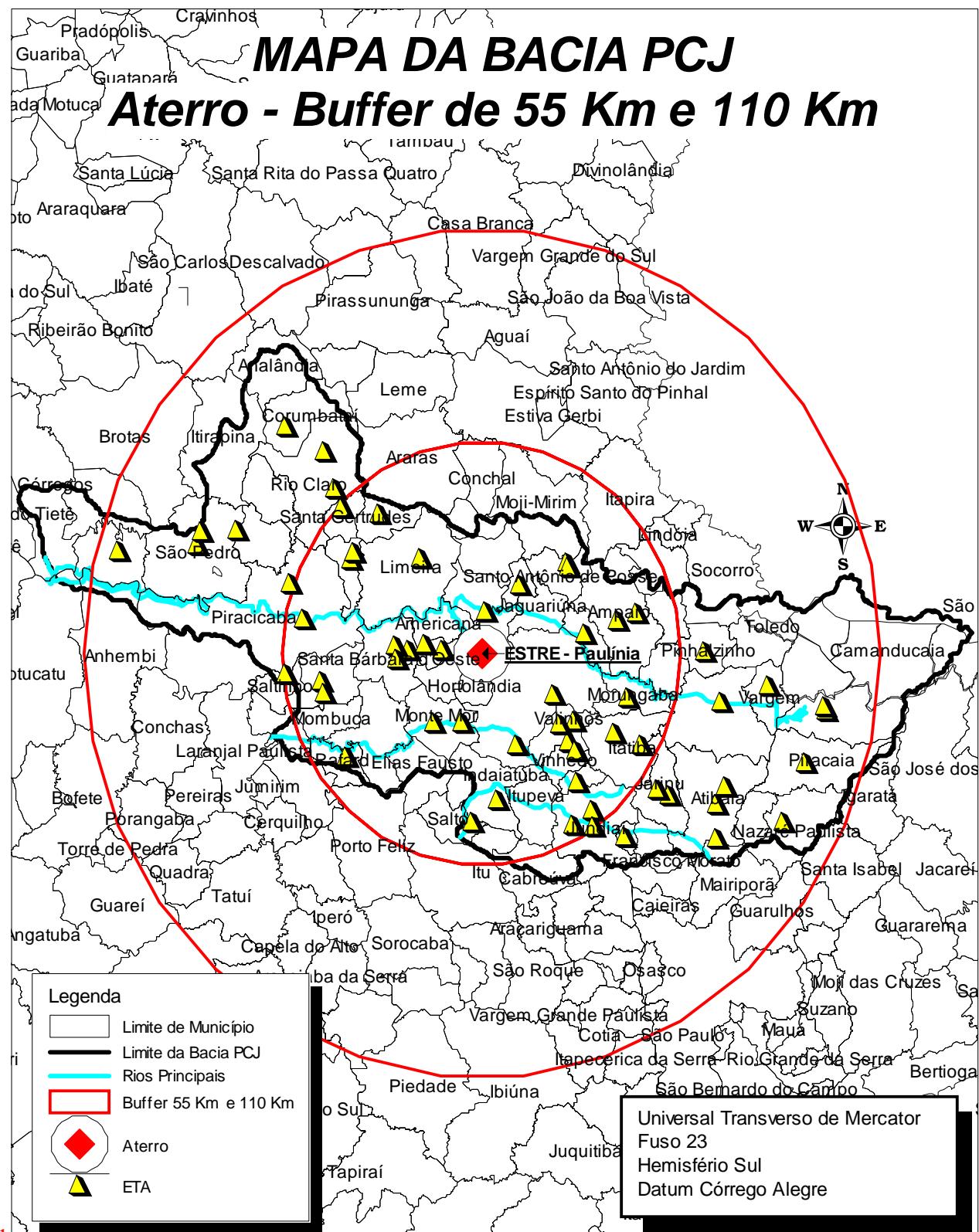


Figura 32. Aterro – Distâncias das ETA e 2 raios de cobertura.

## **Cenário 2 – Visualização do cruzamento das informações de ETA, Cerâmicas com o Aterro, considerando um gerador (ETA) e vários receptores (Cerâmicas)**

Os mapas temáticos e cenários anteriormente apresentados, conseguiram mostrar as informações pertinentes das ETA, cerâmicas e aterro sanitário que devem ser consideradas em análises e decisões por qualquer um dos gestores, sejam eles da Bacia PCJ, da companhia de saneamento, das cerâmicas ou até mesmo do aterro. As informações apresentadas constituem uma rica fonte de consulta para os gestores e constituem um inventário espacializado das informações.

Neste cenário foram elaborados mapas temáticos que possibilitam aos gestores a visualização cruzada das informações cadastradas e espacializadas em um SIG, com todas as suas entidades que compõem o MUB e as informações necessárias para a tomada de decisões. Com isso é possível visualizar e analisar as informações relacionando cada uma das entidades entre si, proporcionando uma ferramenta poderosa para auxílio à tomada de decisões.

Para esta análise, foi considerada a quantidade **média mensal** gerada na ETA Capivari de Campinas e a capacidade de recepção das cerâmicas. Utilizando a consulta apresentada na Figura 33, foi constatado que nenhuma cerâmica cadastrada na base de dados teria condições de receber esta quantidade de lodo sozinha, pois é um dos objetivos encontrar as opções factíveis de recepção de todo o lodo gerado nesta ETA. Então, foi invertido o parâmetro de busca para encontrar quais as cerâmicas mais próximas que poderiam receber parte deste lodo (Figura 34). Com isso, pode-se constatar que todas as cerâmicas têm capacidade de receber parte destas 1.235,70 t/mês de lodo, excluindo-se as cerâmicas que não informaram as capacidades de recebimento deste lodo e as que não responderam se desejam receber o lodo como matéria-prima. O mapa temático da Figura 30 apresenta quais são as cerâmicas que podem ou não receber as quantidades de lodo gerado em qualquer uma das ETA.

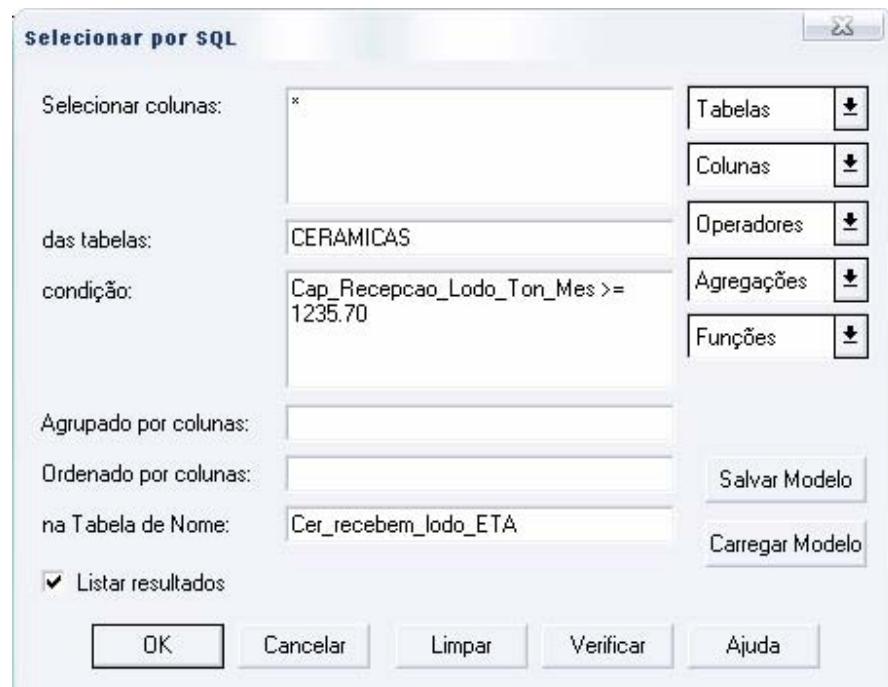


Figura 33. Consultas de Cerâmicas que tem condições de receber sozinhas todo lodo da ETA.

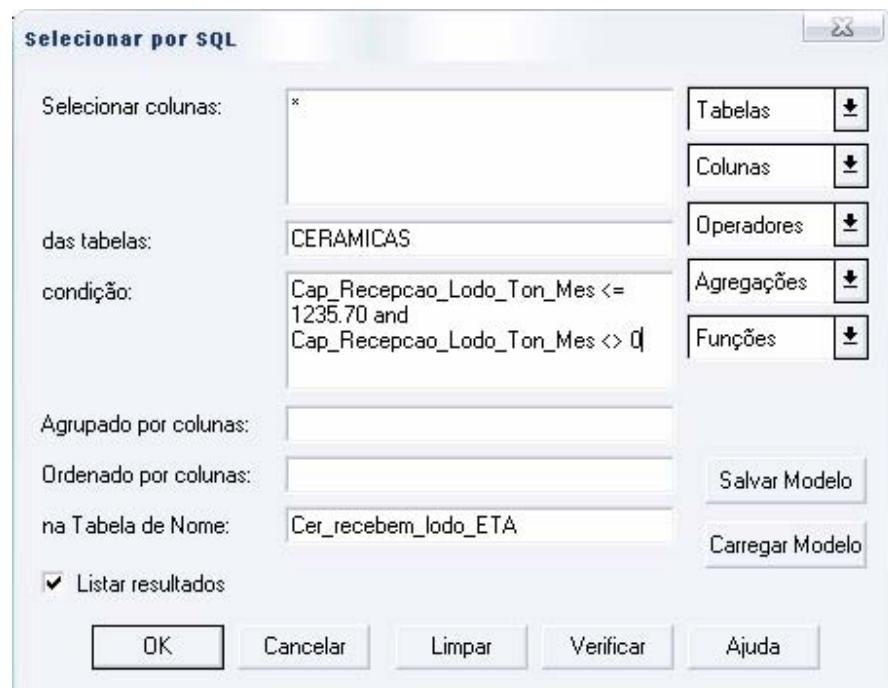


Figura 34. Consultas de Cerâmicas que atendem a quantidade média mensal de Lodo de ETA.

Foi realizada uma busca das cerâmicas mais próximas através de quatro distâncias definidas por raios de 10, 15, 20 e 25 Km que poderiam receber este lodo até a totalidade de 1235,70 t/mês (Figura 36), desconsiderando as zeradas e as que responderam que não desejam receber o lodo (as que não responderam foram consideradas como válidas nesta simulação). Observa-se que para o raio de 25 Km foram selecionadas 6 cerâmicas que estão contidas dentro desse raio de alcance (Figura 35). Portanto, foi necessário ajustar o último raio de alcance para adequar a capacidade máxima de lodo gerada pela ETA (Figura 36).

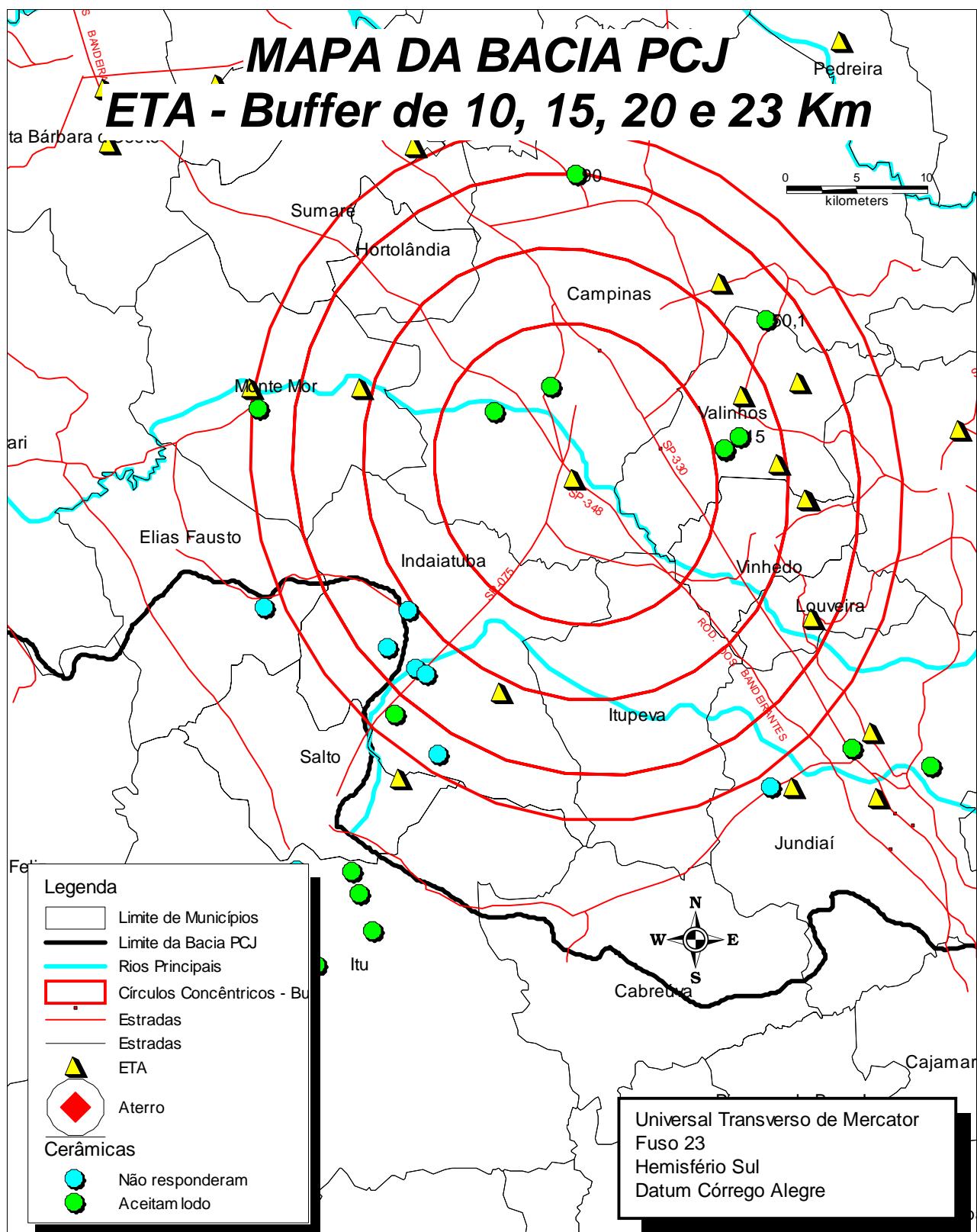
Ring	Radius	Dist_Units	Area_	Area_Units	Count	SumCap_Recepcao_Lodo_Ton_Mes
<input type="checkbox"/>	1	10 quilômetros	311,877	quilômetros quadra	2	400,2
<input type="checkbox"/>	2	15 quilômetros	389,858	quilômetros quadra	4	240
<input type="checkbox"/>	3	20 quilômetros	545,815	quilômetros quadra	5	400,2
<input type="checkbox"/>	4	25 quilômetros	701,776	quilômetros quadra	6	540

Figura 35. Cerâmicas mais próximas que extrapolam a quant. de recepção de Lodo de ETA.

Ring	Radius	Dist_Units	Area_	Area_Units	Count	SumCap_Recepcao_Lodo_Ton_Mes
<input type="checkbox"/>	1	10 quilômetros	311,877	quilômetros quadra	2	400,2
<input type="checkbox"/>	2	15 quilômetros	389,858	quilômetros quadra	4	240
<input type="checkbox"/>	3	20 quilômetros	545,815	quilômetros quadra	5	400,2
<input type="checkbox"/>	4	23 quilômetros	402,349	quilômetros quadra	4	240

Figura 36. Cerâmicas mais próximas que atendem a quant. de recepção de Lodo de ETA.

A figura 37 apresenta o mapa gerado para a análise das distâncias entre a ETA as cerâmicas receptoras.



**Figura 37. ETA - Buffer de 10, 15, 20 e 23 Km.**

Considerando as distâncias lineares da ETA até cada uma das cerâmicas, foi calculado o custo do transporte deste lodo para cada um de seus destinos (Tabela 8), sendo que o valor por Km até 14 Toneladas é de R\$4,00. Foi utilizado a distância linear entre as ETAs e Cerâmicas porque a base de dados não contém todos as rodovias e logradouros cadastrados, sendo que se o mapa tivesse estes elementos atualizados, poderia ser utilizada a distância real no cálculo do custo de transporte, inclusive considerando os custos de pedágios.

**Tabela 8. ETA Capivari e Receptores – Distâncias lineares e custo de transporte em relação a ETA Capivari e Destinos.**

Raio Considerado (Km)	Cerâmica	Município	Distância (Km)	Quantidade de Lodo (t)	Custo Transporte (R\$)
10	Taboal Ltda	Campinas	6,18	200,10	370,8
10	Gianfrancisco	Campinas	6,79	200,10	407,4
15	Irmãos Ramos Ltda.	Valinhos	9,77	105,00	312,64
15	Irmãos Ramos Ltda.	Valinhos	9,77	60,00	195,4
15	Irmãos Ramos Ltda.	Valinhos	9,77	60,00	195,4
15	Irmãos Angeli Ltda.	Valinhos	11,03	15,00	88,24
20	Santa Clara Ltda	Indaiatuba	15,40	0,00	0,00
20	Hubert	Indaiatuba	17,60	60,00	352,00
20	Areal Ltda	Indaiatuba	17,75	150,00	781,00
20	Capuava Ltda.	Valinhos	17,85	50,10	285,60
20	Construgel Ltda	Valinhos	18,2	140,10	728,00
23	Cerâmica Gre Ltda.	Campinas	20,10	90,00	562,80
23	Onix Ltda.	Indaiatuba	21,40	0,00	0,00
23	Ciciliato Ltda e Gumercindo e cia.	Indaiatuba	21,90	0,00	0,00
23	Barfran	Monte Mor	22,65	150,00 105,3	996,60 724,8

Observa-se que a capacidade descrita na tabela a ser transportada é de 1.280,4 t/mês, sendo um pouco maior do que a ETA produz, que é de 1.235,70 t/mês. Portanto, serão descontadas 44,7 t/mês do

que a cerâmica mais distante (Barfran) tem capacidade de receber, para que a análise seja feita com os mesmos parâmetros.

O custo total de transporte das 1.235,7 t/mês de lodo para as cerâmicas selecionadas é de R\$ 5.004,08, considerando-se distância linear e sem incluir o custo referente aos pedágios.

Considerando-se a distância linear, o SIG apresentou 25,20 Km da ETA até o ESTRE, o que corresponde a um custo de frete de R\$ 8.971,20. O custo de disposição no aterro ESTRE é de R\$ 121,43 por Tonelada, o que equivale a R\$ 149.680,34. Portanto o custo de disposição no aterro do ESTRE é de R\$ 158.651,54. É sabido que a distância real transitando-se pelas ruas e rodovias (onde o trecho encontra-se mapeado) é maior do que a distância linear considerada, mas foram comparados os dois casos utilizando-se os mesmos parâmetros.

Custo de disposição em cerâmicas = R\$ 5.004,08 (Considerado somente o transporte)

Custo de disposição em aterros =      Transporte = R\$ 8971,20  
    Aterro = R\$ 149680,34  
    TOTAL = R\$ 158651,54

Portanto, comparando-se estas duas simulações, é possível constatar que é viável economicamente, do ponto de vista do gerador, a utilização do lodo na indústria cerâmica vermelha. Nesta análise não foi considerado o custo relativo à disposição que os ceramistas poderiam introduzir, com o tempo, em função das relações de mercado (lei da oferta e da procura).

## **Cenário N – Visualização do cruzamento das informações de ETAs, Cerâmicas e Aterro, considerando um ou mais geradores e receptores**

Pode-se elaborar qualquer cenário com diversos mapas temáticos que possibilitam aos gestores a visualização cruzada das informações cadastradas e espacializadas em um SIG, com todas as suas entidades que compõem o MUB e as informações necessárias para a tomada de decisões. Com isso é possível visualizar e analisar as informações relacionando cada uma das entidades entre si, proporcionando uma ferramenta poderosa para auxílio à tomada de decisões, conforme os demais cenários apresentados anteriormente.

Destaca-se, por exemplo, tendo em vista a economia de escala, isto é, que o mercado apresenta diferentes taxas tanto para transporte quanto para recepção de resíduos ou materiais em função das quantidades envolvidas, com tendência a um barateamento unitário quando se lida com grandes quantidade – que o agrupamento de pequenas ETA, conjuntamente, adquirem maior poder de barganha na contratação de serviços de transporte, bem como de disposição final em aterro ou a aplicação como matéria-prima.

Outro exemplo de cenário a ser avaliado diz respeito à busca da localização de novos aterros do ponto de vista logístico, em particular de aterro(s) exclusivo(s) ou de central de lodo para atender a todas as ETA de uma mesma bacia hidrográfica ou a um agrupamento delas. A mesma análise com o uso da ferramenta pode ser feita do ponto de vista da empresa receptora, inclusive na implantação de novas unidades.

## **6. Conclusões e Recomendações**

Neste trabalho foi desenvolvido um método para utilização de um Sistema de Informação Geográfica (MapInfo) na simulação de mapas temáticos e cenários reais de possíveis geradores e receptores de lodo de ETA de uma mesma bacia hidrográfica.

Objetivou-se propor um sistema de apoio à gestão por bacia hidrográfica do destino dos lodos gerados nas estações de tratamento de água através da aplicação de metodologia de análise de informações espacializadas, visando auxiliar no processo de escolha de sua destinação final ou uso benéfico. O estudo de caso foi feito na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

Com base nas informações obtidas a ferramenta se mostrou bastante versátil e útil para a realização das análises considerando como possível destino, alternativo à disposição em aterro sanitário licenciado, as indústrias cerâmicas.

Os dados espacializados analisados em forma de mapas temáticos e cenários mostram que é possível ajudar na identificação dos potenciais receptores e geradores dos lodos que representam melhor solução, quanto ao menor custo de transporte e disposição final.

A grande limitação encontrado neste estudo refere-se à quantidade, qualidade e confiabilidade dos dados usados, pois dados de diferentes fontes e empresas foram empregados, quando fornecidos, e estimados, quando não disponíveis. Portanto, nesta pesquisa, priorizou-se a construção da ferramenta seguida de testes para avaliar o seu potencial. Contudo, os resultados em si, apresentados, devem ser vistos com restrição do ponto de vista da melhor solução indicada em cada cenário, e.g., localização de uma única cerâmica receptora de todos os lodos, uma vez que persiste a necessidade de se inserir dados mais acurados, notadamente com relação à exata localização de cada ETA, à produção de lodo medida

no campo, as vias de acesso secundárias, entre outros. A partir da inserção e atualização da base de dados poder-se-á avançar para a etapa futura de utilização da ferramenta de gestão ora criada.

Foram apresentadas várias simulações e todas mostraram resultados que validam a metodologia proposta. Através do estudo de caso desenvolvido pode-se também verificar o potencial da ferramenta desenvolvida para solução de problemas de planejamento ou de gerenciamento reais.

Considerando-se o objetivo do trabalho atingiu-se a meta previamente proposta de desenvolver e validar uma metodologia extraindo cenários reais para gestão de lodo de ETA.

Recomenda-se a ampliação da base de dados para todas as ETAs existentes nas bacias hidrográficas estudadas, bem como as demais destinações para os lodos tais como cimenteiras, siderúrgicas, áreas de reflorestamento, áreas agrícolas, recobrimento diário em aterros municipais, e outras propostas na literatura técnico-científica.

## **7. Referências Bibliográficas**

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica. Números do Setor – Cerâmica Vermelha  
[http://www.abceram.org.br/asp/abc\\_21.asp](http://www.abceram.org.br/asp/abc_21.asp). 2008 . Acesso em 08/01/2008.

AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION – AWWA, Water treatment plant sludges, Journal AWWA, 1978.

ANDRADE, P.S. Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso. Campinas. 264p. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 2005.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Dados do Setor (on line). Disponível na Internet, URL: <http://www.anicer.com.br/>. 2008. Acesso em 08/01/2008.

ARONOFF, S. Geographic Information Systems: a management perspective. WDL Publications, Canada, 1989. 294 p.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6461 – Bloco cerâmico para alvenaria: verificação da resistência à compressão. São Paulo: ABNT, 1983.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7171 – Bloco cerâmico para alvenaria: especificação. São Paulo: ABNT, 1992a.

BURROUGH P.A. (1986) Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment, em "Monographs on Soil And Resources Survey", n. 12, Oxford: Clarendon Press.

CÂMARA, G. et al. Anatomia de Sistema de Informações Geográficas. Campinas: Ed. UNICAMP, 1996. 193 p.

CÂMARA, G.; DAVIS.C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).

CARTER, G.F. Bonham (1994) Geographic Information Systems for Geoscientist - Modeling with GIS. Nova Iorque: Pergamon.

CERATEC. Brick Making [on line]. Available: <http://www.ccex.org/tables/projects.htm> [cited August 13,1998]. 1998.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – CBH–PCJ (2001). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5. Disponível em: [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br). Acesso em: 08/02/2008.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – CBH–PCJ (2006). Relatório Final Completo. Plano de Bacias Hidrográficas 2004-2007 dos rios Piracicaba, CAPIVARI e Jundiaí. Dezembro, 2006. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>. Acesso em: 08/02/2008.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – CBH–PCJ (1999). Plano De Bacia Hidrográfica 2000-2003, Contrato Consórcio: 015/99, Coplaenge Projetos De Engenharia Projetos De Engenharia Ltda, 1999, 294 p.

CORDEIRO, J.S. Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETA. In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água, São Paulo, cap.1, p.03. 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2002. São Paulo: CETESB, 2002a.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2002. Relatório Síntese. São Paulo: CETESB, 2002b.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 2004. 2 v.. São Paulo: CETESB, 2005. (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2007. São Paulo: CETESB, 2008.

CORNWELL, D. A.; KOPPERS, H. M. M. Slib, Schlamm, Sludge. Cooperative Research Report. AWWA Research Foundation & KIWA. Denver, CO., 1990

CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals. Denver: American Water Works Association, 2000.

COSIN, S.; KOZIEVITCH V. de F. J.; MORENO, M. T.; SOUZA SANTOS, P.; VELENZUELA DIAZ, F. R. Incorporação de Lodo de Estação de Tratamento de Água a Massa Cerâmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46., 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2002.

CULP/WESNER/CULP. Handbook of Public Water System. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1986.

COWEN D.J. (1988) SIG versus CAD versus DBMS: what are the differences?, em "Introductory readings in Geographic Information Systems". Londres: Taylor and Francis.

DAVIS, C., FONSECA F., BORGES, C. Conceitos e Aplicações em GIS. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Ed. própria, 1999. 191 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. *Ensaios de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. São Carlos: Rima Editora, 2002.

DOE, P.W. Water Treatment Plant Waste Management. In: PONTIUS, F.W., ed. Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. 4 ed. New York : American Water Works Association, McGrall-Hill, 1990.

DONDI, M.; FABRI, B.; MARSIGLI, M. Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos. *Cerâmica Informação*, n.1, pg. 17-30. Nov./Dez. 1998.

DUEKER K.J. (1979) Land Resources information systems: a review of fifteen years experience, em "Geo-processing" no. 1.

FERREIRA FILHO, S. S. e SOBRINHO, P. A., *Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de tratamento de água*. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, Vol 3, nº 3 e 4 , 1998.

GODBOLD, P.; LEWIN, K.; GRAHAM, A.; BARKER, P. The Potential Reuse of Water Utility Products as Secondary Commercial Materials (2003). WRc Report No.: UC 6081. Disponível em: [http://www.wrcplc.co.uk/downloads/Water\\_Utility\\_Waste\\_Recycled.pdf](http://www.wrcplc.co.uk/downloads/Water_Utility_Waste_Recycled.pdf).

HUANG, C.; PAN, J.R.; SUN, K.-D.; LIAW C.-T. Reuse of Water Treatment Plant Sludge and Dam Sediment in Brick-Making. *Water Science and Technology*, v. 44, n. 10, p. 273-77, 2001.

ISAAC, R.L. Caracterização, tratamento e disposição final de lodo de ETA. Curso Extensão Faculdade de Engenharia Civil – Unicamp. Campinas. 2001.

ISAAC, R. de L.; MORITA, D. M.; LUVIZOTTO Jr., E.; FERRÃO, A. M. de A. Use of Dewatered Sludge in Building Construction Components. In: MANAGEMENT OF WASTES FROM DRINKING

KAWAMURA, S., *Integrat design of water treatment facilities*, New York, John Wiley & Sons, Inc, 1991.

WATER TREATMENT, 2002b, London. Procedings... London: The Chartered Institution of Water and Environmental Management, 2002. p. 169-77.

ISAAC, R. de L.; MORITA, D. M.; SILVA Jr. A. P da; NOVAES, R. M.; ANDRADE, P. S.; PORRAS, A. C. Projeto Beta – Uso do Lodo de Estação de Tratamento de Água na Construção Civil - Relatório Final. Campinas, 2004.

LABRINCHA, J.A.; MARIEIRO, S.M.; DUARTE, E.A.; MARTINS, M.B.; NETO, I.; FRAGOSO, R. Reutilização de lamas resultantes do processo de clarificação de água da EPAL em pastas cerâmicas. Portugal. 2000.

MAPINFO, Guia do usuário. New York, USA, 1995. 485 p.

MORITA, D.M., SAMPAIO, A.O., MIKI, M.K., DAVID, A.C. Incorporação de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 10. Braga, Portugal, 2002. Anais (CD-rom). Braga: APESB/APRH/ABES. p. 1-15, 2002.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A; CABRAL JUNIOR, M. As matérias-primas cerâmicas. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 2, p. 28-39, Março/Abril, 2001.

NOVAES, R.M. Viabilidade Técnica da Incorporação de Lodos das Estações de Tratamento de Água do Município de Campinas em Blocos Cerâmicos. Campinas. 214p. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 2005.

PARKER, H.D. (1988) The Unique Qualities of a Geographic Information-System -A Commentary, em "Photogrammetric Engineering And Remote Sensing".

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 2, n. 1 e 2, p. 31-5, janeiro/abril. 1997.

PROSAB, Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água, Rio de Janeiro - RJ, 1999.

REALI, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETA. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água, Marco Antônio Penalva Reali (coord.), Rio de Janeiro, ABES, pp.21-39. (1999.)

RICHTER, C. A. (2001). Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo.

SANASA – Campinas. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br>. Acesso em: 04/09/2007.

SARON, Alexandre; LEITE, Vera Maria Barbosa. Artigo “Quantificação de lodo em Estação de Tratamento de Água”.

SMOLLEN, M.; KAFAAR, A. Electroosmotically Enhanced Sludge Dewatering: Pilot-Plant Study. Water Science Technology – IAWQ , v.30, n .8, p. 159-168. 1994.

WORBOYS, Michael F. (1995) GIS: A Computing Perspective. Londres: Taylor and Francis.

YUZHU, W. Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso. São Paulo, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 419p. 1996.

## **Abstract**

RIBEIRO, Cristian Fonseca. Use of geographic information system in watershed management of water treatment plants sludge. Dissertation (Master of Science). 100p. School of Civil Engineering, Architecture and Urban, State University of Campinas, UNICAMP, Campinas, 2008.

Present work investigates the use of geographic information system (GIS) – nowadays a necessary technique for spatial data analysis, broadly used as decision-making aid in many fields – as a tool for watershed management for disposal or beneficial use of water treatment plants (WTP) sludge. Most of times, residuals management is based in conventional data, conditioned to stationary information. Logistic costs for transportation and landfill disposal, usually overcome sludge treatment system operating costs. Several beneficial uses have been proposed for many researchers as better solution rather than landfilling in terms of environmental and economical sustainability. This way, it is considered as raw material rather than residual. GIS appliance aims ease the search for best available alternative, having potential users geographic location as main criteria among other aspects involved in decision process. The territory studied was that of Rivers Piracicaba, Capivari and Jundiaí watershed, in southeastern region of Brazil. Several scenarios were generated and evaluated. The manager here was either a single water company, the consortium of all water companies or a small group of them. For demonstration purpose, ceramic brick plants – whose technical, economical and environmental sustainability was previously demonstrated – were compared to sanitary landfill as final disposal. GIS high potential for WTP sludges planning and management, task that trends to become more and more difficult and complex in a context of a watershed containing several generators of these and other kinds of solid wastes – as municipal wastes, wastewater treatment plant sludge, industrial wastes – that struggle each other under free market rules for scarce and limited sanitary landfills and also for every users of these materials – was demonstrated.

**Key words:** watershed management, geographic information system, water treatment plant residuals, sludge, solid wastes management.