

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**  
**ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**SHS-0342 - TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

**MAURO YUKIO HAMAMOTO**

**Mapeamento das áreas de perigo de contaminação dos recursos  
hídricos por vazamento em postos de combustível na área urbana  
de São Carlos – SP**

**SÃO CARLOS, SP**

**2010**



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ENGENHARIA AMBIENTAL

Mapeamento das áreas de perigo de contaminação dos recursos  
hídricos por vazamento em postos de combustível na área urbana de  
São Carlos – SP

Aluno: Mauro Yukio Hamamoto

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Hamamoto, Mauro Yukio  
H198m Mapeamento das áreas de perigo de contaminação dos recursos hídricos por vazamento em postos de combustível na área urbana de São Carlos-SP / Mauro Yukio Hamamoto ; orientador Oswaldo Augusto Filho. -- São Carlos, 2010.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

1. Postos de combustíveis. 2. Recursos hídricos - contaminação. 3. Sistema de informação geográfica (SIG). I. Título.

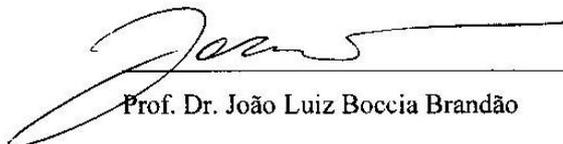
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

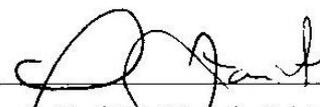
Candidato: Mauro Yukio Hamamoto

Monografia defendida e aprovada em: 22/10/2010 pela Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Luiz Boccia Brandão

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo Zaiat  
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Dedico este trabalho à minha família e à todos que acreditam e não desistem de seus ideais.

## AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram com minha formação direta e indiretamente, mas em especial:

Ao professor Oswaldo, pela oportunidade dada, orientação, exemplo e descontração transmitida.

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

À todos os docentes e funcionários envolvidos no curso de Engenharia Ambiental por todo o auxílio dado.

A todos os professores que tive ao longo de minha vida, dentro e fora das escolas.

A todos os amigos com quem tive oportunidade de conviver, principalmente meus amigos de Guararapes, do beisebol e da minha turma da Engenharia Ambiental, que ajudaram tanto em meu aprendizado quanto nas horas de descontração.

À minha namorada Maíra, que sempre me ajudou com dicas, incentivo, apoio, amizade e carinho.

Aos meus irmãos Márcio e Maurício, que me ajudaram por toda minha vida com conselhos e exemplos, os quais sempre almejo.

Ao meu pai Kazuo, pelo exemplo de caráter, profissionalismo, honestidade e esforço, me dando o que de mais precioso um pai pode dar ao filho: a oportunidade de escolher o que ser “quando crescer”.

À minha mãe Terezinha, que me ensinou o valor da humildade, da simplicidade e da dedicação.

## **RESUMO**

**HAMAMOTO, M. Y. Mapeamento das áreas de perigo de contaminação dos recursos hídricos por vazamento em postos de combustível na área urbana de São Carlos – SP.**

2010. 145p. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O crescimento populacional e econômico do Brasil nas últimas décadas aumentou a demanda por infraestrutura nos centros urbanos. Entretanto, esse crescimento acelerado aliado à falta de planejamento resultou na geração de diversos passivos ambientais. Os postos de combustível são considerados fontes potenciais de poluição, pois os tanques de armazenamento subterrâneo podem sofrer vazamentos devido às falhas na fabricação, na instalação ou no uso (manutenção). Características do meio físico que levam a movimentações e variações de volume do solo podem induzir processos corrosivos que danificam o equipamento causando vazamentos também. Dessa forma, a prevenção de contaminação do solo e das águas subterrâneas depende da investigação dessas características nos centros urbanos, para que seja possível um melhor planejamento no sentido de escolha dos melhores locais para a implantação de postos de combustível. O melhor planejamento e conhecimento das características da área aprimoram a previsão da vida útil dos equipamentos, aumentando as chances de sua troca antes de ocorrer vazamentos. Assim, foi feito um cadastro dos postos da área urbana central do município de São Carlos e aquisição de dados de revisão bibliográfica do meio físico para análise do perigo de contaminação dos recursos hídricos representado pelos postos. Foram utilizados dados do nível do lençol freático e calculados perímetros de proteção de poços para elaboração do mapa de vulnerabilidade e análise do perigo de contaminação das águas subterrâneas. Por meio das distâncias de corpos d'água e declividade do terreno, foi analisado o perigo de contaminação das águas superficiais e elaborado o respectivo mapa de vulnerabilidade das águas superficiais. Em relação às águas subterrâneas há 11 postos em situação de alto perigo de contaminação. No caso das águas superficiais os postos estão locados de maneira menos adequada com relação às drenagens, com três postos classificados como alto perigo de contaminação. É recomendado que seja feito monitoramento nas proximidades dos postos em situação de maior perigo em que não há dados sobre contaminação do meio. Os mapas de vulnerabilidade das águas subterrâneas e superficiais podem ser usados como auxiliares no processo de licenciamento de postos de combustível.

Palavras Chave: Postos de Combustível; Perigo de Contaminação; Recursos Hídricos; SIG.

## **ABSTRACT**

**HAMAMOTO, M. Y. Mapping of danger areas of hydric resources contamination by leakage in gas stations in São Carlos (SP) urban area.** 2010. 145p. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Brasil's economic and populational growing in last decades increased the demand for infrastructure in urban centers. However, this accelerated growing in addition to the lack of planning resulted in the generation of many environmental liabilities. Gas stations are considered potential pollution sources, because the underground storage tanks can suffer leakage due to failure on manufacture, installation or usage (maintenance). Physical mean characteristics that take to soil movements and volume variations can induce corrosive processes which damage the equipment causing leakage too. In this way, the soil and groundwater contamination prevention depends on the investigation of these characteristics in urban centers, to allow a better planning on the choice of the best places to the installation of gas stations. Better planning and knowledge of the characteristics of the area improve the prediction of useful life of the equipments, enhancing the chances of its exchange before the occurrence of leakage. Therefore, a register of the São Carlos' central urban area gas stations and acquirement of the physical mean data from bibliography to analysis of the hydric resources contamination danger represented by the gas stations were made. Data from the phreatic water table were used and wellhead protection areas were calculated to groundwater contamination danger analysis and vulnerability mapping. With water courses distances and terrain slope, surface water contamination danger was analyzed and vulnerability mapping was made. Groundwater contamination analysis showed that 11 gas stations are in situation of high contamination danger. In case of surface water, the worst situation occurred with drainage, with three gas stations classified as high danger of contamination. One recommends monitoring near the gas stations with no information about contamination and in situation of high danger. The groundwater and surface water vulnerability maps can assist in gas stations licensing process.

**Keywords:** Gas Stations; Contamination Danger; Hydric Resources; GIS.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1.	Objetivos .....	14
2.	MÉTODO .....	15
2.1.	Aquisição e Tratamento de Dados.....	16
2.2.	Análise dos Dados .....	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1.	Histórico .....	22
3.2.	Solo.....	22
3.2.1.	Propriedades índice .....	22
3.2.1.1.	Textura e granulometria .....	23
3.2.1.2.	Plasticidade e limites de Atterberg .....	23
3.2.1.3.	Propriedades da fração argilosa do solo .....	24
3.2.2.	Propriedades de estado do solo .....	25
3.2.1.4.	Compacidade e densidade relativa .....	27
3.2.1.5.	Consistência e resistência à compressão simples .....	27
3.2.1.6.	Estrutura .....	27
3.2.3.	Condutividade hidráulica .....	28
3.2.4.	Permeabilidade .....	29
3.2.5.	Profundidade e variação do nível d'água .....	29
3.2.6.	Anisotropia e heterogeneidade .....	30
3.3.	Corrosividade .....	30
3.4.	Compressibilidade .....	32
3.5.	Expansibilidade .....	32
3.6.	Colapsibilidade.....	33
3.7.	SIG.....	34
3.7.1.	Aplicações .....	36
3.8.	Contaminação do solo e águas subterrâneas .....	37
3.8.1.	Contaminantes orgânicos .....	38
3.8.2.	Transporte de poluentes.....	40
3.8.3.	Áreas contaminadas.....	41
3.9.	Licenciamento de postos de combustível.....	42
3.10.	Proteção da água subterrânea .....	43
4.	ÁREA DE ESTUDO .....	45

4.1.	Localização.....	45
4.2.	Aspectos da Geologia.....	45
4.2.1.	Coberturas Cenozóicas.....	46
4.2.2.	Grupo Bauru.....	47
4.2.3.	Derrames Basálticos.....	48
4.3.	Hidrografia.....	49
4.4.	Clima.....	49
4.5.	Meio antrópico.....	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1.	Perigo de contaminação das águas subterrâneas.....	55
5.2.	Perigo de contaminação das águas superficiais.....	59
6.	CONCLUSÕES.....	65
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
8.	APÊNDICES.....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Total de áreas contaminadas cadastradas (adaptado de CETESB, 2010a) .....	14
Figura 2: Fluxograma dos procedimentos para elaboração dos mapas de vulnerabilidade ..	21
Figura 3: Fluxograma dos procedimentos das análises de perigo .....	21
Figura 4: Localização do município do estado (SEADE, 2010). .....	45
Figura 5: Pluviograma acumulado médio mensal de 1936 a 1998 (SIGRH, 2010b) .....	49
Figura 6: Avaliação visual do MDT .....	52
Figura 7: Distância entre postos (AC, AI e AMR) e poços profundos.....	56
Figura 8: Distância entre postos (NC) e poços profundos.....	56
Figura 9: Profundidade do NA nos postos (AC, AI e AMR) .....	56
Figura 10: Profundidade do NA nos postos (NC) .....	57
Figura 11: Declividade do terreno nos postos classificados como AC, AI e AMR .....	60
Figura 12: Declividade do terreno nos postos classificados como NC .....	61
Figura 13: Distância entre postos (AC, AI e AMR) e captações superficiais .....	61
Figura 14: Distância entre postos (NC) e captações superficiais .....	61
Figura 15: Distâncias entre postos (AC, AI e AMR) e nascentes .....	62
Figura 16: Distâncias entre postos (NC) e nascentes .....	62
Figura 17: Distâncias entre postos (AC, AI e AMR) e reservatórios .....	62
Figura 18: Distâncias entre postos (NC) e reservatórios .....	63
Figura 19: Distâncias entre postos (AC, AI e AMR) e drenagens .....	63
Figura 20: Distâncias entre postos (NC) e drenagens .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pesos adotados para águas subterrâneas .....	19
Tabela 2: Classes de perigo adotadas .....	20
Tabela 3: Classificação quanto à vulnerabilidade do lençol freático .....	20
Tabela 4: Pesos para águas superficiais.....	20
Tabela 5: Classes de vulnerabilidade das águas superficiais.....	20
Tabela 6: CTC e área superficial de minerais.....	24
Tabela 7: Agressividade do solo em função da resistividade elétrica .....	31
Tabela 8: Interpretações da diferença de potencial .....	31
Tabela 9: Ocorrência de corrosão em função do pH e potencial.....	31
Tabela 10: Desvio entre cotas base e cotas do MDT.....	53
Tabela 11: Postos cadastrados por unidade geológica.....	54
Tabela 12: Postos cadastrados por microbacia .....	54
Tabela 13: Distribuição em área das classes de declividade .....	54
Tabela 14: Porosidade efetiva adotada para cada aquífero.....	58
Tabela 15: Postos por classe de perigo .....	58
Tabela 16: Perigo de contaminação por unidade geológica .....	59
Tabela 17: Perigo de contaminação por microbacia.....	59
Tabela 18: Quantidade de postos para as análises em conjunto com a declividade .....	64
Tabela 19: Perigo de contaminação de drenagens por microbacia.....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e econômico do Brasil contribuiu para um aumento na frota de veículos e na demanda de todo o suporte necessário para a manutenção dessa frota. Dados de quantidade de veículos emplacados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) mostram que a partir de 2004 a frota de veículos aumentou em todas as regiões do país após uma queda no período de 2001 a 2003, observada tanto na região Sudeste quanto no estado de São Paulo.

Além disso, dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP) no que se refere ao volume de combustível vendido pelas distribuidoras mostram comportamento semelhante. Há uma queda nas vendas no período de 2001 a 2003 seguido de crescimento até 2008. Pode ser inferido que as vendas no Brasil sofreram uma redução de 2002 para 2003, mas após isso as vendas aumentaram ano a ano. Já em São Paulo, percebe-se a redução nas vendas começando em 2001 até 2003, sendo que a partir daí as vendas aumentaram até 2008, em consonância com os dados da frota de veículos emplacados. De maneira geral, é perceptível um grande aumento nas vendas principalmente em 2007 e 2008.

Dessa forma, os postos de combustível são componentes importantes dessa infraestrutura suporte. No entanto, determinados processos do meio físico podem causar danos à estrutura do tanque subterrâneo de armazenamento de combustível. Quando tais danos são suficientes para que haja vazamento, ocorre a contaminação do solo e há a possibilidade da contaminação do lençol freático.

Além do risco de explosões, o vazamento de tanques de armazenamento em postos de combustível pode contaminar as águas subterrâneas, representando um grande perigo à saúde pública. Em levantamento de indicadores da situação das águas subterrâneas feito pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo (CRH, 2005), entre as 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do estado, 10 tiveram suas dependências de águas subterrâneas classificadas como alta. Entre as UGRHI com alta dependência de águas subterrâneas, está a UGRHI Tietê-Jacaré, dentro da qual está situada a área de estudo. 61% da população da UGRHI é abastecida por água subterrânea e 29% da demanda total de recursos hídricos é proveniente de águas subterrâneas (CRH, 2005). No caso do município de São Carlos, aproximadamente 50% do volume das captações de água para abastecimento são subterrâneas (SAAE – São Carlos, 2008). Adiciona-se à problemática, o fato dos combustíveis possuírem compostos altamente tóxicos à saúde humana. A NBR 10004 da ABNT (2004) classifica algumas substâncias presentes em combustíveis, como

benzeno, tolueno, xileno, pireno e etilbenzeno, como resíduos classe I (perigosos), apresentando (ABNT, 2004, p. 2):

- [...] a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Medidas de caráter preventivo são, em geral, menos impactantes ambientalmente e até menos custosas se comparadas a medidas remediativas. Este trabalho busca contribuir com a prevenção de contaminações, reduzindo os riscos à saúde da população, danos ao meio ambiente e evitando o custoso tratamento de solo ou água subterrânea.

Desde maio de 2002, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) passou a divulgar a relação de áreas contaminadas do estado de São Paulo, podendo ser observado um grande aumento na quantidade de áreas registradas ao longo do tempo (figura 1). As áreas contaminadas estão divididas por tipo de atividade fonte da contaminação, sendo elas: postos de combustível, atividades industriais, atividades comerciais, instalações para destinação de resíduos e casos de acidente e fonte de contaminação desconhecida (CETESB, 2010a).

Entretanto, o aumento de áreas contaminadas cadastradas não implica em maior ocorrência de contaminações, mas pode indicar uma fiscalização mais efetiva executada pela CETESB. No caso de postos de combustível, sua identificação não é simples, visto que muitos postos possuem sistema de armazenagem subterrâneo, dificultando a percepção de vazamentos, principalmente quando em pequenas quantidades.

Segundo dados da CETESB (2010a), do total de áreas contaminadas catalogadas no estado de São Paulo em novembro de 2009, 79% são originadas por postos de combustível. Devido a essa parcela majoritária, cuidados especiais devem ser tomados na escolha do local e na instalação deste tipo de empreendimento.

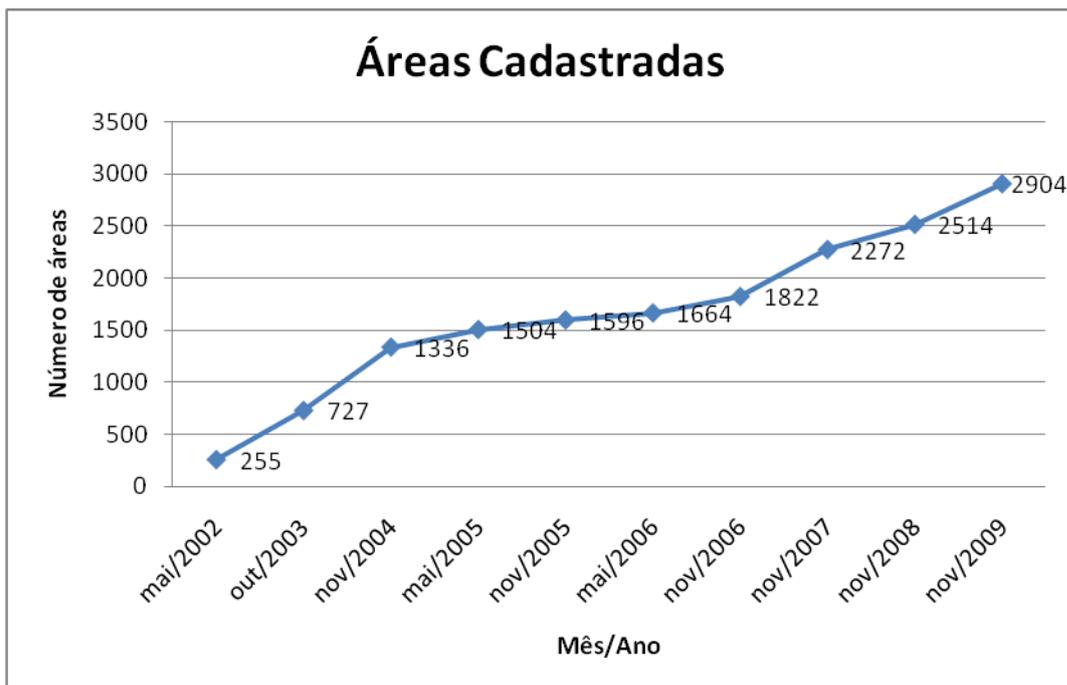


Figura 1: Total de áreas contaminadas cadastradas (adaptado de CETESB, 2010a)

Para a elaboração do presente trabalho de graduação foram utilizados conhecimentos referentes a diversas disciplinas oferecidas durante o curso de engenharia ambiental, destacando-se: Geologia e Solos; Poluição Ambiental; Técnicas de Representação em Engenharia Ambiental; Sistema de Informações Geográficas Aplicado à Engenharia Ambiental; Análise Ambiental: Gestão de Áreas Protegidas; Recuperação de Áreas Degradadas: Investigação, Análise e Gestão; Recursos Hídricos e Condicionantes Geológico-Geotécnicos em Estudos Ambientais.

### 1.1. Objetivos

A pesquisa teve como objetivo geral a geração de dados e informações que possam contribuir para a prevenção de contaminações do meio físico urbano, principalmente solo e águas subterrâneas, devido a vazamentos de tanques de postos de combustível, com a indicação das áreas de maior aptidão para a implantação de novos postos.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- Revisar bibliografia referente ao meio físico da área de estudo e à contaminações por vazamento de tanques de combustível;
- Coletar dados de campo utilizando GPS e observações do meio físico;
- Utilizar conhecimentos da área ambiental e de uso do SIG para o mapeamento e análise dos dados em conjunto;

- Classificar os postos em relação ao perigo de contaminação de recursos hídricos;
- Indicar áreas mais aptas à instalação de postos de combustível por meio de mapas de vulnerabilidade de contaminação;
- Utilizar de maneira integradora conhecimentos da área ambiental provenientes de diferentes disciplinas do curso de graduação para a realização do trabalho.

## 2. MÉTODO

A abordagem geral desta pesquisa apoiou-se em Leite (1995), que investigando a escolha de um sítio de disposição de resíduos, classificou os dados necessários para a elaboração de uma carta de suscetibilidade à contaminação e à poluição das águas subsuperficiais em: básicos, climáticos, geológicos, de materiais inconsolidados, geomorfológicos, hidrogeológicos, hidrológicos locais e geotécnicos.

Os dados básicos aplicáveis ao mapeamento de áreas de maior perigo de contaminação por vazamento em postos são: o tipo de rejeito (no caso, os combustíveis comercializados no estabelecimento), a localização de poços tubulares da região, a localização das fontes contaminantes e as principais bacias hidrográficas.

Os regimes de precipitação e de evapotranspiração estão entre os dados climáticos principais.

Quanto aos dados geológicos, podem ser citados: o tipo de substrato rochoso; o tipo predominante de argilomineral existente; a análise das discontinuidades; a dimensão e a distribuição das litologias e a estabilidade tectônica.

Os dados hidrogeológicos locais relevantes são: a ocorrência e o tipo de aquífero; a litologia do aquífero; a profundidade do nível d'água; a direção e as redes de fluxo d'água subterrânea; as áreas de recarga e descarga e a espessura do aquífero. Os dados hidrológicos locais são: a densidade de drenagem; a distância e o posicionamento dos recursos hídricos em relação à fonte contaminante; a localização das áreas alagadiças ou inundáveis e as taxas de escoamento superficial e de infiltração.

Finalmente, os dados geotécnicos são: a mineralogia; o índice de vazios; a massa específica seca; a massa específica dos sólidos; a permeabilidade; a compressibilidade; a colapsibilidade; o teor de umidade de campo; a capacidade de retenção de contaminantes; a alterabilidade dos materiais rochosos; a erodibilidade; a expansibilidade e a contratilidade; o pH; os movimentos de terra e as características de compactação.

Buscando-se uma estratégia de investigação que permitisse o levantamento, a organização, o tratamento e a análise do maior número destes dados listados acima, a pesquisa foi estruturada em quatro grandes fases.

Iniciou-se com a revisão bibliográfica, seguida da aquisição, do tratamento e da análise dos dados necessários para o trabalho. Para a fase de aquisição, foram feitos levantamentos sistemáticos de campo, com o cadastro dos postos situados na área de estudo (com GPS), observação do meio físico no entorno dos postos, pesquisa sobre tipo de solo e suas características, geologia e águas subterrâneas e levantamento de dados de poços profundos nas proximidades da área de estudo. As fases de tratamento e análise dos dados foram feitas com o uso de um sistema de informações geográficas (SIG). Por fim, foi feita a redação do presente trabalho com as conclusões obtidas, incluindo mapas temáticos com os resultados alcançados.

Foram elaborados mapas para o auxílio nas posteriores análises a serem feitas durante o projeto. Para isso foi utilizado o SIG Arcview, versão 3.2a, bem como o SIG ArcGIS 9.3. As bases do trabalho foram duas folhas topográficas, do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1989), de escala 1:10.000 de São Carlos (São Carlos V e São Carlos I), sendo que a área de estudo foi delimitada em parte das duas folhas.

## 2.1. Aquisição e Tratamento de Dados

Primeiramente os arquivos escaneados das folhas topográficas na escala 1:10.000 (arquivos no formato *raster*) foram georreferenciados no sistema de projeção UTM (Universal Transverse Mercator), datum Córrego Alegre e fuso 23S, para que as posteriores análises pudessem ser feitas no SIG. Nesse mapa, digitalizou-se as curvas de nível (equidistância de 5m), as drenagens, os espelhos d'água e a rodovia e ferrovia que cortam a área.

Com a base topográfica foi possível gerar o modelo digital de terreno (MDT), a partir do qual foi gerada a carta de declividades para a observação de áreas críticas de ocupação. Para a avaliação do MDT, foi feita avaliação visual comparativa entre as curvas de nível da carta original e as curvas de nível geradas a partir do MDT. Além disso, calculou-se o erro quadrático médio (RMS) em relação à carta original. Para tal, inicialmente a área de estudo foi dividida em 48 quadrantes iguais, sendo escolhido um ponto de cota conhecida próximo do centro de cada quadrante ( $z_{BASEi}$ ). Em seguida, extraíram-se as cotas desses pontos do MDT ( $z_{MDTi}$ ), sendo possível calcular o RMS de acordo com a equação 1.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{48} (z_{BASEi} - z_{MDTi})^2}{48}} \quad (1)$$

A base topográfica também originou o mapa com as áreas de preservação permanente (APP) da área de estudo, de acordo com as legislações vigentes. Para o traçado das APP tomou-se o cuidado de traçar inclusive as APP de corpos d'água situados fora da área de estudo, pois algumas dessas APP acabavam sendo parte da área de interesse. Ainda a partir da base topográfica, foram traçadas as microbacias hidrográficas pertencentes à área de estudo, traçando os divisores de água perpendicularmente às curvas de nível e de modo a interceptar os pontos cotados. Ainda foram gerados um mapa com imagem de satélite proveniente do programa Google Earth e um mapa com as principais unidades geológicas da área, provenientes do trabalho de Muro (2000).

Foram acrescentados pontos da localização dos postos de combustível aos mapas, cadastrados inicialmente por Moschini, Santos e Pires (2005) e atualizados no presente trabalho, bem como suas classificações dadas pela CETESB (2010b). O cadastro consistiu na coleta das coordenadas dos postos, por meio de GPS, e preenchimento de ficha de campo com dados de nome e bandeira do posto, aspectos topográficos, proximidade de corpos d'água, uso e cobertura do solo, fotografia e imagem de satélite.

## 2.2. Análise dos Dados

Analisou-se o perigo de contaminação do lençol freático, devido à sua maior vulnerabilidade à contaminação por ser o aquífero mais próximo da superfície. Para isso, foi digitalizado o mapa do lençol freático da área urbana de São Carlos, elaborado por Bortolucci (1983), e acrescentados pontos cotados localizados nas drenagens da área de estudo, com as cotas adquiridas por extração dos valores do MDT. Adicionalmente, utilizaram-se dados provenientes do DAEE (2010a, 2010b, 2010c), referentes à localização, vazão, nível d'água, aquífero e profundidade dos poços presentes na área. Com tais dados delimitaram-se os perímetros de proteção de poços (PPP), de acordo com Dias et al. (2004). Os perímetros foram delimitados por um método de raio calculado ( $r$ ) com critério de tempo de trânsito ( $t$ ), apresentado pela Environmental Protection Agency (EPA, 1987), que considera ainda a vazão do poço ( $Q$ ), a porosidade efetiva do aquífero ( $n_e$ ) e a profundidade saturada do poço ( $H$ ), de acordo com a equação 2.

$$r = \sqrt{\frac{Q.t}{\pi.n_e.H}} \quad (2)$$

Com os dados do nível estático da água nos poços do Aquífero Botucatu, provenientes do DAEE (2010b), foi gerada a superfície piezométrica na área por meio de interpolação feita no SIG ArcGIS 9.3. Essas informações foram sobrepostas às cotas da superfície do terreno, gerando um mapa com as profundidades do nível piezométrico em relação às cotas do terreno. Dessa forma, foi possível estabelecer valores aproximados do nível estático de alguns poços do Aquífero Botucatu, dos quais não havia informações no banco de dados do DAEE. Assim, foram estabelecidos pesos com valores de 1 a 5 para os perímetros de proteção dos poços (PPP), para as faixas da profundidade do lençol freático e para as classificações dos postos de combustível quanto à contaminações. O maior peso (cinco) foi dado para as piores situações, ou seja: o Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PPP mais restritivo), a faixa de menores profundidades do lençol freático e os postos classificados como área contaminada (AC). A tabela 1 apresenta os pesos adotados para as análises de perigo realizadas.

Dessa forma, foram determinados os postos que representam maior perigo para a contaminação de águas subterrâneas. Foram feitas análises de perigo em relação aos Perímetros de Proteção (PPP) e à profundidade do nível d'água, separadamente. Realizou-se uma multiplicação entre os pesos da classificação dos postos pelos pesos referentes aos PPP e entre os pesos dos postos e os pesos das faixas de profundidade do nível d'água. Com o produto dos pesos foi feita uma classificação quanto ao perigo de contaminação dos postos, como apresentado na tabela 2. Nos casos em que o produto dos pesos resultou em valores limites das classes (5, 10, 15 ou 20), foi adotada a classe de maior perigo, por segurança.

Como última análise referente às águas subterrâneas, foi feita a sobreposição dos dados de Perímetros de Proteção dos Poços com os dados de profundidades do lençol freático, a fim de selecionar as áreas mais propícias a receberem postos de combustível. Somaram-se os pesos das classes dos dados dos mapas, classificando as áreas quanto à vulnerabilidade do aquífero, de acordo com a tabela 3. Por fim, essas classes de vulnerabilidade tiveram seus pesos (indicados na tabela 3) multiplicados pelos pesos dos postos, sendo estes últimos classificados quanto ao perigo de contaminação de acordo com a tabela 2. Os procedimentos para a elaboração do mapa de vulnerabilidade e para as análises de perigo estão resumidos nas figuras 2 e 3, respectivamente.

Além disso, analisou-se o perigo de contaminação das águas superficiais. Os procedimentos para esta classificação foram similares aos apresentados para as águas

subterrâneas. Foram consideradas as distâncias dos postos em relação às drenagens, reservatórios, nascentes e captações superficiais de água (DAEE, 2010c), e a declividade do terreno. Os pesos foram adotados de acordo com a tabela 4, sendo que para os postos, os pesos foram os mesmos que os apresentados na tabela 1.

O perigo de contaminação foi analisado combinando os valores de declividade com a distância entre os postos e cada corpo d'água analisado. Primeiramente, multiplicaram-se os pesos das classes de declividade pelas faixas de distância de cada corpo d'água separadamente, classificando as áreas de acordo com a tabela 2. Feito isso, esses valores foram multiplicados pelos pesos dos postos, sendo obtidas cinco classificações de perigo para os postos, de acordo com a tabela 2, novamente.

Por fim, os dados de distâncias e os dados de declividades foram sobrepostos, gerando um mapa com as áreas mais vulneráveis de contaminação das águas superficiais. Foi feita a média aritmética dos pesos, sendo os valores reclassificados em cinco classes (tabela 5). Os procedimentos para o mapeamento da vulnerabilidade das águas superficiais e para as análises de perigo de contaminação dos postos estão representados pelos fluxogramas das figuras 2 e 3, respectivamente.

As análises de perigo foram feitas de maneira relativa, de modo que fosse possível a comparação entre as situações encontradas na área de estudo. Dessa forma, a pior situação encontrada recebeu a classificação de perigo muito alto. Portanto, no caso de aplicação da mesma metodologia em uma área diferente, os resultados não poderiam ser comparados com os obtidos no presente trabalho.

Tabela 1: Pesos adotados para águas subterrâneas

<b>Perímetros de Proteção de Poços</b>	<b>Classificação do Posto</b>	<b>Profundidade do Lençol Freático (m)</b>	<b>Peso</b>
Perímetro Imediato de Proteção Sanitária	Contaminada	< 5	5
Perímetro de Alerta	Contaminada sob Investigação	5 – 10	4
Zona Proximal de Restrição e Controle	Nada Consta	10 – 15	3
Zona Distal de Restrição e Controle	Monitoramento para Reabilitação	15 – 20	2
Área Externa aos Perímetros	Reabilitada	> 20	1

Tabela 2: Classes de perigo adotadas

<b>Produto dos Pesos (P)</b>	<b>Classes</b>	<b>Perigo</b>
$1 \leq P < 5$	1	Muito Baixo
$5 \leq P < 10$	2	Baixo
$10 \leq P < 15$	3	Moderado
$15 \leq P < 20$	4	Alto
$20 \leq P < 25$	5	Muito Alto

Tabela 3: Classificação quanto à vulnerabilidade do lençol freático

<b>Soma de Classes</b>	<b>Peso</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
2	1	Muito Baixa
3 - 4	2	Baixa
5 - 6	3	Moderada
7 - 8	4	Alta
9 - 10	5	Muito Alta

Tabela 4: Pesos para águas superficiais

<b>Distância de Captações Superficiais (m)</b>	<b>Distância de Nascentes (m)</b>	<b>Distância de Reservatórios (m)</b>	<b>Distância de Drenagens (m)</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Pesos</b>
0 - 70	0 - 70	0 - 50	0 - 50	> 100	5
70 - 150	70 - 150	50 - 100	50 - 100	20 - 100	4
150 - 300	150 - 300	100 - 200	100 - 200	12 - 20	3
300 - 600	300 - 600	200 - 500	200 - 500	6 - 12	2
> 600	> 600	> 500	> 500	< 6	1

Tabela 5: Classes de vulnerabilidade das águas superficiais

<b>Média dos Pesos (M)</b>	<b>Classes</b>	<b>Perigo</b>
$1 \leq M < 1,8$	1	Muito Baixo
$1,8 \leq M < 2,6$	2	Baixo
$2,6 \leq M < 3,4$	3	Moderado
$3,4 \leq M < 4,2$	4	Alto
$4,2 \leq M < 5$	5	Muito Alto

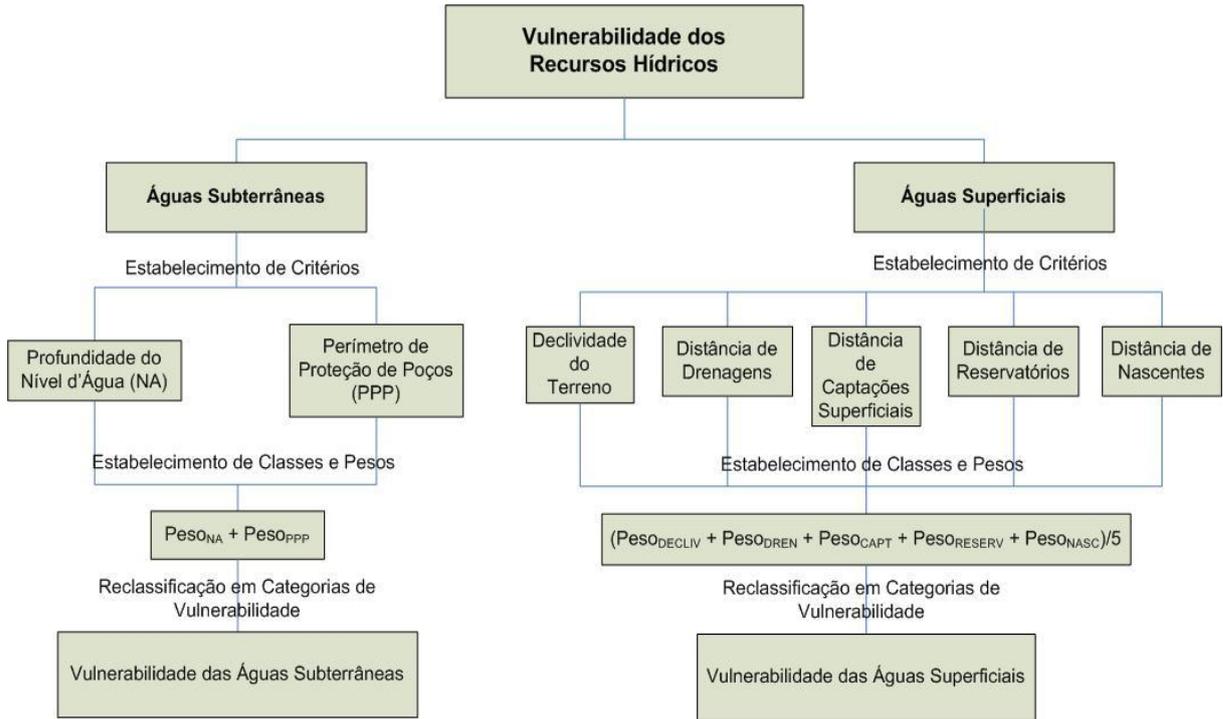


Figura 2: Fluxograma dos procedimentos para elaboração dos mapas de vulnerabilidade

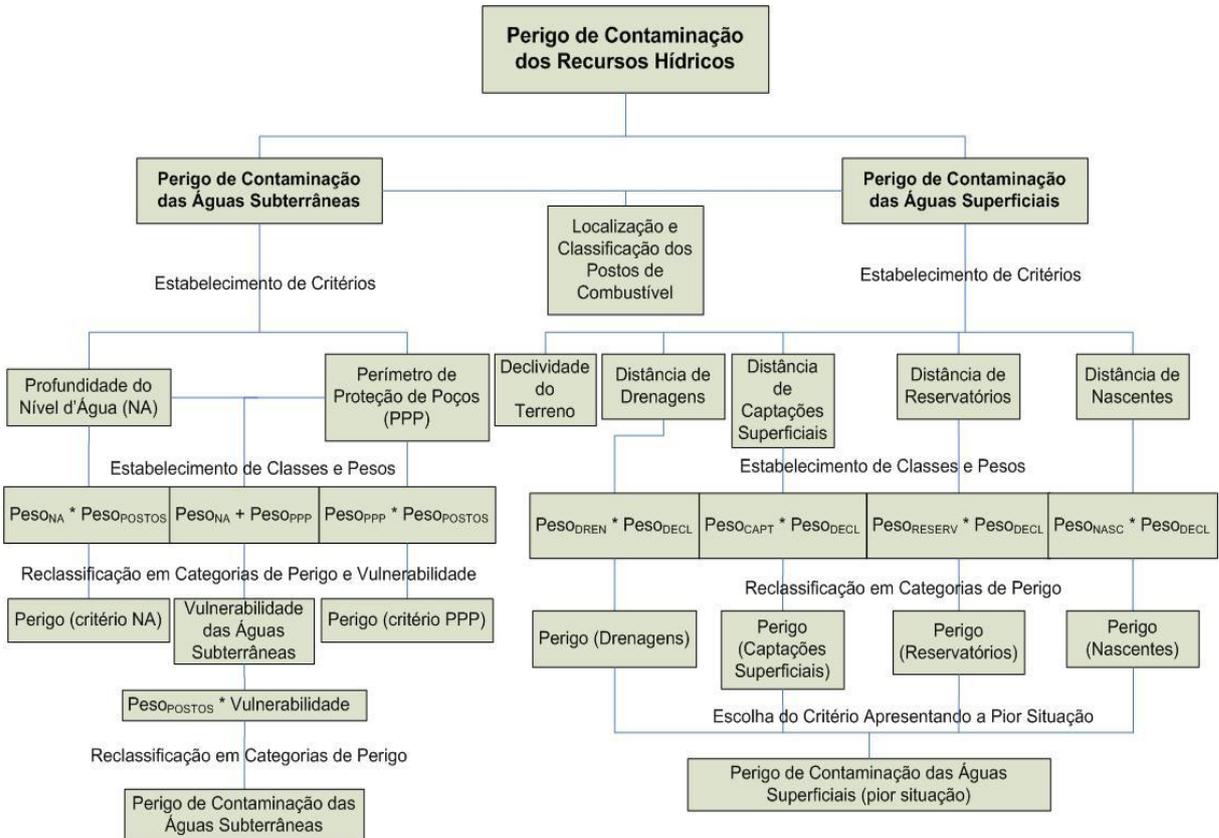


Figura 3: Fluxograma dos procedimentos das análises de perigo

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Histórico**

De acordo com o artigo 57 do capítulo I do Título V do decreto estadual 8.468 de 1976, os postos de abastecimento de combustíveis automotivos são considerados fontes de poluição, para efeito de obtenção de licenças ambientais (licenças prévia, de instalação e de operação). Os postos de combustível estão entre os empreendimentos dependentes de licença prévia relacionados pelo decreto. O mesmo decreto resolve que as fontes de poluição dependem de licença de instalação e de operação, sendo que essa redação foi acrescentada pelo decreto 47.397 de 2002. A resolução CONAMA n° 273 de 2000 especifica as exigências mínimas para a obtenção das licenças para postos de combustível. A resolução n° 5 de 2001 da Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo atribui à CETESB a aplicação da resolução CONAMA n° 273 de 2000, bem como o cadastro dos postos.

#### **3.2. Solo**

A definição de solo varia bastante de acordo com o uso que será dado ao termo. Para a agricultura é a camada de terra tratável que suporta as raízes das plantas, enquanto para a engenharia civil é o material escavável sem o uso de explosivos (VARGAS, 1977). Para a geologia, solo é o material originário do intemperismo das rochas (CHIOSSI, 1979). O intemperismo que dá origem aos solos depende da rocha originária, do clima, do agente de transporte, da topografia e dos processos orgânicos (VARGAS, 1977), de modo que esses fatores são responsáveis por parte das características do solo.

##### **3.2.1. Propriedades índice**

Para a determinação das propriedades dos solos são utilizadas propriedades índice, que são mais simples e mais facilmente determináveis (VARGAS, 1977), considerando o solo como um sistema trifásico, sendo a fase sólida constituída pelos grãos, a fase líquida pela água e a gasosa pelo ar, sendo as duas últimas presentes nos poros (vazios) intergranulares. Essas propriedades podem ser referentes aos constituintes do solo (textura, granulometria, plasticidade e atividade da fração fina) ou ao estado natural do solo (compacidade, consistência e estrutura) (VARGAS, 1977).

### 3.2.1.1. Textura e granulometria

Segundo Vargas (1977), a textura do solo é o tamanho relativo dos grãos, enquanto granulometria é a medida deles. O método usado para análise granulométrica de areias e pedregulhos é o peneiramento, com peneiras padronizadas. Para argilas e siltes, é utilizado o método da análise por sedimentação. O resultado dessa análise é expresso por uma curva com os logaritmos dos diâmetros dos grãos nas abcissas e as porcentagens em massa dos grãos de diâmetro menor que da peneira correspondente nas ordenadas, sendo essa curva denominada curva granulométrica.

### 3.2.1.2. Plasticidade e limites de Atterberg

Plasticidade é “[...] a habilidade de um material mudar de forma continuamente sobre influência de uma tensão e manter a nova forma após a remoção da tensão.” (YAMADA, 2004, p. 20). Essa é uma propriedade usada para caracterização de solos finos. Isso se deve à forma lamelar dos grãos dos solos argilosos, diferentemente da forma arredondada dos solos arenosos. Esse formato lamelar permite que as partículas se desloquem uma em relação à outra sem variação de volume (VARGAS, 1977). Entretanto, o teor de umidade também influencia na plasticidade do solo (YAMADA, 2004). Vargas (1977) afirma que para que os grãos deslizem é necessário que haja umidade para que a água funcione como lubrificante. Quando há pouca umidade, o solo não pode ser moldado, quebrando-se quando sujeito a esforços (estado semi-sólido), e com umidade excessiva, comporta-se como um líquido viscoso, como se as partículas estivessem em suspensão (estado líquido). Os limites de umidade entre cada estado são denominados limites de Atterberg, sendo o limite de liquidez (*LL*) a umidade entre os estados líquido e plástico e o limite de plasticidade (*LP*) a umidade entre os estados plástico e semi-sólido (VARGAS, 1977). Com isso é possível calcular o índice de plasticidade (*IP*), sendo definido como:

$$IP = LL - LP$$

Para Vargas (1977), é necessário além do *IP*, o *LL* ou o *LP* para definir a plasticidade de um solo. Yamada (2004) adverte que pequena quantidade de matéria orgânica aumenta o *LP*, mantendo o valor do *LL*.

### 3.2.1.3. Propriedades da fração argilosa do solo

Segundo Vargas (1977), a fração argilosa do solo é constituída por um ou mais argilo-minerais, sílica coloidal, cristais de quartzo, limonita ou magnetita e matéria orgânica. Para o mesmo autor, as propriedades dos grãos da fração argilosa que influenciam no comportamento do solo são a natureza mineralógica, a troca catiônica, a atividade, a coesão e a contração de resistência seca.

Quanto à natureza mineralógica, podem ser citados como principais grupos mineralógicos as caolinitas, as ilitas e as montmorilonitas. As caolinitas possuem as menores plasticidade e coesão dos grupos citados (VARGAS, 1977). As montmorilonitas possuem as maiores plasticidade e coesão entre os grupos referidos, sendo expansiva de acordo com o teor de água (VARGAS, 1977). Por fim, as ilitas possuem estrutura semelhante a das montmorilonitas, mas com a maior parte do Si quadrivalente substituída por Al trivalente e compensação de cargas com K monovalente (VARGAS, 1977).

O caráter coloidal das partículas de argila, com carga superficial negativa, faz com que seja possível ocorrer a adsorção de cátions no solo. Segundo Vargas (1977), os cátions adsorvidos e a troca destes alteram as propriedades da argila. O mesmo autor define a capacidade de troca de cátions (CTC) como o peso dos cátions (em miliequivalentes) que podem ser adsorvidos em 100g de sólidos. Há variação dos valores de CTC encontrados na literatura para os grupos mineralógicos citados. A tabela 6 mostra os valores de CTC e área superficial dos minerais apresentados por Mohamed e Antia (1998).

Tabela 6: CTC e área superficial de minerais

<b>Mineral</b>	<b>CTC (meq/100g)</b>	<b>Área Superficial (m<sup>2</sup>/g)</b>
Caolinita	1 - 10	10 - 20
Montmorilonita	80 - 120	600 - 800
Ilita	20 - 40	70 - 150

Fonte: modificado de Mohamed e Antia (1998)

Skempton (1953 apud VARGAS, 1977, p. 28-29) define a atividade como o grau de comportamento argiloso que a fração argila do solo lhe transmite, propondo o índice de atividade do solo para sua medida. Este é a relação entre o *IP* e a porcentagem de grãos de argila.

Vargas (1977) afirma que coesão é a resistência empregada ao solo pela fração argilosa, sendo que tal resistência pode ocorrer devido à existência de um cimento natural, ao

potencial atrativo molecular ou coloidal pela proximidade dos grãos, e à pressão capilar na água intersticial.

A argila ao perder umidade sofre redução de volume até certo limite dado pelas forças moleculares (limite de contração). A redução de volume mantém o solo saturado até certo limite, a partir do qual o solo não é mais saturado e uma pequena redução de volume implica em grande aumento de resistência devido à proximidade atingida entre as partículas. Essa propriedade é denominada contração de resistência seca (VARGAS, 1977).

### 3.2.2. Propriedades de estado do solo

Considerando  $V_{AR}$ ,  $V_w$  e  $V_s$  os volumes de ar, água e sólidos, respectivamente, de uma amostra de solo de volume  $V$ , as expressões seguintes apresentadas por Vargas (1977) definem os índices físicos do solo.

Sendo  $V_v = V - V_s$  o volume de vazios do solo,  $M$  a massa total do solo e  $M_s$  a massa seca do solo.

Massa específica do solo ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Para  $h$  a umidade do solo e  $M_w$  a massa de água, considerando desprezível a massa de ar,  $M_w = M - M_s$ , podendo  $h$  e  $M$  serem escritos da seguinte maneira:

$$h = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \Leftrightarrow M = \left(1 + \frac{h}{100}\right) M_s$$

A massa específica aparente seca ( $\rho_D$ ) do solo é dada por:

$$\rho_D = \frac{M_s}{V} = \frac{M}{V(1+h/100)} = \frac{\rho}{(1+h/100)}$$

Massa específica dos grãos ou dos sólidos (densidade do mineral) ( $\rho_s$ ):

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

Índice de vazios ( $e$ ):

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{V}{V_s} - 1$$

Porosidade ( $n$ ):

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100$$

Grau de saturação ( $S$ ):

$$S = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$$

No caso de  $S = 100\%$ , sendo ( $\rho_w$ ) a densidade da água, a massa específica do solo será a massa específica do solo saturado ( $\rho_{SAT}$ ):

$$\rho_{SAT} = \frac{M_s + \rho_w V_w}{V} = \rho_D + \rho_w \cdot \frac{n}{100}$$

Pode ainda ser acrescentada a massa específica submersa ( $\rho_{SUB}$ ), que seria a massa específica do solo abaixo do nível d'água (YAMADA, 2004), sendo definida como  $\rho_{SUB} = \rho_{SAT} - \rho_w$ .

Cabe acrescentar também o conceito de porosidade efetiva ( $n_e$ ), definida como a porcentagem de água drenável de uma amostra por gravidade (volume de água livre). Já a porcentagem de água restante na amostra após drenagem por gravidade, é denominada capacidade de retenção específica ( $r_s$ ) (CUSTODIO e LLAMAS, 1996). Sendo ( $V_L$ ) e ( $V_R$ ) os volumes de água livre e retida, pode-se escrever:

$$n_e = \frac{V_L}{V} \cdot 100$$

$$r_s = \frac{V_R}{V} \cdot 100$$

$$n = n_e + r_s$$

### 3.2.1.4. Compacidade e densidade relativa

Segundo Vargas (1977), a compacidade é uma característica inerente a solos não coesivos (areias e pedregulhos), referindo-se à maior (compacto) ou menor (fofo) densidade do solo. O autor conclui que apesar do  $e$  e  $\rho_D$  darem idéia da compacidade de um tipo de areia, para efeito de comparação entre solos diferentes, é necessário que  $e$  e  $\rho_D$  sejam relativos a valores limites do estado mais fofo e mais denso possível do solo. Dessa forma, é definido  $e_{máx}$  o índice de vazios para o estado mais fofo do solo e  $e_{mín}$  para o estado mais compacto do solo. Então, o grau de compacidade ou densidade relativa ( $D_r$ ) é:

$$D_r = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{mín}}$$

Em termos de  $\rho_D$ :

$$\rho_{Dmín} = \frac{\rho_s}{1 + e_{máx}} \quad \rho_{Dmáx} = \frac{\rho_s}{1 + e_{mín}}$$

$$D_r = \frac{\rho_D - \rho_{Dmín}}{\rho_{Dmáx} - \rho_{Dmín}} \cdot \frac{\rho_{Dmáx}}{\rho_D}$$

### 3.2.1.5. Consistência e resistência à compressão simples

A consistência refere-se a solos coesivos (argilosos), em relação a sua dureza, podendo ser determinada através de sua umidade ou coesão. A consistência é inversamente proporcional à umidade, sendo possível classificar a consistência em fluida ( $h > LL$ ), plástica ( $LP < h < LL$ ) e dura ( $h < LP$ ). Através da coesão, a consistência pode ser medida por um ensaio de compressão simples, que consiste na medida da pressão requerida para um cone penetrar 1,0 cm na amostra (VARGAS, 1977).

### 3.2.1.6. Estrutura

Estrutura pode ser considerada o arranjo ou configuração das partículas do solo. A estrutura dos solos exclusivamente arenosos varia apenas em fofo e compacta. Por outro lado, nos solos argilosos ou de granulometria variada, os arranjos podem ser muito mais complexos. Nesse caso, as partículas coloidais podem sedimentar separadamente devido às forças repulsivas (estrutura dispersa) ou aglutinarem-se por desestabilização das cargas superficiais sedimentando em flocos (estrutura floculada) (VARGAS, 1977).

### 3.2.3. Condutividade hidráulica

É a “[...] facilidade com que um fluido percola em um meio poroso”, servindo para medir a capacidade do meio de conduzir água devido a um gradiente ( $i$ ) de uma superfície potenciométrica (LEITE, 1995, p. 16).

O gradiente hidráulico representa a perda de carga ( $\Delta h$ ) por unidade de peso de fluxo por uma determinada distância ( $\Delta x$ ) (VARGAS, 1977):

$$i = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta h}{\Delta x} = -\frac{dh}{dx}$$

Leite (1995) afirma que a condutividade hidráulica ( $K$ ) é função tanto do meio quanto do fluido, podendo ser expressa da seguinte forma:

$$K = k \cdot \rho \frac{g}{\mu}$$

Em que  $\rho$  e  $\mu$  são a densidade e viscosidade dinâmica do fluido e  $g$  é a aceleração da gravidade.

Yong (2001) destaca a importância da condutividade hidráulica na questão do transporte de poluentes no solo, pois é um parâmetro importante para a determinação do mecanismo de transporte atuante (advecção ou difusão). O mesmo autor sugere a seguinte expressão para o cálculo da velocidade de fluxo no caso de presença de contaminantes na água:

$$v = k \cdot \rho \frac{g}{\mu} i$$

Sendo  $\rho$  e  $\mu$  a densidade e viscosidade do fluido percolante.

Ainda vale citar a Lei de Darcy, que estabelece a taxa de fluxo ( $Q$ ) em função da condutividade hidráulica, do gradiente hidráulico e da área de seção do conduto ( $A$ ), por meio de um ensaio de fluxo aquoso em uma coluna de solo (SANTOS, 2004):

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

Entretanto, a Lei de Darcy é válida apenas para escoamento laminar, índice de vazios constante e condição de equilíbrio alcançada na percolação, sendo aplicável, em geral, a solos com predominância argilas até areias médias, que devido ao tamanho dos poros mantém escoamento menos turbulento (SANTOS, 2004).

### 3.2.4. Permeabilidade

É a propriedade que controla o escoamento subterrâneo, sendo usado para cálculo de vazão de bombeamento (EPA, 1996). É dependente apenas das características do meio (LEITE, 1995).

De acordo com Chiossi (1979), a permeabilidade varia com o diâmetro, a granulometria, a forma e o arranjo das partículas, e conseqüentemente, com a interligação dos poros, vazios e fraturas (no caso de rochas), sendo quantificada através do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) (dimensão de área). Considerando  $C$  uma constante de proporcionalidade (função do meio)  $d$  o diâmetro médio das partículas (LEITE, 1995):

$$k = C.d^2$$

### 3.2.5. Profundidade e variação do nível d'água

A subsuperfície da crosta terrestre pode ser dividida em zona saturada e não saturada (vadosa), de modo que na primeira, todos os vazios estão preenchidos com água, enquanto na segunda, parte dos vazios está preenchida com água e a outra parte com ar (EPA, 1996). O contato entre as duas zonas é denominado superfície freática, definida como o lugar geométrico em que a água ocorre sob pressão atmosférica (YAMADA, 2004).

Outros fatores importantes no escoamento subterrâneo da água são as variações da profundidade da superfície freática e da carga hidráulica ao longo do espaço (EPA, 1996).

A profundidade da superfície freática pode ser monitorada com relativa facilidade através de poços (EPA, 1996). É um parâmetro importante, uma vez que mantendo todas as outras propriedades constantes, quanto menor a profundidade, maiores as chances de um contaminante atingir o nível d'água. Além disso, é um parâmetro variável com a quantidade de chuva e extração de água por meio de poços de bombeamento.

Medidas da carga hidráulica por meio de poços e piezômetros podem dar indicação do valor do gradiente hidráulico (diferença de energia) e, por conseguinte, a direção do escoamento (EPA, 1996). Quanto maior a diferença de carga hidráulica entre dois pontos, maior a velocidade de escoamento. No caso específico de tanques de armazenamento subterrâneo é comum o acúmulo de água na área escavada para o tanque, formando uma área de carga hidráulica superior à da superfície freática local. Isso pode ocorrer pelo preenchimento da área escavada com material muito mais permeável que o solo do entorno. Resulta disso que o gradiente hidráulico local é alterado, podendo fazer com que um eventual vazamento escoe em todas as direções (EPA, 1996).

### **3.2.6. Anisotropia e heterogeneidade**

A anisotropia pode ser definida como uma condição do material geológico, em que a medida de uma propriedade depende da direção em que ela é feita. Isso pode ter como consequência, por exemplo, o escoamento da água em uma direção diferente do gradiente hidráulico. A anisotropia pode ocorrer em três dimensões, sendo comum em solos com grande quantidade de finos e em rochas metamórficas folheadas (EPA, 1996).

A heterogeneidade é caracterizada pela variação das propriedades do material em um espaço relativamente pequeno. Esse fato pode influenciar na direção e velocidade de escoamento subsuperficial. O escoamento em um meio heterogêneo pode ser mais rápido que em um meio homogêneo pela criação de caminhos preferenciais (EPA, 1996).

Dessa forma, os conceitos de anisotropia e heterogeneidade se aplicam a todas as propriedades descritas no trabalho, sendo importante sua consideração na pesquisa.

### **3.3. Corrosividade**

O solo pode ser considerado como meio corrosivo. Ferreira (2005) alerta sobre a importância do estudo considerando essa premissa, devido ao grande número de instalações subterrâneas existentes, como tubulações, tanques de armazenamento e reservatórios, pois sua deterioração pode acarretar problemas ambientais e econômicos.

Segundo Gomes (2010), a corrosão causada pelo solo depende de variáveis como aeração, umidade, pH, presença de microorganismos, condições climáticas, presença de fertilizantes e despejos industriais, condição do revestimento, contato bimetálico devido à malha de aterramento elétrico de cobre e correntes de fuga. Entretanto, de acordo com o mesmo autor a corrosão do solo pode ser diagnosticada com boa precisão com o conhecimento da resistividade elétrica e pH do solo, dos potenciais das instalações em relação ao solo e das características das instalações.

Gomes (2010) explica a influência da resistividade, diferença de potencial entre instalação e solo, pH e revestimento na corrosão, sendo apresentados a seguir.

Com relação à resistividade elétrica do solo, quanto menor seu valor, as pilhas das instalações funcionam com mais facilidade. Os solos podem ser classificados quanto à sua agressividade de acordo com a tabela 7.

A diferença de potencial entre a instalação e um eletrodo de referência no solo pode ser usada como indicador da corrosão ocasionada pelo solo. A tabela 8 apresenta os valores de diferença de potencial entre a instalação e suas possíveis indicações.

A tabela 9 mostra a provável situação da instalação quanto aos processos corrosivos do solo em função de uma combinação do pH do solo e do potencial da instalação.

Tabela 7: Agressividade do solo em função da resistividade elétrica

<b>Resistividade Elétrica (<math>\Omega</math>.cm)</b>	<b>Agressividade</b>
< 10.000	Alta
10.000 a 50.000	Média
> 50.000	Baixa

Fonte: modificado de Gomes (2010)

Tabela 8: Interpretações da diferença de potencial

<b>Diferença de Potencial (V)</b>	<b>Possíveis Interpretações</b>
-0,50 a -0,60 fixos e sem flutuações	Potencial natural de aço ou ferro fundido enterrados
-0,20 fixo e sem flutuações	Potencial natural de cobre enterrado
-0,20 a -0,50	Corrosão galvânica (aço/cobre)
-0,70 ou mais negativo	Recebimento de corrente contínua externa
menos negativo que -0,20 e flutuante	Corrente de fuga com corrosão eletrolítica grave
-0,85 ou mais negativo	Protegido catodicamente

Fonte: modificado de Gomes (2010)

Tabela 9: Ocorrência de corrosão em função do pH e potencial

<b>pH</b>	<b>Potencial (V)</b>	<b>Ocorrência de Corrosão</b>
< 8	Menos negativo que -0,85	Corrosão
> 8	Igual ou mais negativo que -0,85	Proteção de filme de óxido estável
Qualquer	Igual ou mais negativo que -0,85	Proteção catódica

Fonte: modificado de Gomes (2010)

Apesar da existência de diversos tipos de revestimento para a proteção de equipamentos contra a corrosão, o método de proteção de baixo custo mais eficaz é o de proteção catódica. Este consiste de um ou mais retificadores e ânodos inertes de titânio ativado instalados a 3m de profundidade, de modo que a diferença de potencial seja mantida a valores iguais ou mais negativos que -0,85V (Cu/CuSO<sub>4</sub>). Os revestimentos anti-corrosivos possuem a desvantagem de deixar falhas de revestimento, podendo ocasionar corrosões localizadas.

### 3.4. Compressibilidade

A compressibilidade é a propriedade do solo de mudar de forma ou volume em virtude da aplicação de forças externas. Pode-se considerar que a mudança de volume se dá pela mudança do volume de vazios e expulsão da água intersticial, pois a mudança de volume das fases sólida e líquida é desprezível (COTTAS, 1983 apud YAMADA, 2004).

Em solos grossos, a aplicação de forças externas pode implicar em compressão (em solos grossos fofos), dilatação (em areias compactas) e deformação (em situações de índice de vazios, granulometria e pressões aplicadas específicas). No caso de solos finos a compressibilidade é em geral mais alta devido a sua estrutura mais complexa e à capacidade dos grãos sofrerem flexão ou dobramento. Entretanto, a menor permeabilidade dos solos faz com que a água intersticial seja expulsa com maior dificuldade, absorvendo parte da pressão aplicada (VARGAS, 1977).

Vargas (1977) adverte que além dos processos mecânicos, há também fatores físico-químicos intervenientes no processo. O autor cita o trabalho de Bolt (1956 apud VARGAS, 1977), que explica esse fato. Quando a concentração de íons adsorvidos nas partículas do solo é maior que na água livre, a pressão osmótica também é maior favorecendo a expulsão de água do sistema. Essa diferença de concentração pode ser deflagrada pela troca de íons de cálcio (inicialmente adsorvidos no solo) por íons de sódio, por exemplo.

O resultado da compressão do solo é o recalque das fundações, sendo definido como “[...] a deformação vertical positiva de uma superfície qualquer delimitada no terreno.” (VARGAS, 1977, p. 247). Os recalques podem ocorrer com “*e*” constante ou com variação do “*e*”. O primeiro caso geralmente ocorre em areias ou em carregamentos rápidos de argila, ocorrendo o recalque logo após o esforço, sendo denominado imediato. O segundo caso ocorre em camadas argilosas sob carregamento permanente, com o recalque se estendendo por longos períodos, sendo denominado diferido (VARGAS, 1977).

### 3.5. Expansibilidade

A expansibilidade é o processo inverso da compressibilidade, caracterizado pelo aumento do volume do solo quando interrompidas as pressões atuantes. As pressões osmóticas atuantes na compressão do solo também influenciam na expansão, de modo que quanto maior a pressão osmótica, maior a quantidade de água succionada para o sistema (VARGAS, 1977). Yamada (2004) complementa que no caso das argilas, a expansão depende da umidade inicial, sendo que a umidades da ordem de 15%, o solo pode absorver muita

umidade, expandindo-se a ponto de causar danos a estruturas. Em contrapartida, para umidades iniciais de 30%, é razoável considerar que praticamente toda a expansão do solo já ocorreu.

O tipo de mineral também interfere na expansibilidade. Segundo Vargas (1977), a montmorilonita pode absorver água para dentro de sua própria estrutura cristalina, podendo fazer com que o volume do solo passe a ser maior que o volume inicial. O autor relata que a relação entre compressibilidade e expansibilidade próxima de um caracteriza o predomínio das pressões osmóticas no processo de movimentação da água intersticial em relação aos esforços mecânicos. Entretanto, a expansibilidade geralmente está entre 0,1 a 0,3 do valor da compressibilidade.

### **3.6. Colapsibilidade**

O colapso é um processo de recalque imediato de elevada variação de volume, podendo causar danos em maciços de barragens, construções rurais, pavimentos, obras subterrâneas (inclusive tanques de armazenamento de combustível e tubulações) e rupturas de fundações (SILVA, 2006).

Os solos sujeitos a tal processo são denominados solos colapsíveis, sendo não saturados, macroporosos e instáveis quando sujeitos a pressões externas ou a saturação (SILVA, 2006). Vargas (1977) reporta que o colapso pode ocorrer em areias lançadas secas e fofas em aterro após inundação e argilas lixiviadas (argilas colapsíveis tropicais) não saturadas com macroporos, sendo esta última com ocorrência em regiões de inverno seco e verão muito chuvoso. Para o mesmo autor, a instabilidade das areias e argilas colapsíveis tropicais se dá pela presença de macroporos muitas vezes visíveis a olho nu e fracas ligações entre os grãos, já que a ligação destes ocorre por fraca cimentação ou por meniscos capilares. Essas estruturas podem ser formadas por deposição eólica e cimentação calcárea ou por lixiviação do material fino.

Segundo Vargas (1977) a ocorrência do colapso depende da saturação do solo. Silva (2006) cita como possíveis fontes de saturação, além da própria precipitação, sistemas de irrigação e vazamento de tubulações de água, o vazamento de material contaminante de tanques de armazenamento subterrâneo, tubulações de esgoto e de locais de disposição de resíduos sólidos (chorume).

### 3.7. SIG

Câmara, Davis e Monteiro (2004) definem um Sistema de Informação Geográfica (SIG) como um sistema que realiza o tratamento computacional de dados geográficos e recupera informações com base em suas características alfanuméricas e sua localização espacial. Para Simões (1993) o SIG é um sistema utilizado para coletar, armazenar e analisar fenômenos, cuja localização geográfica seja importante.

A definição de Silva et al. (2008) para um SIG é de um sistema computacional usado para digitalizar informações espaciais, armazenar informações de forma compacta, analisar dados geográficos, prever cenários, apresentar mapas e imagens em formato digital e apresentar resultados por meio de gráficos, números e tabelas. Entretanto, para os mesmos autores não é possível uma definição única e universal para um SIG, pois este integra tecnologias de campos muito diversos, havendo diversos tipos de SIG desenvolvidos para usos também diversos.

Segundo Silva et al. (2008, p. 19),

“Os SIG fundamentam-se no fato de que um objeto no espaço geográfico pode ser descrito por meio de um sistema de coordenadas (latitude, longitude e altitude, ou coordenadas relativas), de suas propriedades (atributos) e de suas relações (topologia) [...]”

Dessa forma, qualquer objeto pode ser encontrado a partir de seus atributos e os atributos de qualquer objeto são encontrados a partir de suas coordenadas, sendo possível a representação em diferentes sistemas de coordenadas, o que diferencia esses sistemas de um CAD (*Computer Aided Design*) (SILVA et al., 2008). Os mesmos autores citam entre as funções de um SIG a aquisição, verificação, manipulação, compilação, armazenamento, atualização, alteração, gerenciamento, apresentação, combinação e análise de dados. Para Câmara, Davis e Monteiro (2004), para o SIG efetuar tais operações, é necessário que tanto a geometria quanto os atributos dos dados estejam localizados na superfície terrestre e representados em uma projeção cartográfica, ou seja, georreferenciados.

Os dados podem ser representados em um SIG no formato vetorial ou matricial, sendo que há sistemas que aceitam apenas um dos formatos e também sistemas que aceitam ambos. O formato vetorial representa um objeto com um ou mais pares de coordenadas, sendo também utilizados em sistemas CAD, com a diferença destes últimos utilizarem apenas coordenadas cartesianas. Esse tipo de representação pode ser feito por meio de pontos, linhas e polígonos, dos quais são armazenados dados das coordenadas dos pontos e dos atributos relacionados a eles (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004).

Silva et al. (2008) apontam como vantagens da representação vetorial em relação à matricial, a possibilidade de maior precisão da representação gráfica com o requerimento de menor memória do computador, mas também advertem que esse formato não fornece relações de vizinhança diretamente, necessitando de geração e armazenamento de informações específicas de relação entre os objetos.

Já no formato matricial, um objeto é representado por uma matriz, em que a cada célula são associados um número de linha, um de coluna e uma informação do atributo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004).

A precisão da representação depende do tamanho da célula a ser adotado, sendo que quanto menor seu tamanho, maior a precisão. Silva et al. (2008) citam como vantagens dessa representação a rápida identificação de relações de vizinhança entre objetos. Entretanto, o formato matricial consome muita memória do computador para armazenar dados gráficos em relação ao formato vetorial (SILVA et al., 2008), sendo que quanto maior a resolução adotada (menor tamanho de células), maior o consumo de memória.

Segundo Simões (1993), os componentes de um SIG podem ser agrupados em entrada (alimentação do banco de dados), sistema gerenciador da base de dados, programas de manipulação e análise dos dados (entrecruzamento, cálculos e análises para geração dos resultados) e saída (visualização dos resultados). A seguir, são apresentadas as funções típicas de um SIG, organizadas por Câmara, Davis e Monteiro (2004) para cada componente citado.

**Entrada:** permite a digitalização de dados gráficos em formato vetorial, permite a associação de dados de imagens digitais ao banco de dados, realiza análises de consistência sobre os dados vetoriais, realiza procedimentos de correção dos dados e recebe, converte e trata os dados provenientes de outros sistemas.

**Gerenciamento de dados:** cuida da segurança, recuperação e consistência dos dados, podendo restringir acesso a dados sensíveis.

**Manipulação e análise de dados:** pode ser classificado quanto ao tipo de dado trabalhado em análise geográfica, processamento digital de imagens, modelagem numérica de terreno, geodésia e fotogrametria e modelagem de redes.

**Saída:** há sistemas com enfoque na produção ou na consulta.

### 3.7.1. Aplicações

Câmara, Davis e Monteiro (2004) citam como aplicações gerais de um SIG a produção de mapas, o suporte para análise espacial de fenômenos e sua utilização como banco de dados geográficos para armazenamento e recuperação de dados espaciais.

Silva et al. (2008) exemplificam as aplicações de um SIG em trabalhos de estimativa de demanda de energia, previsão de dispersão de poluentes, avaliação da temperatura de superfície de estradas e identificação de fontes renováveis de energia.

Entre as principais aplicações das funções de manipulação e análise de dados estão os modelos numéricos de terreno (MNT) ou modelos digitais de terreno (MDT). Simões (1993) define um MDT como uma superfície representando os dados de entrada do modelador digital de terreno, que por sua vez é uma ferramenta computacional destinada a gerar a superfície em questão.

Itame (2001) destaca entre as aplicações de um MDT o traçado automático de curvas de nível, a geração de perfis e a determinação de intervisibilidade de pontos. Simões (1993) acrescenta a geração de mapa de isolinhas, de mapa de isopletas, de mapas de declividade, convexidade, concavidade e aspecto, bloco de diagrama, de ortofotos digitais, estimativa de volume de corte ou aterro, e superposição com imagens de satélite.

Podem ser citadas como formas de representação de um MDT a interpolação linear ou não linear sobre um modelo construído, o encaixe de funções polinomiais e fractais, sendo a mais comum a interpolação sobre modelo *grid* ou sobre modelo triangulação (TIN – *Triangular Irregular Network*) (SIMÕES, 1993).

O modelo *grid* representa as superfícies em uma malha de pontos espaçados regularmente, sendo que no SIG ArcView, a cota dos vértices dos quadrados são estimadas pela média das cotas dos pontos vizinhos, sendo atribuído maior peso para os pontos mais próximos (SILVA et al., 2008). Simões (1993) aponta como principais vantagens do modelo *grid* a facilidade de armazenamento e a simplicidade de execução de operações, possuindo uma estrutura de dados simples de manusear e tornando o processamento rápido, sendo fatores importantes para áreas extensas. Câmara, Davis e Monteiro (2004) acrescentam a facilidade na conversão dos dados e sua adequabilidade para geofísica e visualização em três dimensões. Como desvantagens, Simões (1993) cita o tempo considerável gasto para estimação dos nós, a estimação de valores em intervalos regulares podendo ocasionar perda de pontos de máximo e mínimo locais e pontos de sela, e dificuldade na representação de linhas de quebra e linhas características.

O modelo TIN representa as superfícies em triângulos contínuos não sobrepostos (SILVA et al., 2008). É uma representação vetorial, em que quanto mais próximas as malhas estiverem de um triângulo equilátero, maior a precisão do modelo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004). Entre suas vantagens estão sua representação de superfícies mais complexas sem sobrecarregamento de informação das áreas mais simples (SIMÕES, 1993). Como desvantagem, há o maior processamento para geração da triangulação (SIMÕES, 1993) e a maior complexidade de manuseio (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004).

### **3.8. Contaminação do solo e águas subterrâneas**

A resolução CONAMA 420 de 2009 define contaminação como a

[...] presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico; [...]

Já de acordo com o inciso III do artigo 3º da Lei 6.938 de 1981, poluição é:

[...] a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos [...]

Assim, de acordo com a legislação brasileira, poluição é um termo mais abrangente que contaminação. A poluição pode ser ocasionada por qualquer tipo de matéria, energia ou atividade, enquanto a contaminação restringe-se à presença de substâncias químicas.

Yong e Mulligan (2004) constataram que a maioria das contaminações acidentais do solo por derramamentos e vazamentos, ocorre a partir da limpeza de equipamentos, resíduos em contêineres usados e materiais muito antigos. Os mesmos autores citam como exemplo de pequenos geradores de contaminantes orgânicos os aterros sanitários, estabelecimentos de serviços automotivos, processadores de filme fotográfico, além de resíduos domésticos, como pesticidas, produtos de pintura e detergentes.

Yamada (2004) indica que a ocorrência de vazamentos em tanques armazenamento de combustível subterrâneo depende diretamente dos processos do meio físico, uma vez que esses podem levar a danos nos tanques e suas estruturas. A mesma autora cita como processos deflagradores de danos nos tanques de armazenamento a corrosão, o colapso, a compressão e a expansão do solo.

Processos corrosivos podem ter início por falha na proteção das instalações ou por contato com água devido a vazamentos ou flutuações do nível d'água (YAMADA, 2004). Quando a corrosão causa dano suficiente na instalação, ocorre o vazamento.

As instalações em solos colapsíveis criam tensões que quando somadas à saturação do solo, podem acarretar o colapso do solo, podendo causar danos ao equipamento e vazamentos. A saturação pode ser causada também por variação do nível d'água (YAMADA, 2004).

A compressão pode ocorrer quando o peso das instalações supera as tensões admissíveis do solo, ocasionando recalques, que quando suficientemente grandes podem danificar a estrutura dos tanques ou tubulações (YAMADA, 2004).

A expansão do solo requer a presença de minerais expansivos no solo e a inserção de água no sistema. Ocorrido o fenômeno, as tensões provocadas pela expansão podem danificar as instalações (YAMADA, 2004).

Uma vez ocorrido o vazamento, a migração do contaminante no material em que o tanque se encontra depende da porosidade, permeabilidade, anisotropia, heterogeneidade, capacidade de troca de cátions, profundidade e variação do nível d'água, fluxo d'água subterrâneo e espessura do material inconsolidado (YAMADA, 2004), sendo essas propriedades já especificadas anteriormente.

### **3.8.1. Contaminantes orgânicos**

Contaminantes orgânicos podem ocorrer naturalmente e devido a atividades humanas em todos os compartimentos do ambiente. Segundo Nghiem (2005), os compostos orgânicos encontrados no meio aquático são extremamente variados, com pesos moleculares em uma faixa de milhares de daltons até menos de uma centena de daltons.

Nghiem (2005) afirma que os compostos de maior peso molecular são geralmente de origem natural, e apesar de não representarem perigo à saúde humana, são considerados precursores de subprodutos carcinogênicos de processos de desinfecção. Por outro lado, os compostos de menor peso molecular (orgânicos traço) requerem maior atenção, incluindo pesticidas, trihalometanos e hidrocarbonetos poliaromáticos (NGHIEM, 2005).

Domenico e Schwartz (1990) apud Bedient, Rifai e Newell (1994) apresentam 16 principais classificações de compostos orgânicos, podendo ser usadas para uma caracterização inicial de contaminantes orgânicos. São elas: compostos não voláteis variados, hidrocarbonetos halogenados, aminoácidos, compostos fosforosos, compostos organometálicos, ácidos carboxílicos, fenóis, aminas, cetonas, aldeídos, álcoois, ésteres, éteres, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, hidrocarbonetos aromáticos e hidrocarbonetos alcanos, alcenos e alcinos.

A gasolina é composta por uma mistura de mais de uma centena de derivados de petróleo, variando de acordo com a origem e tipo de petróleo utilizado como matéria prima, com os processos utilizados na refinaria e a adição eventual de aditivos (OLIVEIRA, 1992). Predominam hidrocarbonetos de 4 a 12 átomos de carbono, além de contaminantes naturais contendo enxofre, oxigênio, metais e nitrogênio em pequenas concentrações (TAKESHITA, 2006). Os principais hidrocarbonetos presentes podem ser divididos em parafinas normais e ramificadas, cicloparafinas, olefinas e aromáticos (TAKESHITA, 2006). Comumente são utilizados como indicadores de contaminação por gasolina os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) (OLIVEIRA, 1992).

O óleo diesel contém hidrocarbonetos com 10 a 20 carbonos, sendo que seu maior peso molecular faz com que seus compostos sejam menos voláteis, menos solúveis e apresentem menor mobilidade em relação aos componentes da gasolina, além de apresentarem uma quantidade pequena de BTEX (FINOTTI, CAICEDO e RODRIGUEZ, 2001). Além da mobilidade reduzida, o solo possui um potencial moderado de adsorção do óleo diesel, fazendo com que sua percolação seja muito mais lenta que da gasolina. Entretanto, a grande quantidade de substâncias carcinogênicas em sua composição e seu maior potencial de formação de fase sorvida faz com que o óleo diesel seja um contaminante de alta periculosidade (FINOTTI, CAICEDO e RODRIGUEZ, 2001).

Oliveira (1992) constatou que devido à grande quantidade de compostos de diferentes características físico-químicas formando a gasolina, ao ocorrer um vazamento em um tanque subterrâneo, o combustível pode se dividir em quatro fases: sorvida, livre, dissolvida e vapor.

A fase sorvida fica retida pelo solo, podendo ainda ser dividida em uma fase adsorvida pelas partículas do solo, uma fase dissolvida na fase líquida do solo e uma fase gasosa. A fase sorvida pode funcionar como fonte de contaminação, liberando pequenas quantidades de contaminante, sendo um processo que pode se estender por muitos anos (OLIVEIRA, 1992).

A fase livre consiste na fração do contaminante que atinge o lençol freático, e por apresentar densidade menor que a da água e imiscibilidade, forma uma camada flutuante

sobre o nível d'água. O caminhamento horizontal da fase livre na direção do gradiente hidráulico, bem como o deslocamento vertical pelas variações do nível d'água, podem fazer com que mais volume de contaminante passe para a fase sorvida (OLIVEIRA, 1992).

A fase dissolvida ocorre pela transferência de moléculas do contaminante para a água, dependendo da solubilidade e do grau de mistura do contaminante com a água (OLIVEIRA, 1992). Entretanto, a presença de solventes hidrofílicos no combustível pode aumentar significativamente sua solubilidade (OLIVEIRA, 1992). Corseuil e Fernandes (1999) constataram que na presença de 10% de etanol na água, a solubilidade do benzeno, do tolueno e do xileno é aumentada em 20%, 40% e 50%, respectivamente, comparado à solubilidade dos compostos em água sem etanol. Esse é um fator agravante para as condições brasileiras, pois a gasolina contém etanol em sua mistura, além dos postos de combustível também possuem tanques para o armazenamento de etanol, o que pode potencializar a contaminação dos recursos hídricos urbanos.

A fase vapor é formada pela volatilização de determinados compostos do contaminante, sendo que essa mudança de fase depende da constante da lei de Henry (OLIVEIRA, 1992). Já a mobilidade do vapor depende de características do meio físico (porosidade, densidade, conteúdo de água e de ar, espessura da zona vadosa, fração de carbono orgânico e flutuações do nível d'água) e do contaminante (coeficientes de difusão nas fases líquida e gasosa) (OLIVEIRA, 1992).

### **3.8.2. Transporte de poluentes**

Uma vez ocorrido o vazamento, o poluente migra verticalmente pela zona vadosa até a zona saturada, migrando então lateralmente de acordo com o gradiente hidráulico (MOHAMED e ANTIA, 1998). Para Boscov (2008), os principais mecanismos atuantes no transporte de poluentes em meios porosos são a advecção, a dispersão hidrodinâmica, a difusão e as reações químicas entre o poluente e o meio poroso e entre o próprio poluente.

A advecção é o processo através do qual o poluente é transportado pelo fluido devido ao gradiente hidráulico, ou seja, baseado em seu movimento macroscópico (MOHAMED e ANTIA, 1998), com a concentração da solução permanecendo constante (BOSCOV, 2008).

A difusão é o movimento browniano das partículas em direção às zonas de menor concentração (LEITE, 1995). Esse movimento de ordem molecular tende a uniformizar as concentrações na solução, devido à sua ocorrência aleatória em todas as direções (MOHAMED e ANTIA, 1998).

Acrescenta-se o conceito de dispersão mecânica, definido como o processo de diluição que ocorre devido a variações locais da velocidade de escoamento em relação ao valor médio (LEITE, 1995), ocorrendo simultaneamente à difusão (BOSCOV, 2008). Isso ocorre devido à diferença de velocidade do escoamento nas proximidades do sólido em relação ao centro dos poros e devido à heterogeneidade dos solos, caracterizando diferentes diâmetros de poros e caminhos (MOHAMED e ANTIA, 1998). Além disso, quanto maior a distância percorrida pelo fluido, maior a influência da dispersão mecânica na movimentação do contaminante, pois as chances do escoamento passar por maior heterogeneidade do solo são maiores (MOHAMED e ANTIA, 1998).

Bosco (2008) define dispersão hidrodinâmica como o espalhamento macroscópico do poluente devido aos efeitos conjuntos da dispersão mecânica e da difusão. O espalhamento devido à dispersão mecânica cria gradientes de concentração tanto longitudinalmente quanto transversalmente ao sentido do fluxo fazendo com que ocorra a difusão (BOSCOV, 2008). Dessa forma, sempre que ocorrer a dispersão mecânica, a difusão também ocorrerá. Entretanto, no caso da inexistência de fluxo a difusão ocorrerá, desde que haja gradiente de concentração.

Há reações químicas que influenciam o transporte de poluentes modificando sua concentração. Boscov (2008) cita que as mudanças de concentração do poluente devido a reações químicas podem ocorrer dentro da fase líquida, pela mudança de fase do soluto para a fase sólida ou para a fase gasosa da zona vadosa. A mesma autora cita que as principais reações químicas estudadas nos problemas de transporte de poluentes são a adsorção e desadsorção de íons nas partículas de solo.

### 3.8.3. Áreas contaminadas

A CETESB desenvolveu um procedimento de gerenciamento de áreas contaminadas, com o intuito de agilizar a implementação de medidas. Para auxiliar o processo, a CETESB criou classificações para as áreas contaminadas, listadas a seguir (CETESB, 2010b):

**Contaminada sob investigação (AI):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria onde há contaminação constatada em investigação confirmatória, está sendo determinada a extensão da contaminação, identificada a existência de possíveis receptores e verificado se há risco à saúde humana. Além disso, também são consideradas AI as áreas com presença de produtos contaminantes ou substâncias, condições ou situações que possam representar perigo.

**Contaminada (AC):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria classificada como AI, mas que em avaliação de risco foi constatado risco à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental. Nessas áreas deverão ser tomadas medidas de intervenção, permanecendo classificadas como AC até que as metas de remediação estabelecidas sejam atingidas.

**Em processo de monitoramento para reabilitação (AMR):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria classificada como AC ou AI, onde foram atingidas as metas de remediação, ou onde a avaliação de risco não indicar necessidade de medidas de intervenção para que a área esteja apta para o uso declarado, com o monitoramento para encerramento em andamento.

**Reabilitada (AR):** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria classificada como AMR e que após monitoramento para encerramento seja considerada apta para o uso declarado.

### 3.9. Licenciamento de postos de combustível

O licenciamento ambiental dos postos de combustível surgiu como uma importante ferramenta no sentido de garantir condições mínimas de prevenção de ocorrência de contaminação do meio. A resolução CONAMA n° 273 de 2000 define as licenças a serem exigidas pelo órgão ambiental competente (CETESB em São Paulo), em seu artigo 4°:

I - Licença Prévia-LP: concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação-LI: autoriza a instalação do empreendimento com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo medidas de controle ambiental e demais condicionantes da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação-LO: autoriza a operação da atividade, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

A mesma resolução condiciona que para o empreendimento adquirir LP e LI, ele deve possuir projeto básico especificando os equipamentos necessários para evitar vazamentos (proteção) e detectá-los, sistemas de drenagem e tanques de armazenamento de acordo com as

normas da ABNT e exigências do órgão ambiental. Além disso, a localização do empreendimento deve estar de acordo com o plano diretor do município e documentada em croqui com a situação do terreno em relação aos corpos receptores e locais próximos com hospitais, sistema viário e escolas. Em relação ao meio físico, são exigidas a definição do sentido do fluxo das águas subterrâneas, identificação de áreas de recarga e de poços de captação para abastecimento em um raio de 100m e análise do solo (permeabilidade e potencial de corrosão). Por fim, entre as exigências de interesse para o caso de vazamento de combustíveis, está a especificação do tipo de tratamento a ser dado ao efluente gerado por vazamentos.

Para a LO os empreendimentos necessitam de plano de manutenção, plano de resposta a incidentes, atestado de vistoria do corpo de bombeiros, programa de treinamento de pessoal, autorização de funcionamento da Agência Nacional de Petróleo (ANP) e certificado do Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO), ou entidade credenciada, para a fabricação, montagem e comissionamento dos equipamentos e sistemas (BRASIL, 2000).

Em São Carlos, a lei nº 12.349 de 2000 disciplina a construção, instalação e operação de postos de combustível no município, estabelecendo seu possível posicionamento em relação às vias e equipamentos públicos de interesse (escolas e hospitais, por exemplo), devido ao perigo de explosão inerente à postos de combustível. A mesma lei também faz exigências de alcance ambiental, como a necessidade de proteção contra corrosão dos tanques de armazenamento subterrâneo e da tubulação ligada ao tanque e fácil acesso aos tanques para inspeção. Outra exigência é o tratamento da água residuária resultante da lavagem de veículos por meio de caixas de separação e contenção de óleo.

### **3.10. Proteção da água subterrânea**

Dias et al. (2004) referem-se ao controle do uso e ocupação do solo como uma estratégia de proteção das águas subterrâneas. Os mesmos autores dividem esse tipo de controle em duas abordagens. A primeira considera a vulnerabilidade do aquífero a contaminações, sendo vulnerabilidade um conjunto de características intrínsecas do meio, função da acessibilidade da zona saturada, do ponto de vista hidráulico e da capacidade de atenuação da camada não saturada (FOSTER e HIRATA, 1988).

A segunda abordagem identificada por Dias et al. (2004) é relacionada a uma proteção pontual das captações de água subterrânea. A importância desse tipo de abordagem se deve ao

fato de em muitos casos as captações subterrâneas representarem os principais mananciais de muitas comunidades. Soma-se a isso a possibilidade dos poços se tornarem caminhos preferenciais para contaminantes, já que fazem ligação direta com os aquíferos. A situação ideal é a proteção de toda a área contribuinte do poço, denominada zona de contribuição (ZC). Entretanto, muitas vezes essa zona é demasiadamente extensa para que seja aplicável a áreas urbanas. Para a delimitação de zonas de proteção aplicáveis, foram criados os perímetros de proteção de poços (PPP).

Perímetro de proteção de poços (PPP) são áreas de dimensões específicas estabelecidas ao redor de poços, dentro das quais o uso do solo é restringido, de modo a reduzir os riscos de contaminação da água do poço (HIRATA e SUHOGUSOFF, 2004). O decreto estadual 32.955 de 1991 regulamenta o perímetro imediato de proteção sanitária (PIPS) e o perímetro alerta (PA).

O perímetro imediato de proteção sanitária (PIPS) consiste de um raio de 10m a partir da captação, sendo esse perímetro cercado e protegido por meio de telas, não sendo admitida a entrada ou penetração de poluentes (SÃO PAULO, 1991). Deve ser uma área utilizada apenas para operação e manutenção do poço.

O perímetro de alerta (PA) deve ter seu raio calculado com base em um tempo de trânsito de 50 dias no aquífero, para contaminantes não conservativos. Além disso, as extrações nessa área devem ser disciplinadas, as fontes de poluição já implantadas devem ser controladas e a instalação de novas fontes potenciais de poluição deve ser restringida (SÃO PAULO, 1991). Dias et al. (2004) afirmam que o PA tem a função de proteção microbiológica, além de recomendarem que o critério de 50 dias de tempo de trânsito seja usado para aquíferos sedimentares livres e no caso de aquíferos confinados ou fraturados seja fixado um raio de 50m.

Dias et al. (2004) ainda recomendam a criação da zona proximal de restrição e controle (ZPRC) e a zona distal de restrição e controle (ZDRC), com base em análise de perímetros de proteção utilizados em outras localidades.

Os mesmos autores recomendam para a zona proximal de restrição e controle (ZPRC) seja delimitada com base em um tempo de trânsito de 365 dias, de modo que a distância a montante do poço não ultrapasse 1km. O objetivo dessa zona é a proteção contra contaminantes pouco degradáveis, e que em caso de contaminação haja tempo suficiente para execução de medidas remediativas.

Para a zona distal de restrição e controle (ZDRC), Dias et al. (2004) propõem que seja adotado um raio referente a 10 anos de tempo de trânsito ou toda a zona de contribuição (ZC),

devendo ser adotado o menor perímetro. O objetivo da zona é a proteção de toda a área de recarga do poço.

## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. Localização

A área de estudo situa-se na cidade de São Carlos, entre as coordenadas UTM 196.932m E; 203003m E e 7568014m N; 7560089m N. Já o município pertence à região administrativa Central do estado de São Paulo, com uma área de 114092km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

São Carlos dista de 230km da capital paulista, 80km de Ribeirão Preto e 105km do Aeroporto Internacional de Viracopos (SÃO PAULO, 2010), caracterizando sua proximidade de importantes centros do estado.



Figura 4: Localização do município do estado (SEADE, 2010).

### 4.2. Aspectos da Geologia

A área de estudo situa-se sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, que segundo CETESB (2004), possui 879.860km<sup>2</sup>, abrangendo os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, abrigando 32% da população nacional. De acordo com Mendes (1972), esta possui uma história semelhante às outras duas grandes bacias sedimentares brasileiras (Amazônica e do Parnaíba), sendo que sua principal diferença reside em seus sedimentos predominantemente continentais, que atingiram a forma atual da bacia durante o Cretáceo.

Já especificamente na cidade de São Carlos, afloram o Grupo São Bento, que é constituído pela Formação Pirambóia, Formação Botucatu e pelos magmatitos da Formação

Serra Geral, e o Grupo Bauru (VELOZO, 2006), além da presença de Coberturas Cenozóicas (MURO, 2000). A seguir é apresentada descrição de cada unidade geológica de interesse da pesquisa.

#### 4.2.1. Coberturas Cenozóicas

Segundo Bortolucci (1983, p. 30), os sedimentos cenozóicos são “originados a partir do retrabalhamento dos materiais do Grupo Bauru e das Formações Serra Geral e Botucatu, através de um pequeno transporte em meio aquoso [...]”.

O mesmo autor infere que na cidade podem ser verificados dois subtipos principais de materiais inconsolidados nessa unidade, além de descrevê-los. O primeiro ocorre nos altos do planalto, sendo decorrente provavelmente de contribuição do Grupo Bauru. É constituído de sedimentos com aproximadamente 35% de argila e 50% de areia média a fina com cores marrom-amareladas, estando em contato com o Grupo Bauru por uma camada de seixos de quartzo e limonita, sendo útil para a detecção do contato entre as duas unidades.

O segundo subtipo ocorre nas encostas dos vales, após desaparecimento do Grupo Bauru, e provavelmente recebeu contribuições tanto da Formação Serra Geral quanto do Grupo Bauru. Seus sedimentos contêm cerca de 40% de argila e 44% de areia, com cores avermelhadas e seu contato inferior se dá com a Formação Serra Geral com rara presença da linha de seixos. Há ainda, uma unidade constituída de pequenos depósitos aluvionares, ocorrendo em baixadas e fundo de vales. Os depósitos mais significativos se situam nos vales dos Córregos Monjolinho e do Gregório, com espessura de até 5m e areias siltosas ou argilosas, contendo pedregulhos fragmentos de rocha e eventualmente matéria orgânica, possuindo coloração cinza claro a cinza escuro.

Através de sondagens de simples reconhecimento, Bortolucci (1983) verificou que os Sedimentos Cenozóicos são bastante homogêneos, já que grande parte dos “*Standard Penetration Test*” (SPT) apresentaram índice de resistência à penetração ( $N$ ) de 2 a 7, tanto em litologias arenosas quanto argilosas. Para o Cenozóico arenoso foi encontrada espessura maior que 12m, com predomínio de 5 a 7m, enquanto no Cenozóico argiloso verificaram-se espessuras de até 9m, mas sem valores predominantes.

#### 4.2.2. Grupo Bauru

O Grupo Bauru formou-se de sedimentos de origem continental flúvio-lacustre, que são constituídos por arenitos, arenitos sílticos, arenitos argilosos, arenitos com cimento calcífero, e conglomerados basais, de idade Cretáceo-Superior (CHIOSSI, 1979). O Grupo Bauru é formado pelas três litofácies do Grupo Bauru, mais a Formação Caiuá, ocorrendo continuamente por todo o Planalto Ocidental do estado de São Paulo, com mais de 40% da área do estado, sendo um dos mananciais mais importantes do estado (CETESB, 2004).

Chiossi (1979) afirma que a unidade geológica possui permeabilidade e transmissividade moderadas devido à existência de siltitos e cimentação calcífera em toda a formação. O mesmo autor apresenta como valores de permeabilidade determinados em laboratório variando de 3 a  $5.10^{-4}$  cm/s e transmissibilidade raramente atingindo 100m<sup>2</sup>/dia, além de espessura de até 300m. A recarga do aquífero freático da unidade ocorre por precipitação pluvial, regularizando o escoamento de sua rede fluvial, composta pelos rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná, bem como seus afluentes situados nos afloramentos da unidade (CETESB, 2004).

Em São Carlos, o Grupo Bauru apresenta arenitos de granulação média a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis, com rara estratificação cruzada (SOARES et al apud BORTOLUCCI, 1983).

Em Bortolucci (1983) é feita a descrição dessa unidade na área de São Carlos, sendo apresentada a seguir. O Grupo Bauru possui contato inferior com a Formação Serra Geral na maior parte da cidade, e com a Formação Botucatu na região sul da cidade, ambos em discordância erosiva. O contato superior ocorre com Sedimentos Cenozóicos, ocorrendo também afloramentos em alguns pontos. A melhor representatividade da unidade se dá com um arenito médio bem graduado, de grãos angulosos, 45% de areia e 35% de argila e de cor vermelha a rosada, com a presença de feldspatos parcialmente alterados caracterizando pontos brancos. “[...] Pode ser classificado como areia média a fina argilosa vermelha ou rosada com manchas variegadas [...]” (BORTOLUCCI, 1983, p. 30).

A maior espessura encontrada por Bortolucci (1983) na área urbana de São Carlos foi de 26m, além de *N* de 4 a 23.

### 4.2.3. Derrames Basálticos

Os derrames basálticos ocorridos em todo o sul do país no Jurássico-Cretáceo constituíram a Formação Serra Geral. Seus afloramentos recobrem cerca de 20.000km<sup>2</sup> da região oeste e central do estado de São Paulo. Pode ser observada nos derrames uma sequência composta por uma zona vesicular na parte superior (formada devido ao escape de gases), um núcleo maciço e uma base de granulação muito fina e vítrea na parte inferior (CHIOSSI, 1979). É possível afirmar que “a Formação Serra Geral (Juro-cretácea) é constituída pelos magmatitos básicos e pelos arenitos eólicos interderrames” (BORTOLUCCI, 1983, p. 25), já que é muito comum a observação de derrames intercalados com camadas de arenito Botucatu (CHIOSSI, 1979).

Há ocorrências de espessuras maiores que 1500m (poço de Presidente Epitácio), com mais de 30 derrames (CHIOSSI, 1979), sendo que suas camadas aquíferas se restringem às zonas de falhas, vesiculares, interderrames e arenitos intertrapeanos (CETESB, 2004), caracterizando seus aquíferos como locais. Dessa forma, seu potencial aquífero é determinado pela densidade de fraturamento, grau de alteração dos horizontes vesiculares, sistemas de alimentação e inter-relação com outros aquíferos, não sendo aplicáveis parâmetros como porosidade e permeabilidade (CETESB, 2004). A recarga ocorre pela precipitação sobre solos basálticos, quando são atingidas áreas fissuradas da rocha, havendo também grande intercâmbio de água com os aquíferos Bauru e Botucatu e Pirambóia (superior e inferiores, respectivamente), mas com os rios como principais saídas de drenagem (CETESB, 2004).

Bortolucci (1983) afirma que há predominância de derrames basálticos em relação a intrusões de diabásio (ambos magmatitos básicos) em São Carlos. O mesmo autor complementa que a unidade possui contato inferior com a Formação Botucatu e superior com o Grupo Bauru e com as Coberturas Cenozóicas nas encostas de vales, aflorando no fundo de vale de rios.

Bortolucci (1983) observou características bastante heterogêneas nessa unidade, com *N* de 4 a impenetrável em perfis de sondagem. A camada alterada, silte argiloso ou areia siltosa vermelha ou marrom, apresentou *N* de 2 a 22, com espessura de até 11m. Já com a camada menos alterada, silte arenoso cinza ou amarelo, foi verificado *N* de 4 a impenetrável e espessura passando de 7m em poucas amostras.

### 4.3. Hidrografia

O sistema de drenagem da área de estudo pode ser observado no apêndice B. A área pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 13, que é a Bacia do Tietê-Jacaré, e à sub-bacia do rio Jacaré-Guaçu e afluentes do rio Tietê, sendo que a maior parte do município pertence à Bacia Mogi-Guaçu (UGRHI 9) (SIGRH, 2010a). A principal drenagem urbana é o córrego Monjolinho, que atravessa a cidade no sentido NE-SO (BORTOLUCCI, 1983).

### 4.4. Clima

Foram medidas temperaturas médias anuais de 15,3°C (mínima), 27,0°C (máxima) e 21,2°C (média), além de precipitação anual de 1422,8mm sendo que a área possui clima Cwa, de acordo com a classificação climática de Koeppen (CEPAGRI, 2010). A classificação de Koeppen indica que o mês mais frio do ano possui temperatura média entre 18°C e -3°C (C), que a estação mais seca ocorre no inverno (w) e que a temperatura média do mês mais quente é maior que 22°C (a) (KOEPPEN, 1948).

A figura 5 apresenta o pluviograma acumulado médio mensal do período entre os anos de 1936 e 1998. Os dados são provenientes do posto Vila Carmen (prefixo D4-015), escolhido devido à proximidade da área de estudo e de sua localização na bacia do rio Jacaré-Guaçu (SIGRH, 2010b). Pela figura 5 pode ser verificado que o período chuvoso na área ocorre entre os meses de outubro e março.

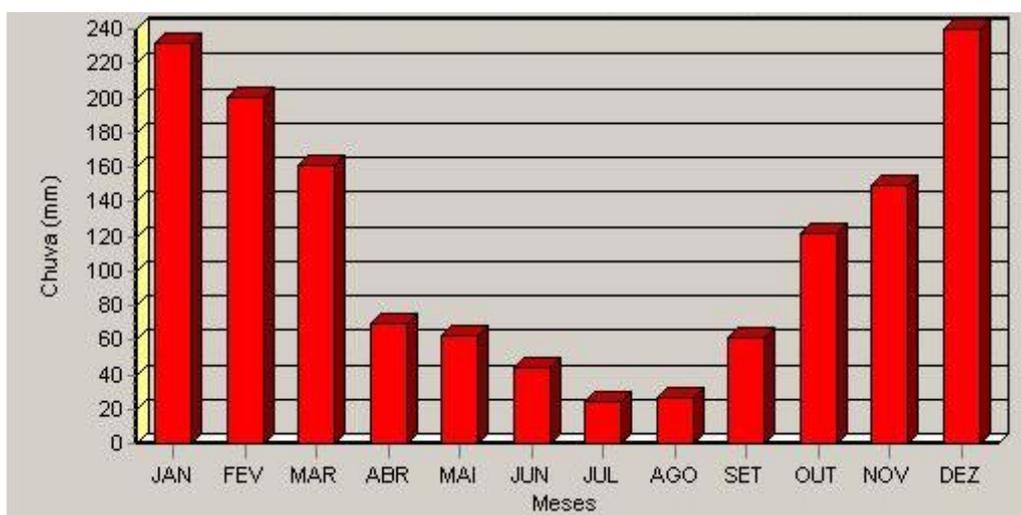


Figura 5: Pluviograma acumulado médio mensal de 1936 a 1998 (SIGRH, 2010b)

#### 4.5. Meio antrópico

A população da região administrativa central era de 923.753 habitantes em 2005 (2,3% do estado) e a densidade demográfica de 83,84 habitantes por km<sup>2</sup>. Entre os municípios da região, apenas Araraquara e São Carlos possuem população maior que 100.000 habitantes (SÃO PAULO, 2010). Pode ser destacada na região a Aglomeração Urbana de Araraquara e São Carlos. A economia do município de Araraquara é voltada para agroindústria (produção de laranja, álcool e açúcar), além do setor metal-mecânico, indústria têxtil, comércio e serviços empregando mão-de-obra a nível regional.

O município de São Carlos possui uma população estimada de 220.463 habitantes (IBGE, 2010), sendo considerado pólo de alta tecnologia. Há no município importantes centros de ensino, podendo ser destacados a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de São Carlos. O setor industrial é bastante diversificado, podendo ser citadas indústrias têxteis e metal-mecânica de grande porte, pequenas indústrias de alta tecnologia, além da produção de leite, cana-de-açúcar, laranja, frango, carne bovina e milho no setor agropecuário (SÃO PAULO, 2010). Com isso, o setor terciário também acaba sendo bastante fortalecido, pela movimentação financeira e populacional, caracterizando um município com alto PIB, possuindo PIB per capita de R\$16.441,00, de acordo com dados do IBGE (2010).

Como já comentado anteriormente, os postos de combustível fazem parte da infraestrutura requerida para o suporte de centros urbanos como o da área de estudo. Segundo dados da ANP (2010b), há em São Carlos 107 postos revendedores varejistas de combustível registrados. Além disso, até outubro de 2009, o município de São Carlos possuía a 22<sup>a</sup> maior frota do estado, com 117.475 veículos emplacados (DENATRAN, 2009).

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O apêndice A apresenta o cadastro sistemático dos postos de combustível. Foram cadastrados 54 postos nos levantamentos sistemáticos de campo. Cada ficha apresenta dados sobre a localização e a bandeira do posto cadastrado, aspectos da topografia, da drenagem, do uso e da cobertura e do perfil de alteração do solo. Também existe a indicação de possibilidade de realização de ensaios de caracterização do solo, além de uma fotografia do posto feita do chão e a sua localização na imagem de satélite do site *Google Earth*.

Os apêndices B a K apresentam os mapas georreferenciados em coordenadas UTM e datum Córrego Alegre, fuso 23S e escala 1:25.000. O apêndice B apresenta o mapa Base Topográfica, utilizado como base para os outros mapas. No apêndice C pode ser observado o

mapa da Imagem de Satélite, apresentado para possibilitar melhor visualização da área e do entorno dos postos, facilitando o trabalho de campo.

O apêndice D possui o MDT em que é possível visualizar o relevo da área gerado a partir da base topográfica. A avaliação visual do MDT pode ser feita na figura 6, comparando as curvas de nível da base topográfica com as curvas geradas a partir do MDT.

As curvas vermelhas foram geradas a partir do MDT, enquanto as curvas pretas são as originais. As curvas do MDT foram sobrepostas em relação às curvas originais, de modo a se proceder uma avaliação visual da coincidência entre elas. O resultado obtido foi bom, indicando que há boa precisão do MDT (Figura 6). A tabela 10 mostra os desvios das cotas extraídas do MDT em relação às cotas da base topográfica. Com esses dados foi calculado o RMS das cotas do MDT em relação às cotas da base topográfica (equação 1). Obteve-se um valor de 0,06m, que representa um erro em torno de 1% em relação ao espaçamento original de 5 m das curvas de nível, podendo ser considerando adequado para a escala do estudo e confirmando o resultado da avaliação visual anterior.

Para análises preliminares quanto à localização dos postos de combustível, foi utilizado o mapa de unidades geológicas da área (apêndice E). Observou-se que do total de postos cadastrados (54), a maioria se situa sobre o Grupo Bauru, dos quais 10 são classificados como área contaminada (AC), um como área contaminada sob investigação (AI) e dois como área em monitoramento para reabilitação (AMR), segundo a CETESB (2010b). Os 34 postos restantes não foram cadastrados dentro das classificações criadas pela CETESB (2010a), utilizando-se no presente estudo a denominação NC (nada consta) para designar estas áreas. Há também 7 postos localizados sobre os derrames basálticos, dos quais 1 representa área contaminada (CETESB, 2010a) e não existem postos cadastrados na área de coberturas cenozóicas. Esses dados estão resumidos na tabela 11. É importante ressaltar que no presente trabalho não foi feita a verificação da regularidade dos postos classificados como NC quanto a seu licenciamento ambiental na CETESB. Dessa forma, pela falta dessa informação, estes postos podem ser na realidade áreas contaminadas (AC, AI ou AMR) ou não apresentar qualquer tipo de contaminação do ambiente.

A área de estudo foi dividida em suas microbacias hidrográficas (apêndice F), para análise dos dados por bacia. Foram identificadas oito microbacias, dentre as quais a microbacia do Gregório possui a maior quantidade de postos e também a maior quantidade de postos classificados como área contaminada (AC). No caso das outras bacias, apesar da pequena quantidade de postos, apenas a do Mineirinho não possui postos classificados como AC (tabela 12).

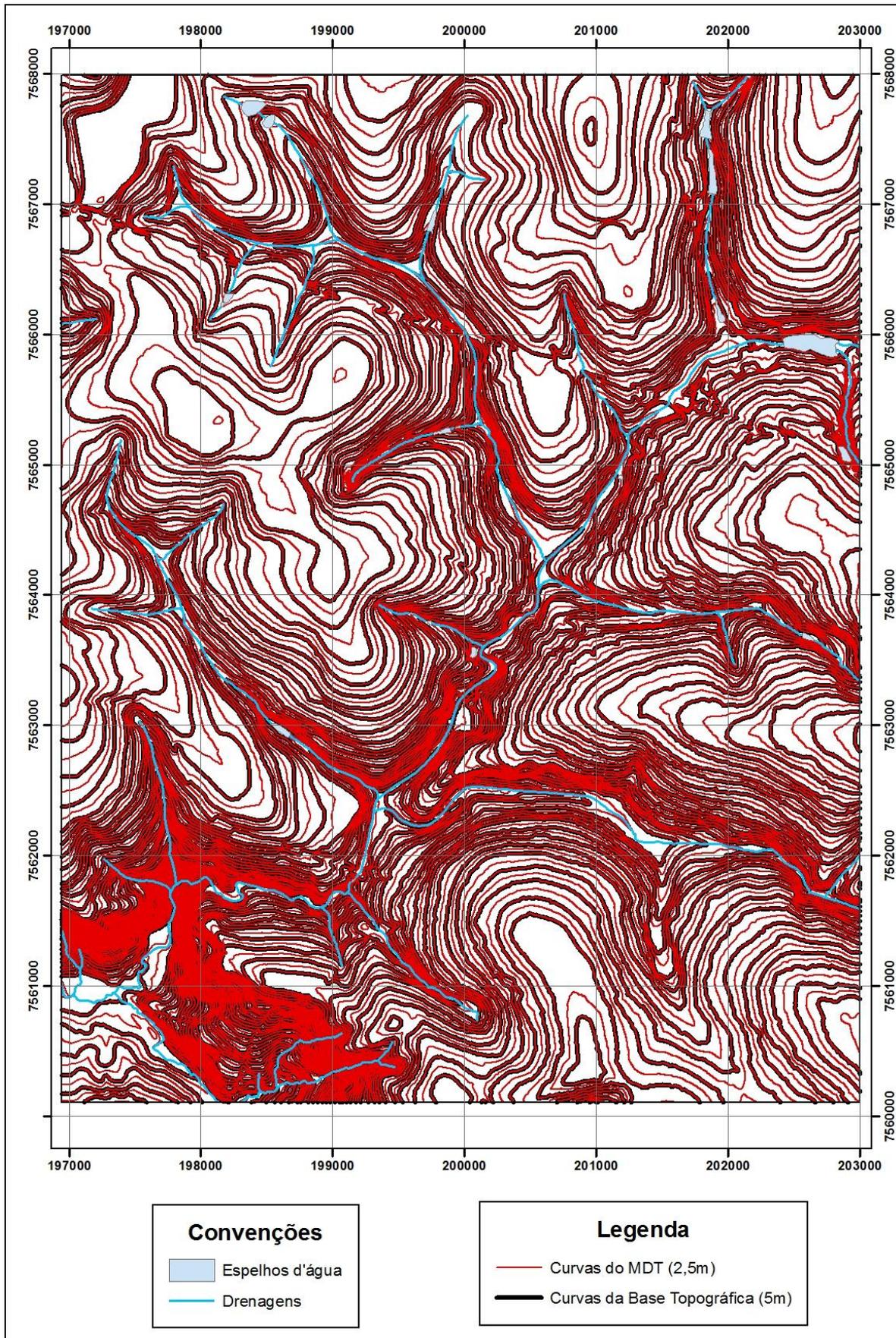


Figura 6: Avaliação visual do MDT

Tabela 10: Desvio entre cotas base e cotas do MDT

<b>Cota Base (m)</b>	<b>Cota MDT (m)</b>	<b>Desvios (m)</b>
690	690.00	0.00
770	769.98	0.02
820	820.00	0.00
835	835.00	0.00
835	834.81	0.19
865	865.00	0.00
860	860.00	0.00
870	870.00	0.00
855	855.00	0.00
840	840.00	0.00
860	860.05	-0.05
860	859.99	0.01
835	835.06	-0.06
820	820.00	0.00
765	765.00	0.00
745	745.02	-0.02
820	819.96	0.04
800	800.00	0.00
800	800.32	-0.32
840	840.00	0.00
850	850.02	-0.02
850	850.09	-0.09
830	830.00	0.00
865	865.00	0.00
860	860.00	0.00
860	860.00	0.00
835	835.00	0.00
805	805.00	0.00
815	815.00	0.00
800	800.00	0.00
845	845.00	0.00
835	835.00	0.00
840	840.00	0.00
810	810.00	0.00
835	835.02	-0.02
835	835.00	0.00
835	834.99	0.01
830	829.99	0.01
855	855.10	-0.10
860	860.00	0.00
875	875.04	-0.04
860	860.00	0.00
835	835.00	0.00
865	865.00	0.00
850	850.00	0.00
860	859.99	0.01
835	835.09	-0.09
860	859.96	0.04

Tabela 11: Postos cadastrados por unidade geológica

<b>Unidade Geológica</b>	<b>Contaminada</b>	<b>Investigação</b>	<b>Monitoramento</b>	<b>Nada Consta</b>
Coberturas Cenozóicas	0	0	0	0
Grupo Bauru	10	1	2	34
Derrames Basálticos	1	0	0	6

Tabela 12: Postos cadastrados por microbacia

<b>Microbacias</b>	<b>Contaminada</b>	<b>Investigação</b>	<b>Monitoramento</b>	<b>Nada Consta</b>
Gregório	5	0	2	15
Tijuco Preto	2	0	0	4
Mineirinho	0	0	0	4
Sta Maria Madalena	1	0	0	2
Alto Monjolinho	1	1	0	6
Médio Monjolinho	1	0	0	4
Baixo Monjolinho	1	0	0	5

Tabela 13: Distribuição em área das classes de declividade

<b>Intervalo de Declividades (%)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem da Área (%)</b>
0 - 3	11.753.144	24,62
3 - 6	16.825.340	35,24
6 - 12	14.594.424	30,57
12 - 20	3.267.576	6,84
20 - 100	1.296.276	2,71
> 100	8.704	0,02

Foi gerado também o mapa de declividades (apêndice G) a partir do MDT. Tanto o Código Florestal, quanto a lei municipal 13.944 de 2006, definem as áreas de declividade maior que 45° (100%) como área de preservação permanente (APP). Com o auxílio do SIG foi feito o cálculo das áreas, em m<sup>2</sup>, inseridas em cada intervalo de declividade adotado, sendo esses dados apresentados na tabela 13. Pode ser observado um predomínio de áreas de declividade menor que 12% sendo que as maiores declividades ocorrem próximo às drenagens. Com relação às áreas de declividade maior que 100%, apesar de seu valor absoluto considerável (8.704m<sup>2</sup>), como pode ser inferido pelo apêndice G, essas áreas estão representadas apenas por pequenos fragmentos de difícil visualização na escala adotada.

O mapa de APP (apêndice H) apresenta a localização das mesmas de acordo com as legislações vigentes. O Código Florestal (lei n° 4.771 de 1965) define como florestas de preservação permanente a vegetação situada a uma distância mínima de 30m do nível mais alto dos corpos d'água de largura inferior a 10m e um raio de 50m para nascentes. Dessa forma, os corpos d'água da área de estudo deveriam possuir APP de 30m de largura.

Entretanto, a lei municipal 13.944 de 2006, que dispõe sobre a criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais do município (APREM), é mais restritiva que o Código Florestal, considerando como APP todas as áreas vegetadas ou não situadas a uma distância de 50m de cada margem de qualquer curso d'água e a um raio de 70m das nascentes. Essa mesma lei considera como APP as áreas distantes de até 50m de lagoas, lagos e reservatórios naturais ou artificiais. Assim, a definição de APP utilizada no trabalho foi a da lei municipal 13.944 de 2006, sendo acrescentadas também as áreas de declividade maior que 100%. Pelo anexo E pode ser observado que há 6 postos situados em APP, sendo que dois deles são considerados como área contaminada (AC).

### **5.1. Perigo de contaminação das águas subterrâneas**

As figuras 7 e 8 representam graficamente a distância dos postos de combustível em relação aos poços profundos. A partir dos gráficos, é possível perceber que a maioria dos postos de combustível está a distâncias maiores que 100m dos poços tubulares. É possível inferir também que as menores distâncias ocorrem nos postos classificados como NC. Entretanto, como não há dados de contaminação de tais postos, sua situação pode ser tão grave quanto à dos postos classificados como área contaminada (AC). Mesmo no caso de ainda não haver contaminação, pelo fato dos postos serem fontes potenciais de contaminação, sua classificação pode alterar ao longo do tempo.

A profundidade do nível d'água do lençol freático nos postos está representada nas figuras 9 e 10, podendo também ser observada no apêndice I. Foi acrescentado ao mapa curvas de nível obtidas do modelo digital do nível d'água (NA), com espaçamento de curvas de 2,5m. A figura 9 apresenta uma quantidade relativamente grande de postos classificados como área contaminada que estão sobre pontos de NA raso, sendo que 6 postos estão sobre pontos de NA com menos de 5m de profundidade. Entre os postos classificados como NC, 5 estão sobre pontos de NA de profundidade menor que 5m.

Alguns postos apresentaram como profundidade de NA um valor negativo, sendo que isso teoricamente significa um nível d'água acima da superfície. Como o modelo digital do NA foi obtido de levantamento feito por Bortolucci em 1983 e o mapa final não contempla toda a área de estudo, a região oeste do mapa foi obtida utilizando menor quantidade de informações. Mudanças no uso e ocupação do solo na área alteram o balanço hídrico do lençol freático, fazendo com que a superfície freática atual provavelmente seja diferente de

1983. Dessa forma, um melhor resultado seria obtido com a utilização de dados mais atuais e abrangentes do nível d'água.

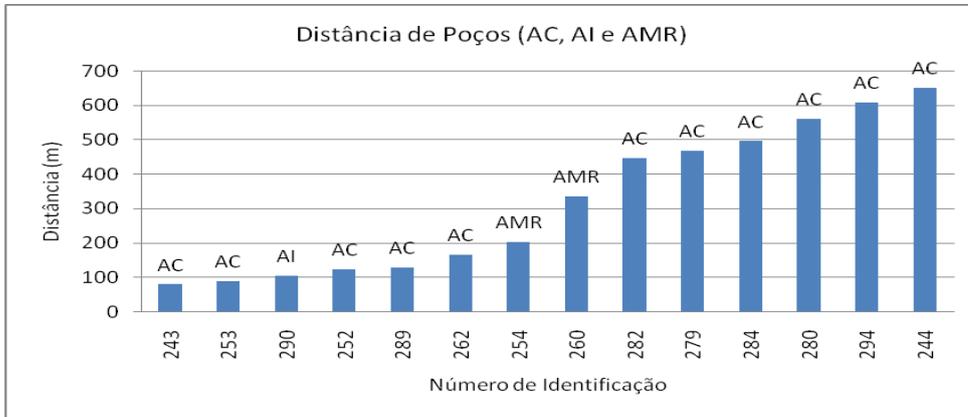


Figura 7: Distância entre postos (AC, AI e AMR) e poços profundos

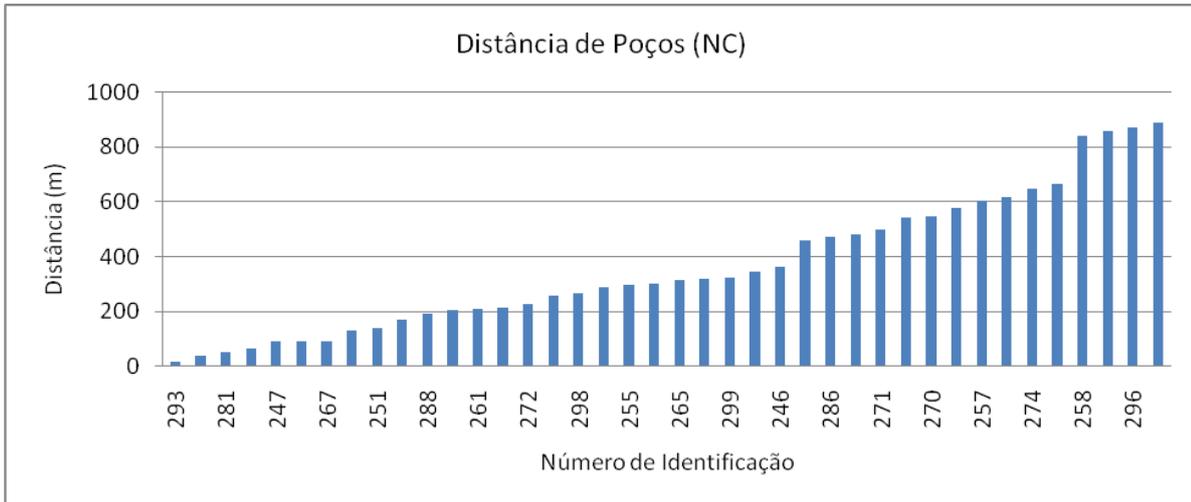


Figura 8: Distância entre postos (NC) e poços profundos

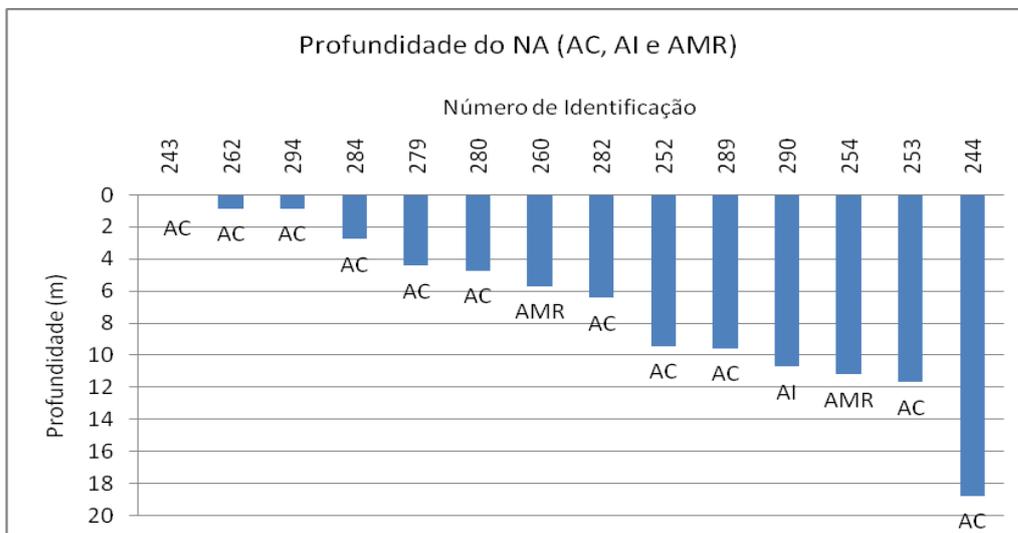


Figura 9: Profundidade do NA nos postos (AC, AI e AMR)

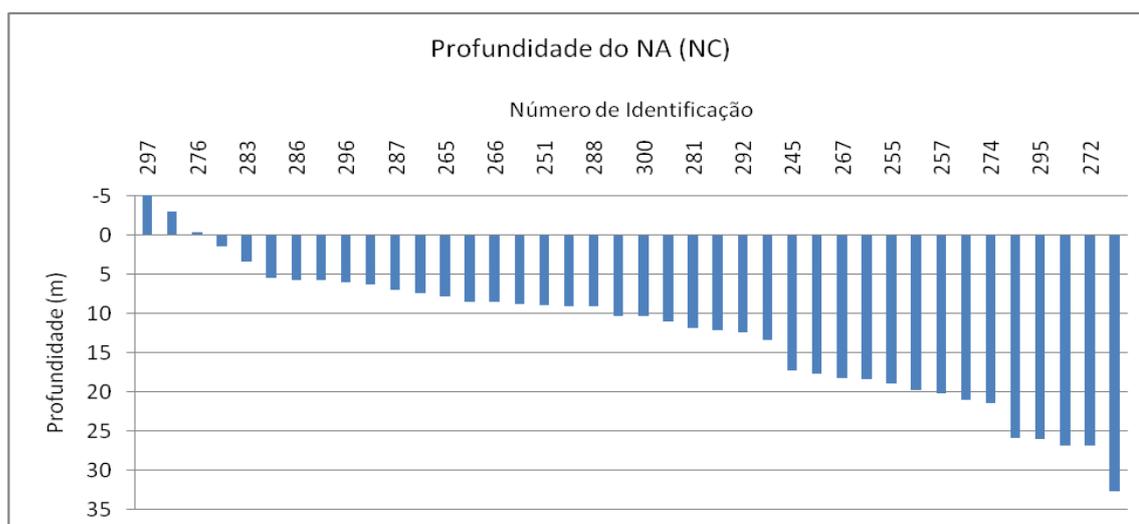


Figura 10: Profundidade do NA nos postos (NC)

Os Perímetros de Proteção de Poços (PPP) foram calculados de acordo com recomendações de Dias et al. (2004) e a equação 2, fornecida pela EPA (1987). Dessa forma, o Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS) foi fixado em 10m. No caso do Perímetro de Alerta (PA), Dias et al. (2004) recomendam um raio referente a um tempo de trânsito de 50 dias ou um raio fixado de 50m no caso de aquíferos confinados. Nos casos dos poços tubulares, em que não havia valores de vazão, nível estático, profundidade do poço ou porosidade efetiva, foram fixados para PIPS e PA os valores de 10 e 50m respectivamente. Isso foi feito pelo fato dos poços poderem funcionar como caminhos preferenciais para a percolação de contaminantes. Para os cálculos dos perímetros (PA, ZPRC e ZDRC), foram utilizados os valores de 25% para a porosidade efetiva ( $n_e$ ) do Aquífero Botucatu, 17,5% para o Aquífero Pirambóia, 3% para o Aquífero Serra Geral e 10% para o Aquífero Bauru (tabela 14), sendo estes dados médios levantados pelo DAEE (1974) para a região administrativa de Ribeirão Preto. A profundidade saturada dos poços ( $H$ ) foi calculada pela diferença entre a profundidade do poço e o nível estático da água, provenientes do banco de dados do DAEE (2010a, 2010b).

O apêndice J apresenta o mapa de vulnerabilidade de contaminação do lençol freático, bem como os postos de combustível com as análises de perigo de contaminação pelos critérios de Perímetro de Proteção de Poços (PPP) e profundidade do lençol freático combinados. A tabela 15 apresenta a quantidade de postos para cada classificação de perigo nas três análises feitas e as respectivas porcentagens, considerando o perigo para o critério dos perímetros de proteção de poços, profundidade do nível d'água e vulnerabilidade. Para o

critério de PPP, apenas um posto foi classificado com alto perigo de contaminação. Entretanto, em relação à profundidade do lençol freático, há 15 postos (aproximadamente 28%) nas classes de maior perigo. Analisando os dois critérios, há 11 postos (aproximadamente 20%) sob maior perigo de contaminação do lençol freático, indicando que além de representarem áreas contaminadas, estão localizados nas áreas mais vulneráveis à contaminação do lençol freático, de acordo com os critérios utilizados.

Com isso, recomenda-se que seja feito um programa de monitoramento, principalmente no entorno dos postos com perigo classificado como “muito alto” e “alto”, inclusive nos poços tubulares mais próximos. Também deve ser prioritário o monitoramento nas áreas próximas a postos sem informação sobre contaminação (NC) e vulnerabilidade alta do lençol. Devem ser priorizados os postos com número de identificação (GPS) 275, 283 e 291 do apêndice A, pois não há dados sobre contaminação (NC) e estão sobre áreas classificadas como de alta e muito alta vulnerabilidade de contaminação do lençol freático.

Além disso, a partir do mapa de vulnerabilidade é possível observar as áreas mais propícias a receberem novos postos de combustível, de modo a reduzir o perigo de contaminação do aquífero. Contudo, é importante ressaltar que foram utilizados apenas dois critérios, sendo que a utilização de mais critérios como características do solo, substrato rochoso e tempo de uso dos tanques de combustível tornariam a análise mais confiável.

Tabela 14: Porosidade efetiva adotada para cada aquífero

<b>Aquífero</b>	<b>Porosidade Efetiva (DAEE, 1974)</b>	<b>Porosidade Efetiva Adotada</b>
Botucatu	25%	25%
Pirambóia	15 a 20%	17,5%
Serra Geral	1 a 5%	3%
Bauru	5 a 15%	10%

Tabela 15: Postos por classe de perigo

<b>Perigo</b>	<b>PPP</b>	<b>%</b>	<b>Profundidade do Lençol</b>	<b>%</b>	<b>Vulnerabilidade</b>	<b>%</b>
Muito Alto	1	1.85	9	16.67	2	3.70
Alto	0	0.00	6	11.11	9	16.67
Moderado	5	9.26	16	29.63	3	5.56
Baixo	18	33.33	15	27.78	34	62.96
Muito Baixo	30	55.56	8	14.81	6	11.11

Os dados da tabela 15 foram analisados sobre os mapas de unidades geológicas (tabela 16), e de bacias hidrográficas (tabela 17). O Grupo Bauru concentra a grande maioria dos postos e também aqueles em situação de maior perigo. Apesar de a maioria estar classificada

como de baixo perigo, inclusive no caso dos postos situados sobre os derrames basálticos, há 10 postos nas classes de maior perigo sobre o Grupo Bauru, onde a princípio é mais facilitada a percolação de eventuais contaminantes que nos derrames basálticos.

Na análise por microbacias (tabela 19), a do Gregório mostrou-se em situação mais crítica, devendo receber maior atenção quanto à contaminação por vazamentos em postos de combustível. Por outro lado, a microbacia do Mineirinho é a única que não apresentou nenhum posto na condição de perigo alto ou muito alto de contaminação.

Tabela 16: Perigo de contaminação por unidade geológica

<b>Unidade Geológica</b>	<b>Muito Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Moderado</b>	<b>Baixo</b>	<b>Muito Baixo</b>
Coberturas Cenozóicas	0	0	0	0	0
Grupo Bauru	2	8	2	29	6
Derrames Basálticos	0	1	1	5	0

Tabela 17: Perigo de contaminação por microbacia

<b>Microbacias</b>	<b>Muito Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Moderado</b>	<b>Baixo</b>	<b>Muito Baixo</b>
Gregório	1	3	2	15	1
Tijuco Preto	0	3	0	3	0
Mineirinho	0	0	0	1	3
Sta Maria Madalena	0	1	0	1	1
Alto Monjolinho	1	0	1	6	0
Médio Monjolinho	0	1	0	3	1
Baixo Monjolinho	0	1	0	5	0

## 5.2. Perigo de contaminação das águas superficiais

A análise do perigo de contaminação das águas superficiais considerou a declividade do terreno e as distâncias de captações superficiais de água, nascentes, drenagens e reservatórios. As figuras 11 e 12 mostram, respectivamente, as declividades do terreno nos postos contaminados e classificados como NC. Os postos estão localizados em áreas de baixa declividade, com praticamente sua totalidade situada em valores abaixo de 7%. Essa situação indica que eventuais vazamentos tenham baixa velocidade de escoamento superficial, o que favorece a proteção dos corpos d'água superficiais. Em contrapartida, estas áreas favorecem também a infiltração de água pluvial, o que pode potencializar a percolação de poluentes.

Nas figuras 13 e 14 são apresentadas as distâncias dos postos de combustível às captações superficiais de água da área de estudo. Quanto a esse critério, pode ser inferido que os postos estão localizados adequadamente para evitar contaminações, pois, dentre todos os

postos pesquisados, o mais próximo está a mais de 200m da captação. Apesar de sua classificação de área contaminada (AC), pela distância, dificilmente ocorreria uma contaminação.

As figuras 15 e 16 representam, respectivamente, as distâncias dos postos contaminados (AC, AI e AMR) e classificados como NC em relação às nascentes. Os valores das distâncias observados foram similares às condições das figuras 11 e 12, de modo que os postos também podem ser considerados como bem localizados neste caso.

Em relação à proximidade dos reservatórios, os postos contaminados (figura 17) estão com a distância mínima de cerca de 350m. Por outro lado, os postos onde não há dados sobre contaminação (figura 18), estão localizados de maneira menos adequada do ponto de vista da proteção da qualidade da água dos reservatórios. Há 10 postos a menos de 500m de reservatórios, sendo que o posto na situação mais crítica está a apenas 28m, estando dentro da APP. Assim, seria importante que o posto fosse transferido para outra localidade ou um controle rigoroso fosse implementado, incluindo monitoramento constante (solo e água), manutenção e troca de equipamentos com maior frequência. É importante que o monitoramento seja feito durante um longo período, pois a fase sorvida do contaminante pode funcionar como uma fonte de contaminação.

O critério da distância de drenagens apresentou as situações mais críticas entre as analisadas para as águas superficiais. Há 2 postos contaminados (AC) e 6 postos de classificação NC dentro de APP (distância menor que 50m), o que pode ser observado respectivamente nas figuras 19 e 20. Para esses postos são recomendadas as mesmas ações sugeridas ao posto situado em APP de reservatório. É necessário que seja dispendida especial atenção aos postos de classificação NC, já que os contaminados possuem sua situação fiscalizada pela CETESB.

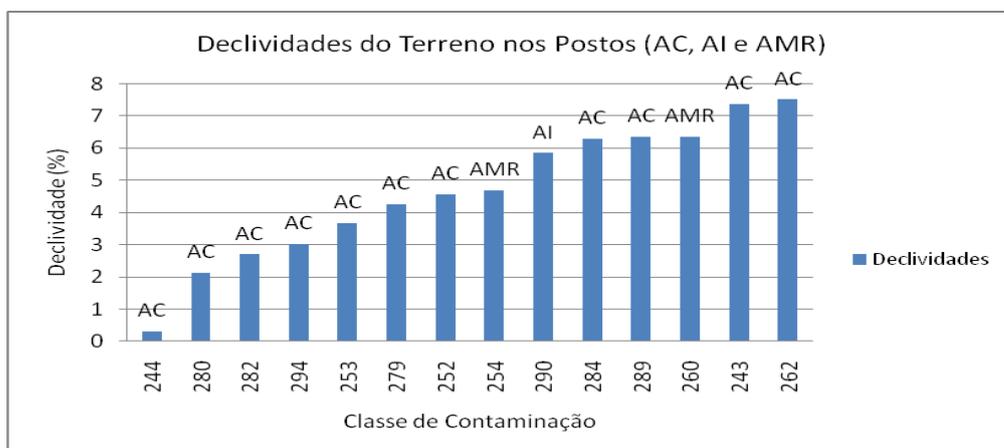


Figura 11: Declividade do terreno nos postos classificados como AC, AI e AMR

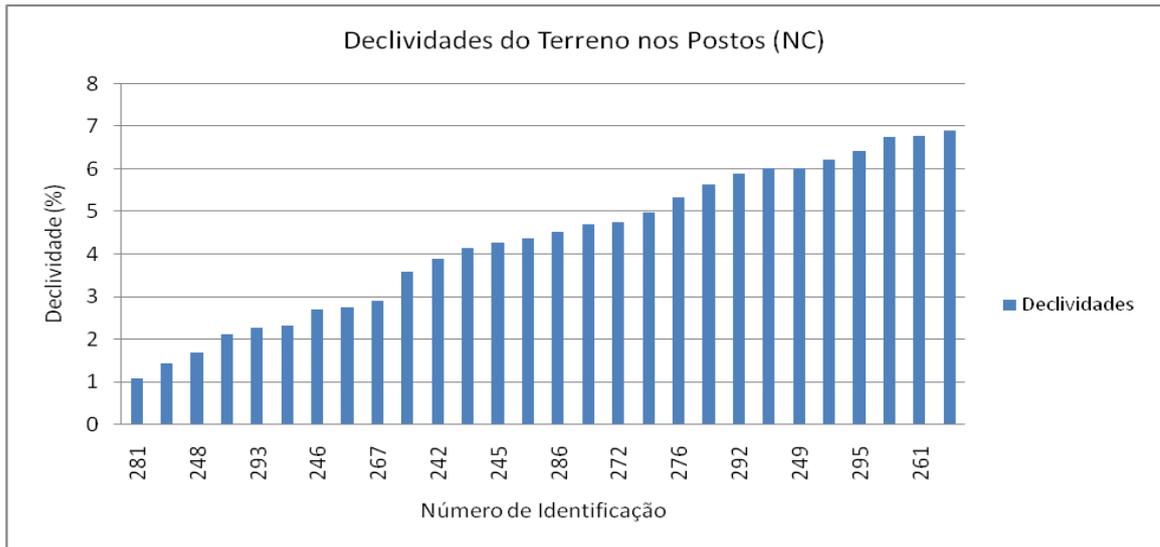


Figura 12: Declividade do terreno nos postos classificados como NC

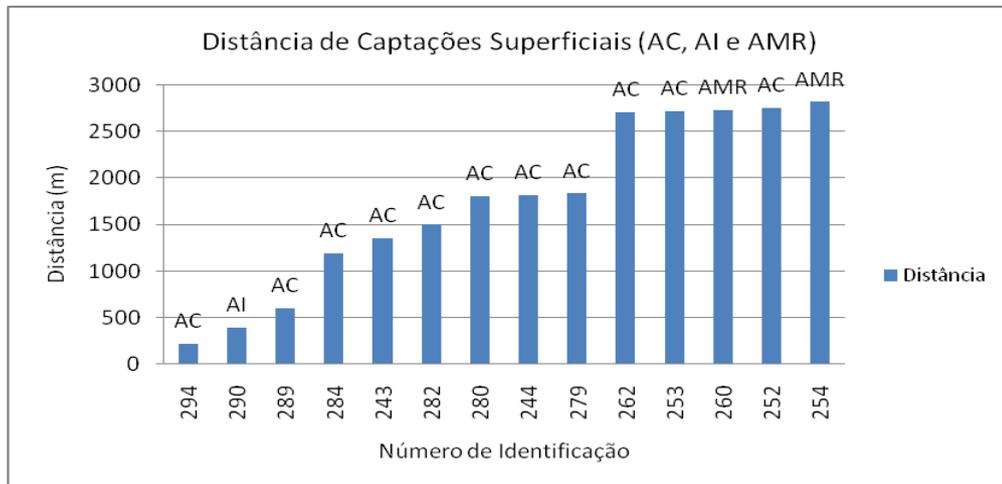


Figura 13: Distância entre postos (AC, AI e AMR) e captações superficiais

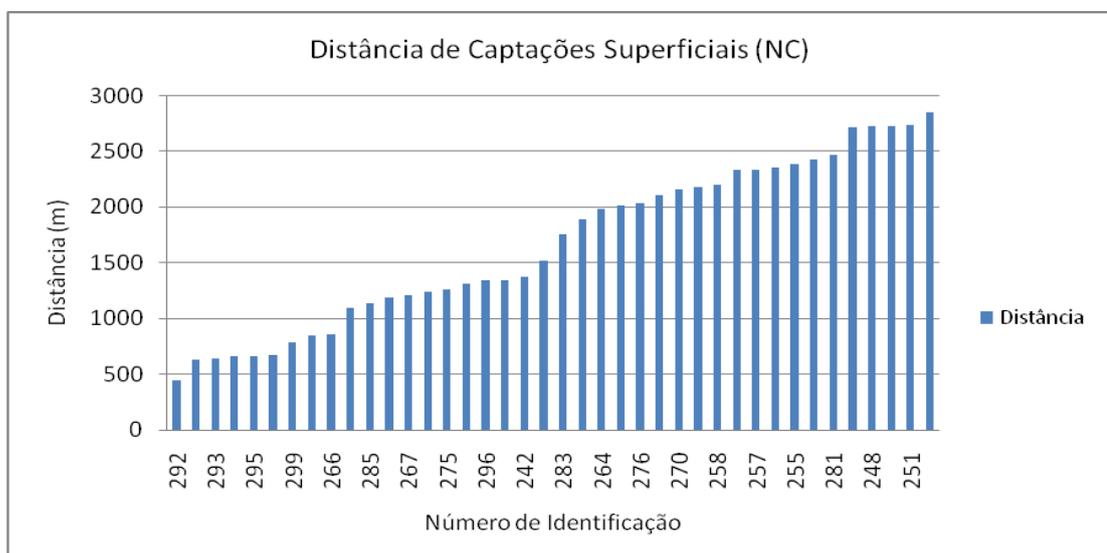


Figura 14: Distância entre postos (NC) e captações superficiais

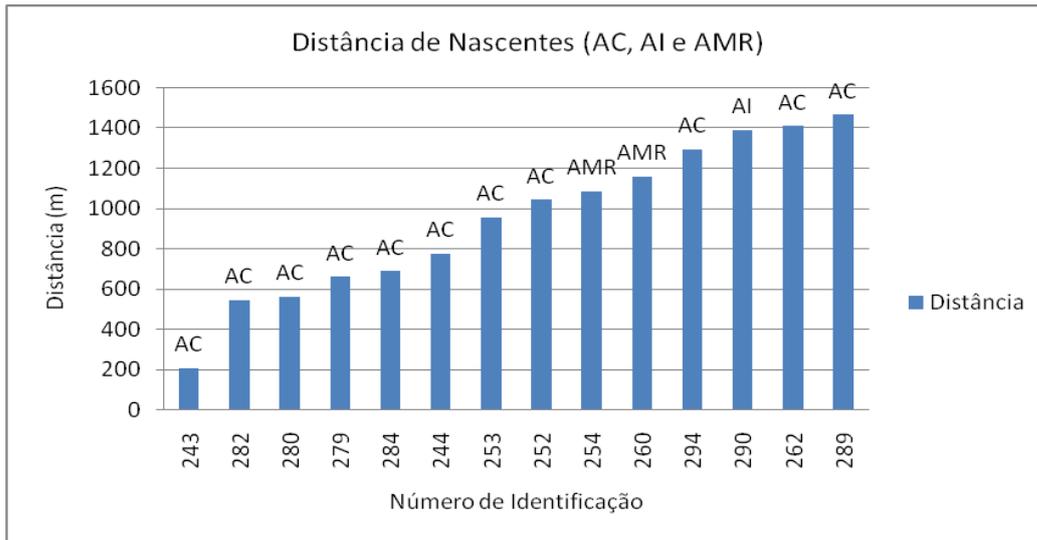


Figura 15: Distâncias entre postos (AC, AI e AMR) e nascentes

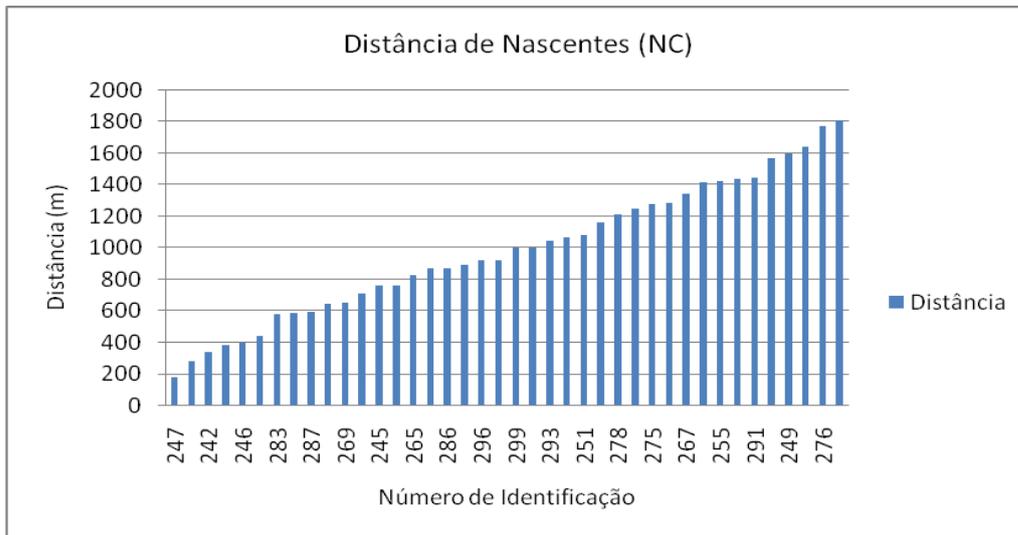


Figura 16: Distâncias entre postos (NC) e nascentes

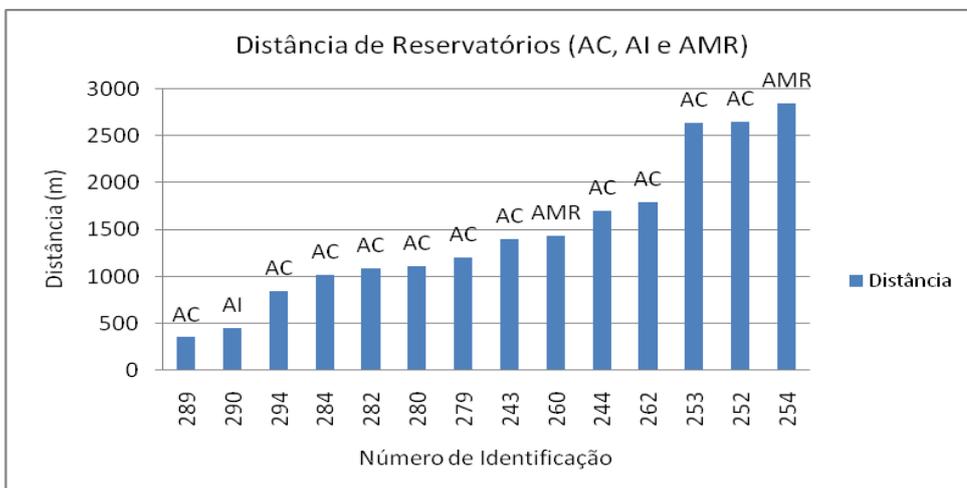


Figura 17: Distâncias entre postos (AC, AI e AMR) e reservatórios

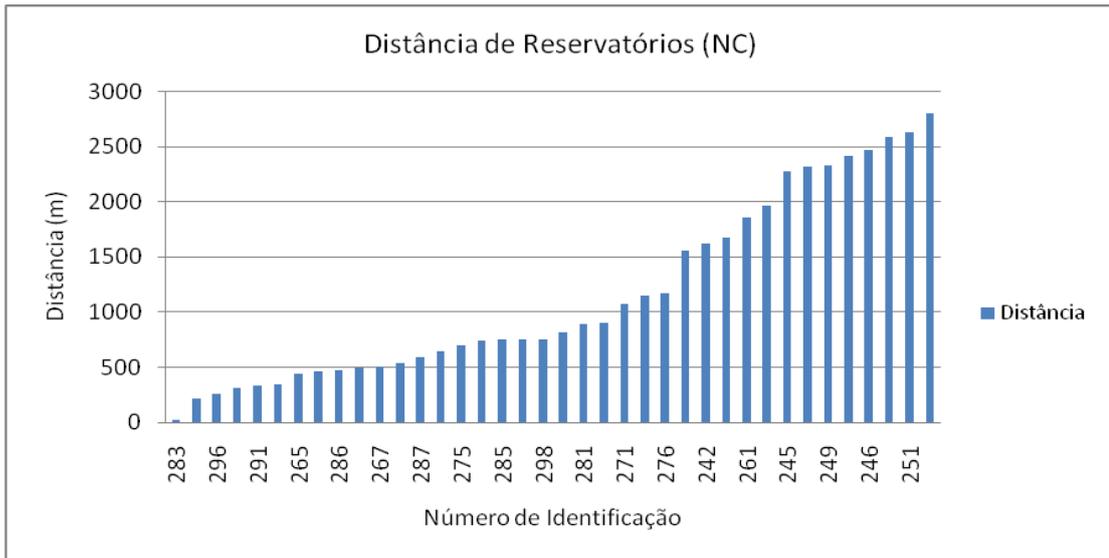


Figura 18: Distâncias entre postos (NC) e reservatórios

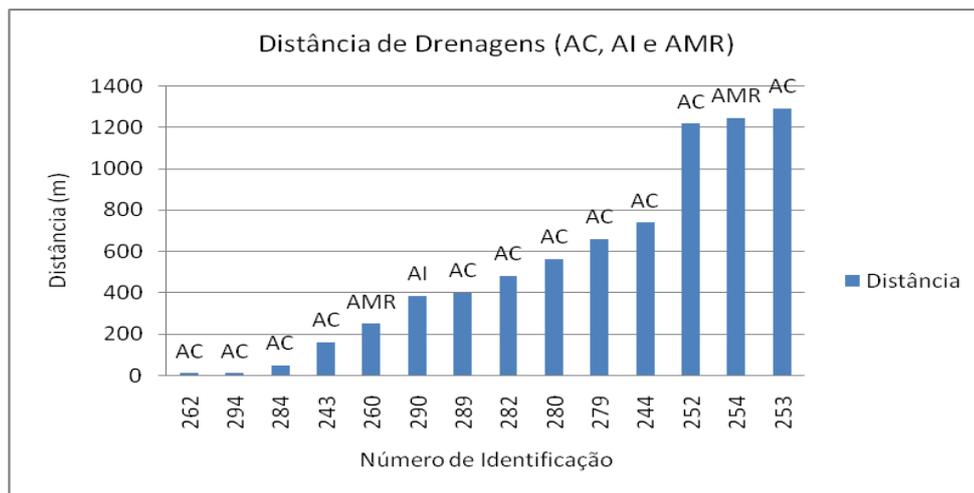


Figura 19: Distâncias entre postos (AC, AI e AMR) e drenagens

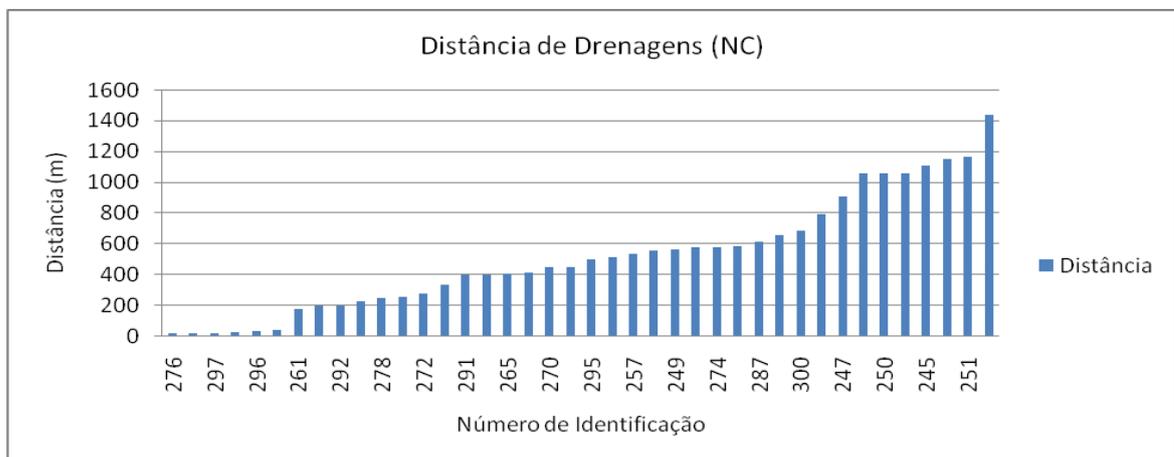


Figura 20: Distâncias entre postos (NC) e drenagens

Analisando o perigo de contaminação, considerando a combinação de cada tipo de corpo d'água com a declividade, foi possível perceber que as drenagens estão sob situação de maior perigo, sendo a única análise na qual há postos em situação de alto perigo de contaminação. Por outro lado, as captações superficiais estão mais bem protegidas. A tabela 18 mostra a quantidade de postos para as classes de perigo em cada análise.

As informações de distâncias dos corpos d'água e declividades foram sobrepostas, gerando um mapa de vulnerabilidade de contaminação das águas superficiais, apresentado no apêndice K. No mesmo mapa é apresentado o perigo de contaminação dos postos em relação às drenagens, por ser a situação mais crítica.

A tabela 19 demonstra a análise de perigo de contaminação das drenagens por microbacias. As microbacias do Gregório, Tijuco Preto e Santa Maria Madalena apresentaram um caso cada de posto em situação de perigo alto. Entretanto, apesar da concentração de postos na microbacia do Gregório, não há microbacias com mais de um posto sob perigo alto de contaminação de drenagens.

Tabela 18: Quantidade de postos para as análises em conjunto com a declividade

<b>Perigo</b>	<b>Captações Superficiais</b>	<b>Nascentes</b>	<b>Reservatórios</b>	<b>Drenagens</b>
Muito Alto	0	0	0	0
Alto	0	0	0	3
Moderado	0	1	2	7
Baixo	1	15	19	17
Muito baixo	53	38	33	27

Tabela 19: Perigo de contaminação de drenagens por microbacia

<b>Microbacias</b>	<b>Muito Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Moderado</b>	<b>Baixo</b>	<b>Muito Baixo</b>
Gregório	0	1	2	7	12
Tijuco Preto	0	1	1	1	3
Mineirinho	0	0	0	1	3
Sta Maria Madalena	0	1	0	0	2
Alto Monjolinho	0	0	1	4	3
Médio Monjolinho	0	0	2	2	1
Baixo Monjolinho	0	0	1	2	3

A partir do mapa de vulnerabilidade de contaminação das águas superficiais (apêndice K), recomenda-se que seja incentivada a instalação de novos postos de combustível nas áreas classificadas com vulnerabilidade “baixa” e “muito baixa”, e nos postos já existentes em áreas de maior vulnerabilidade ou eventuais instalações de novos postos, é preciso que cuidados

especiais sejam tomados, como monitoramento, manutenção e troca de equipamentos e construção de bacias de contenção.

O mapa de vulnerabilidade das águas superficiais pode ter seu uso extrapolado para o planejamento da instalação de outras fontes potenciais de contaminação. No caso de postos de combustível, a maior parte dos casos de contaminação ocorre no solo e águas subterrâneas, pela armazenagem subterrânea de combustíveis. Devido ao método utilizado para o mapa de vulnerabilidade das águas superficiais, considerando a distância dos corpos d'água, as áreas menos vulneráveis acabam se situando próximas dos divisores de água. Entretanto, do ponto de vista de contaminação subterrânea, vazamentos próximos dos divisores são altamente danosos, pois a área contaminada tende a ser maior devido a uma maior quantidade de direções de fluxo possíveis. Dessa forma, recomenda-se que as áreas de divisores de água com presença de postos também sejam monitoradas com maior frequência e evitadas para a localização de novos empreendimentos considerados fontes potenciais de poluição.

## **6. CONCLUSÕES**

O cadastro dos postos mostrou-se de utilidade para o controle e fiscalização dos empreendimentos. Entretanto é um trabalho que demanda constante atualização, pois as características dos postos de empreendimentos de pequeno porte fazem com que ocorram muitas mudanças em curto prazo. Foram observados diversos postos desativados e alguns foram reativados ou sofreram alterações de bandeira durante a pesquisa

Pelas análises de perigo de contaminação dos recursos hídricos, foi constatado que os postos estão localizados de maneira menos adequada em relação ao lençol freático. Dessa forma, é importante que as medidas de prevenção priorizem a proteção das águas subterrâneas, uma vez que a maioria dos postos utiliza sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis. Recomenda-se prioridade nos cuidados com o meio no entorno dos postos de combustível de número de identificação (GPS) 275, 283 e 291 (apêndice A), devido à falta de informação sobre contaminação (NC) somada à localização dos postos em áreas de vulnerabilidade alta e muito alta de contaminação do lençol freático (apêndice J).

Para uma análise mais aprofundada seria necessário que mais critérios fossem agregados, como dados dos materiais inconsistentes. Além disso, o método utilizado carrega subjetividade durante o processo de divisão dos valores dos atributos em classes e atribuição de pesos para estas. Assim, diferentes classes ou pesos, poderiam originar resultados também distintos. Para reduzir as influências da subjetividade nos resultados, uma alternativa é a

utilização do método Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvida por Saaty (1977 apud LOZANO, 2006). É um método que permite uma comparação de muitos atributos tanto qualitativos quanto quantitativos, além de possibilitar a integração e combinação de dados obtidos de mapas (MARQUES, 2002). Isso minimizaria os erros decorrentes da subjetividade da ponderação dos atributos utilizados no trabalho.

Para os cálculos dos perímetros de proteção de poços (PPP), foram utilizados valores de porosidade efetiva média dos aquíferos, referentes à região administrativa de Ribeirão Preto. Apesar de a área de estudo estar contida nessa região administrativa, a porosidade efetiva é um parâmetro que pode variar significativamente ao longo do espaço. Para uma análise mais apurada seria importante que fossem feitas análises laboratoriais para a determinação da porosidade efetiva em pontos próximos aos poços tubulares. De maneira análoga, a superfície freática seria mais precisa com levantamentos de campo, pois os dados utilizados de Bortolucci (1983) não abrangem toda a área, fazendo com que o restante da área fosse trabalhado com uma densidade menor de dados. Um levantamento do nível d'água freático em poços agregaria maior confiabilidade ao trabalho, uma vez que em relação a 1983, o nível d'água provavelmente variou de maneira significativa devido a mudanças do uso e ocupação do solo, principalmente quanto à impermeabilização.

Apesar de a análise de perigo das águas subterrâneas requerer uma quantidade de dados maior que a utilizada, o trabalho mostrou-se de simples execução e de utilidade para o planejamento do uso do solo urbano com o intuito de prevenir a contaminação das águas subterrâneas. A indicação de áreas mais propícias à acomodação de postos de combustível, no mapa de vulnerabilidade, pode auxiliar o poder público a incentivar os empreendedores a instalarem-se em locais mais propícios e fiscalizar os empreendimentos em condições mais desfavoráveis.

Para a análise de perigo das águas superficiais, os dados necessários são mais facilmente obtidos, sendo que também se mostrou de simples execução e útil para prevenção da contaminação das águas superficiais, inclusive para outras fontes contaminantes.

Dessa forma, os mapas de vulnerabilidade gerados podem servir como instrumento auxiliar para o licenciamento de postos de combustível, indicando as áreas mais adequadas para a instalação do empreendimento, e também para a determinação de medidas preventivas e mitigadoras necessárias em áreas mais vulneráveis.

Recomenda-se para continuação da pesquisa, a utilização do método Analytic Hierarchy Process (AHP) para a ponderação dos atributos e um incremento do mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas, agregando dados de materiais inconsistentes

incluindo a realização de ensaios de caracterização geológico-geotécnica e de potencial de corrosividade. Além disso, deve-se aprofundar a investigação dos aquíferos e do lençol freático e realizar o monitoramento das áreas próximas aos postos classificados como NC (nada consta) em áreas de maior perigo, com o intuito de identificar novas áreas contaminadas.

O presente trabalho contribuiu de maneira efetiva para a formação do graduando, integrando conhecimentos teóricos e práticos de diversas disciplinas, proporcionando contato com dados e casos reais de questões ambientais do meio urbano. A pesquisa também agregou conhecimentos adicionais às disciplinas do curso, complementando a formação acadêmica e profissional do aluno.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Boletim da revenda. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=3940>>. Acesso em: 16 Jan. 2010a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/postos/consulta.asp>>. Acesso em: 16 Jan. 2010b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BEDIENT, P. B.; RIFAI, H. S.; NEWELL, C. J. **Ground water contamination**: transport and remediation. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.
- BORTOLUCCI, A. A. **Caracterização geológico-geotécnica da região urbana de São Carlos-SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento**. 1983. 67f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.
- BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248 f.
- BRASIL. Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF: Senado, 1965.
- BRASIL. Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Senado, 1981.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 273, de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre prevenção e controle de poluição em postos combustíveis e de serviços.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 03 Out. 2009. 2004.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA (CEPAGRI). Clima dos municípios paulistas: São Carlos. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_549.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html)>. Acesso em: 16 Jan. 2010.
- CHIOSSI, N. J. **Geologia aplicada à engenharia**. 2. ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1979.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2001-2003**. São Paulo: CETESB, 2004. 211p. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/aguas\\_sub\\_01\\_03.zip](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/aguas_sub_01_03.zip)>. Acesso em: 20 Ago. 2009.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relação de áreas contaminadas*: texto explicativo. 2010a. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/texto\\_areas\\_cont\\_nov\\_09\\_.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/texto_areas_cont_nov_09_.pdf)>. Acesso em: 20 Jun. 2010.

- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relação de áreas contaminadas. 2010b Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/areas\\_cont\\_munic\\_nov\\_09.zip](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/areas_cont_munic_nov_09.zip)>. Acesso em: 20 Jun. 2010.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Mapa de águas subterrâneas do estado de São Paulo**: nota explicativa. São Paulo: Fundo Estadual de Recursos Hídricos. 2005.
- CORSEUIL, H. X.; FERNANDES, M. Efeito do etanol na solubilidade de compostos aromáticos presentes na gasolina brasileira. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 4, n. 1 e 2, p. 71-75, 1999.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1996. 1157p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Captações subterrâneas do estado de São Paulo. 2010a. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/daeepecos5.asp>>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Estudo de águas subterrâneas**: região administrativa 6 – Ribeirão Preto. São Paulo, v. 1, 1974.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Poços profundos do estado de São Paulo. 2010b. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/daeepecos3.asp>>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Usos dos recursos hídricos do estado de São Paulo. 2010c. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/daeepecos3.asp>>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. Frota de veículos. 2009. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/frota/FROTA\\_2009\\_OUT.zip](http://www.denatran.gov.br/download/frota/FROTA_2009_OUT.zip)>. Acesso em: 16 jan. 2010.
- DIAS, C.L.; IRITANI, M.A.; GUILLAUMON, J.R.; CASARINI, D.C. P. ; OKANO, O.; FERREIRA, L.M.R.; FRISCH, H.; TROEGER, U.; SCHULER, G. Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. **Anais**. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Behavior of hydrocarbons in the subsurface. In:\_\_\_\_\_. **How to effectively recover free product at leaking underground storage tank sites**: a guide for state regulators. 1996. Chap. III, p. III-1–III-29.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Guidelines for delineation of wellhead protection areas. 1987. Office of Ground-Water Protection. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov> > Acesso em: 25 jun. 2010.
- FERREIRA, C. A. M. **Estudo da corrosão pelo solo**: avaliação da corrosividade de amostras de solo do continente Antártico e da região sudeste do Brasil. 2005. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RODRIGUEZ, M. T. R. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 29-46, abr/jun. 2001.

- FOSTER, S.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima, Peru: CEPIS, 1988. 78p.
- FREITAS, A. L. S. de. **Caracterização do aquífero Botucatu na região do lixão de São Carlos**. 1996. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). Informações municipais. Disponível em <[http://intranet.seade.gov.br/projetos/fiesp/inf\\_mun/perfil.php](http://intranet.seade.gov.br/projetos/fiesp/inf_mun/perfil.php)>. Acesso em: 16 jan. 2010.
- GOMES, L. P. **Diagnóstico de corrosão em tubulações enterradas e tanques de armazenamento de plantas industriais**. Informe técnico, IEC-SPD001-IT-001. Disponível em: <<http://www.iecengenharia.com.br/imagens/publicacoes/DIAGNOSTICO%20DE%20CORROSAO.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2010.
- HIRATA, R. & SUHOGUSOFF, A.V. A proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Síntese das informações. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/csv.php?tabela=frota&codmun=354890&nomemun=S%E3o%20Carlos>>. Acesso em: 16 jan. 2010.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (SÃO PAULO, SP). **São Carlos I**. São Paulo, 1989. Escala 1:10.000. SF – 23, Y-A-I-1-NO-B. 1989.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (SÃO PAULO, SP). **São Carlos V**. São Paulo, 1989. Escala 1:10.000. SF – 23, Y-C-IV-3-SO-F. 1989.
- ITAME, O. Y. **Controle de qualidade aplicado na modelagem digital de terreno**. 2001. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.
- KOEPPEN, W. **Climatología con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.
- LEITE, J. C. **Metodologia para elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação e poluição das águas subsuperficiais**. 1995. 192f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- LOZANO, F. A. E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica**. 2006. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MARQUES, G. N. **Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e analytic hierarchy process – AHP**. 2002. 201f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- MENDES, J. C. **Estratigrafia e sedimentologia, geologia estrutural, aerofotogeologia**. Brasília: Instituto Nacional do Livro, 1972.
- MOHAMED, A. M. O.; ANTIA, H. E. **Geoenvironmental engineering**. Amsterdã, The Netherlands: Elsevier Science B. V., 1998.
- MOSCHINI, L. E.; SANTOS, J. E. dos; PIRES, J. S. R. Environmental diagnosis of risk areas related to gas stations. **Brazilian archives of biology and technology**, Curitiba, v. 48, n. 4, p.657-666, jul. 2005.

- MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos - SP - escala 1:50.000**. 2000. 201f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- NGHIEM, L. D. **Removal of trace organic contaminants by nanofiltration and reverse osmosis**. 2005. 228p. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculty of Engineering, University of Wollongong, Wollongong, 2005.
- OLIVEIRA, E. de. **Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo**. 1992. 112p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- SANTOS, A. G. **Influência do teor de ferro na condutividade hidráulica saturada de um rejeito de minério de ferro**. 2004. 213f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.
- SÃO CARLOS. Lei n° 12.349, de 4 de janeiro de 2000. Disciplina a edificação, instalação e funcionamento de postos revendedores de combustíveis automotivos (PRCA), bem como a segurança e proteção ambiental na instalação de tanques subterrâneos para armazenamento de combustíveis líquidos e dá outras providências. São Carlos, SP. 2000.
- SÃO CARLOS. Lei n° 13.944, de 12 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município - APREM e dá outras providências. São Carlos, SP. 2006.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto n° 8.468, de 31 de dezembro de 1976. Aprova o regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP. 1976.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto n° 32.955, de 7 de fevereiro de 1991. Regulamenta a Lei n° 6.134, de 2 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências. São Paulo, SP. 1991.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto n° 47.397, de 4 de dezembro de 2002. Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto n° 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, SP. 2002.
- SÃO PAULO (Estado). Região administrativa central. Disponível em: <<http://www.ppa.sp.gov.br/perfis/PerfilRACentral.pdf>>. Acesso em: 16 Jan. 2010.
- SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA n° 5, de 28 de março de 2001. Dispõe sobre a aplicação e o licenciamento ambiental das fontes de poluição a que se refere a Resolução n° 273 de 29 de novembro de 2000, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. São Paulo, SP. 2001.
- SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE SÃO CARLOS. A rede de água em São Carlos. Disponível em: <[http://www.saaesaocarlos.com.br/historia/rede\\_agua.htm](http://www.saaesaocarlos.com.br/historia/rede_agua.htm)>. Acesso em: 6 jun. 2008.
- SILVA, A. N. R. da; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes**. São Carlos: EdUFSCar, 2008.

- SILVA, J. D. da. **Estudo da colapsibilidade da argila porosa de Brasília pelo fluxo de contaminantes**. 2006. 162f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- SIMÕES, M. G. **Modeladores digitais de terreno em sistemas de informação geográfica**. 1993. 158f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia de Sistemas e Computação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SIGRH. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/APRESENTACAO/CRH/CBH-TJ/23/index.html?lwgactw=138148>>. Acesso em: 16 Jan. 2010a.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SIGRH. Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhtm.exe/plu?qwe=qwe>>. Acesso em: 20 Jan. 2010b.
- TAKESHITA, E. V. **Adulteração da gasolina por adição de solventes: análise dos parâmetros físico-químicos**. 2006. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill/Edusp, 1977.
- VELOZO, R. Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos-SP, com auxílio da geofísica. 2006. 177f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Paulo, 2006.
- YAMADA, D. T. Caracterização geológico-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP). 2004. 141f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- YONG, R. N. Geoenvironmental engineering: contaminated soils, pollutant fate and mitigation. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2001.
- YONG, R. N.; MULLIGAN, C. N. **Natural attenuation of contaminants in soils**. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2004.

## 8. APÊNDICES

FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 11	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Stubé
<b>GPS:</b> 242	<b>Foto:</b> 60	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Desembargador Júlio Faria com R. Francisco Schiavone		

**Aspectos topográficos:** Terreno plano, próximo ao divisor de águas.

**Drenagem:** Localização à montante da nascente do córrego do Usina, mas relativamente distante.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

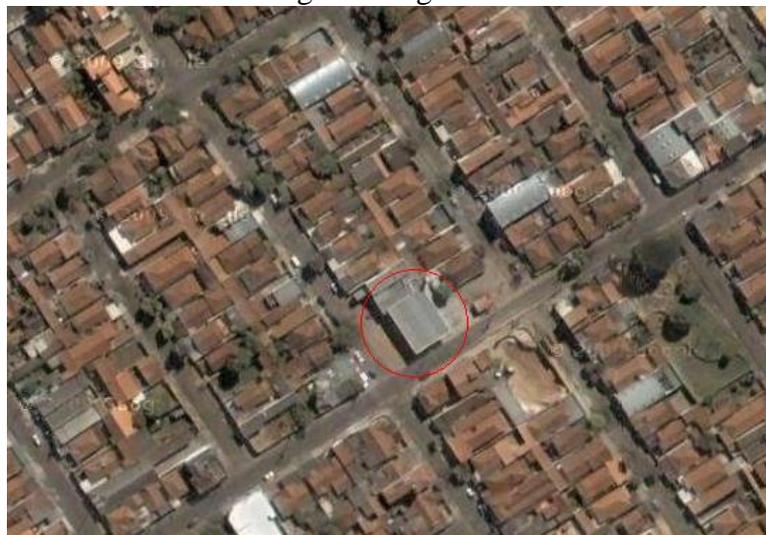
**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Parte do pavimento do posto é permeável.

Foto Chão



Imagem Google Earth



## FICHA DE CAMPO

<b>Identificação:</b> 51	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Grécia
<b>GPS:</b> 243	<b>Foto:</b> 61	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Henrique Gregori com R. Ananias Evangelista de Toledo		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta, com presença de corte atrás do posto.

**Drenagem:** Localização à montante da nascente do córrego do Usina (aproximadamente 50m). **Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado, com canteiro central na avenida com área verde e ciclovia imediatamente a jusante do posto, sendo possível fazer amostragem.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 09	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Aspen
<b>GPS:</b> 244	<b>Foto:</b> 62	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Antônio Botelho com Av. Sallum		

**Aspectos topográficos:** Área plana, próximo ao divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Praça de igreja próxima com possibilidade de amostragem.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 30	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Santo Antônio
<b>GPS:</b> 245	<b>Foto:</b> 63	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> R. Domingos Marino com Av. Dr. Teixeira de Barros		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta suave.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Canteiro central da avenida com possibilidade de amostragem.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 29	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 246	<b>Foto:</b> 64	<b>Bandeira:</b> _____
<b>Endereço:</b> R. Cel. Leopoldo Prado com Av. Sallum		

**Aspectos topográficos:** Área plana, próximo ao divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Duas praça a montante e avenida próxima com canteiro e rotatória gramados com possibilidade de amostragem.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Posto interditado/desativado.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 60	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Palmeiras
<b>GPS:</b> 247	<b>Foto:</b> 65	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Cel. Leopoldo Prado com R. Ceará		

**Aspectos topográficos:** Próximo ao divisor de águas. Início de meia encosta de alta declividade.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Escola imediatamente a montante com área verde.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** Parte do pavimento do posto permeável.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 27	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Triângulo
<b>GPS:</b> 248	<b>Foto:</b> 66	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Elias Arsenios com Av. Dr. Pádua Salles		

**Aspectos topográficos:** Topo plano.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Avenida com canteiro com área verde e árvores de grande porte. Possibilidade de amostragem a jusante do posto.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



### FICHA DE CAMPO

<b>Identificação:</b> 46	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Quality
<b>GPS:</b> 249	<b>Foto:</b> 67	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Oswaldo Cruz com Av. São Carlos		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta suave.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 42	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Liras
<b>GPS:</b> 250	<b>Foto:</b> 68	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> R. Machado de Assis com Av. São Carlos		

**Aspectos topográficos:** Início de meia encosta com declividade de média a alta.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 43	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Santo Antônio de Pádua
<b>GPS:</b> 251	<b>Foto:</b> 69	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> R. Humberto de Campos com Av. São Carlos		

**Aspectos topográficos:** Base de encosta.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 44	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> Pinhal
<b>GPS:</b> 252	<b>Foto:</b> 71	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> Av. São Carlos		

**Aspectos topográficos:** Topo plano.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Rotatória com área verde e praça imediatamente a montante.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem GoogleEarth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 45	<b>Data:</b> 05/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 253	<b>Foto:</b> 70	<b>Bandeira:</b> _____
<b>Endereço:</b> Praça Itália		

**Aspectos topográficos:** Topo plano.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Rotatória e praça com áreas verdes próximas. Terreno baldio com solo exposto e ferrovia a montante.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Abandonado.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 1	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Borba Gato
<b>GPS:</b> 254	<b>Foto:</b> 72	<b>Bandeira:</b> Esso
<b>Endereço:</b> Praça Itália com Av. Getúlio Vargas		

**Aspectos topográficos:** Início de meia encosta suave, próximo de topo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Rotatória e praça com áreas verdes próximas. Canteiro central da avenida com área verde bastante estreita.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 4	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Bandeira 2
<b>GPS:</b> 255	<b>Foto:</b> 74	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> Av. Getúlio Vargas com R. Santa Filomena		

**Aspectos topográficos:** Divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Canteiro central da avenida com área verde bastante estreita, canteiro do posto com área verde e terrenos grandes próximos gramados.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 3	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Bandeira 1
<b>GPS:</b> 256	<b>Foto:</b> 73	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> Av. Getúlio Vargas com R. Padre Joaquim Botelho		

**Aspectos topográficos:** Divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Rotatória e praça com áreas verdes próximas. Canteiro central da avenida com área verde bastante estreita.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 56	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 257	<b>Foto:</b> 75	<b>Bandeira:</b> Esso
<b>Endereço:</b> R. Raimundo Correa com R. José Pistelli		

**Aspectos topográficos:** Divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Área de solo exposto no fundo do posto.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

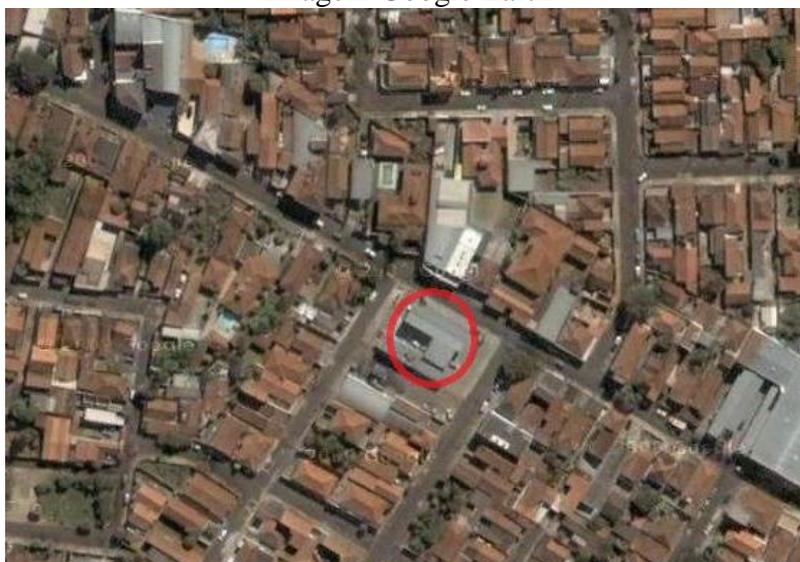
**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



### FICHA DE CAMPO

**Identificação:** 5                      **Data:** 12/03/2010                      **Nome:** \_\_\_\_\_

**GPS:** 258 (posto) e 259 (perfil) **Foto:** 76 (posto) e 77 (perfil) **Bandeira:** Ipiranga

**Endereço:** Av. Comendador Alfredo Maffei com R. Major Manoel de Mattos

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Córrego do Gregório. Nível d'água do rio aproximadamente 3m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado. Margem do córrego com área para amostragem. Horta próxima e vários terrenos baldios.

**Perfil de alteração do solo:** Solo pouco espesso, com exposição de rocha alterada bem fraturada (basalto).

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim                       Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 54	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 260	<b>Foto:</b> 78	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> R. São Paulo com R. Treze de Maio		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Próximo do Córrego do Gregório.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 62	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Polícia
<b>GPS:</b> 261	<b>Foto:</b> 79	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> R. Bento Carlos com R. Rui Barbosa		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta de declividade média.

**Drenagem:** Próximo do Córrego do Gregório.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Posto interno da polícia.

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 47	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Raposo Tavares
<b>GPS:</b> 262	<b>Foto:</b> 80	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> Av. Comendador Alfredo Maffei com R. Dona Alexandrina		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Córrego do Gregório em trecho canalizado. Nível d'água do córrego aproximadamente 3m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado, com área verde de praça próxima a jusante.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



### FICHA DE CAMPO

**Identificação:** 10**Data:** 12/03/2010**Nome:** Viaduto Veículos**GPS:** 264**Foto:** 82**Bandeira:** \_\_\_\_\_**Endereço:** R. Candido Padim com R. Roberto Simonsen**Aspectos topográficos:** Meia encosta.**Drenagem:** Não há nas proximidades.**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Próximo à ferrovia e de escola (SENAC), com presença de área verde no fundo do posto.**Perfil de alteração do solo:** Não observável.**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não**Observações:** Posto desativado, funcionando venda de carros usados atualmente.

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 31	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Novo Tempo
<b>GPS:</b> 265	<b>Foto:</b> 83	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Henrique Gregori com R. Francisco Gregoracci		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente distante do rio do Monjolinho.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com áreas de possibilidade de amostragem no canteiro da avenida e do posto.

**Perfil de alteração do solo:** Solo residual de basalto com perfil desenvolvido.

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 32	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Nenna
<b>GPS:</b> 266	<b>Foto:</b> 85 (posto) e 84 (perfil)	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> Av. Henrique Gregori		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente próximo do rio do Monjolinho.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com área verde no canteiro da avenida. Corte com perfil de solo exposto próximo à ferrovia.

**Perfil de alteração do solo:** Solo residual de basalto com perfil desenvolvido.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Posto fora de funcionamento.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 67	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Extra
<b>GPS:</b> 267	<b>Foto:</b> 86	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Passeio das Palmeiras (Shopping Iguatemi)		

**Aspectos topográficos:** Topo de morro.

**Drenagem:** Relativamente próximo.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado, mas com muitos terrenos baldios e condomínios residenciais próximos.

**Perfil de alteração do solo:** Solo residual de basalto.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



**FICHA DE CAMPO****Identificação:** 57**Data:** 12/03/2010**Nome:** Vovó Felícia**GPS:** 269**Foto:** 87**Bandeira:** Esso**Endereço:** Av. Bruno Ruggiero Filho com R. Pedro Fernandes Alonso**Aspectos topográficos:** Topo de morro.**Drenagem:** Não há nas proximidades.**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto a jusante no canteiro, praça e terrenos.**Perfil de alteração do solo:** Não observável.**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não**Observações:** Parte da calçada permeável.

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 66	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Millenium
<b>GPS:</b> 270	<b>Foto:</b> 88	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Bruno Ruggiero Filho com R. Ethivaldo A. Martins		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto a jusante no canteiro e em terrenos.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 37	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Tropical
<b>GPS:</b> 271	<b>Foto:</b> 89	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Bruno Ruggiero Filho com R. José Missali		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto a jusante no canteiro e em terrenos.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 38	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Petro Delta
<b>GPS:</b> 272 (posto) e 273 (perfil)	<b>Foto:</b> 90 (posto) e 91 (perfil)	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Bruno Ruggiero Filho com R. Miguel João		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto em rotatória e terrenos.

**Perfil de alteração do solo:** Solo arenoso residual do Grupo Bauru. Areia fina.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 39	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Flórida
<b>GPS:</b> 274	<b>Foto:</b> 92	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Miguel Petroni com R. Maurilio Cassinelli		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto a no canteiro da avenida e em terrenos.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 33	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> A1
<b>GPS:</b> 275	<b>Foto:</b> 93	<b>Bandeira:</b> Esso
<b>Endereço:</b> Av. Comendador Alfredo Maffei com R. José Nunes		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Córrego do Gregório. Nível d'água aproximadamente 4m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto em muitos terrenos baldios.

**Perfil de alteração do solo:** Solo residual de basalto em perfil atrás do posto.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 34	<b>Data:</b> 12/03/2010	<b>Nome:</b> Iguatemi
<b>GPS:</b> 276	<b>Foto:</b> 94 (posto) e 95 (drenagem)	<b>Bandeira:</b> _____
<b>Endereço:</b> Av. Comendador Alfredo Maffei com R. Delfino Martins C. Penteadó		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Córrego do Gregório. Trecho canalizado com nível d'água 3m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado Urbanizado com solo exposto em muitos terrenos baldios.

**Perfil de alteração do solo:** Solo residual de basalto e depósito aluvionar.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Posto abandonado.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 40	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Biquinha
<b>GPS:</b> 278	<b>Foto:</b> 98	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> R. José Bonifácio com R. 7 de Setembro		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente distante do Córrego do Gregório. Antiga nascente no local do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 41	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> XV de Novembro
<b>GPS:</b> 279	<b>Foto:</b> 99	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> Av. São Carlos com R. XV de Novembro		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** Próximo de escolas.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 15	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Bandeira 3
<b>GPS:</b> 280	<b>Foto:</b> 102	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> R. Dr. Carlos Botelho com R. Dona Alexandrina		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Próximo da Unimed.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 25	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Monteiro Lobato
<b>GPS:</b> 281	<b>Foto:</b> 103	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Comendador Alfredo Maffei com R. José Nunes		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado (residencial) com poucos terrenos baldios.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 16	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> DHS
<b>GPS:</b> 282	<b>Foto:</b> 104	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. São Carlos com R. Dr. Orlando Damiano		

**Aspectos topográficos:** Início de meia encosta, próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 7	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 283	<b>Foto:</b> 106 (posto) e 105 (erosão)	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> R. Maria Tavares Leandro com R. Miguel Giometti		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Córrego do Tijuco Preto.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado com solo exposto em muitos terrenos baldios.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

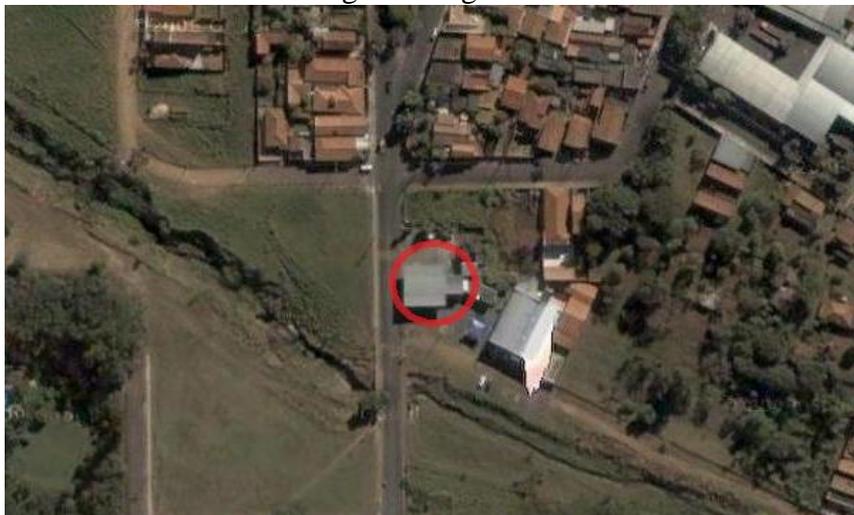
**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 8	<b>Data:</b> 1803/2010	<b>Nome:</b> Di-Mayant
<b>GPS:</b> 284	<b>Foto:</b> 107	<b>Bandeira:</b> Ipiranga
<b>Endereço:</b> Av. São Carlos com Av. Capitão Alberto Mendes Jr.		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Encosta do Córrego do Tijuco Preto.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado com margens de córrego e faixas de área verde.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Em obras, mas em funcionamento.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 55	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Garagem da Athenas Paulista
<b>GPS:</b> 285	<b>Foto:</b> 108	<b>Bandeira:</b> _____
<b>Endereço:</b> R. Dr. Eugênio de Andrade Egas		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente distante.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Canteiro da avenida e praça com áreas verdes. Próximo do cemitério.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 22	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Posto do Zuzão
<b>GPS:</b> 286	<b>Foto:</b> 109	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. México com R. Estados Unidos		

**Aspectos topográficos:** Próximo do divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Pequena faixa verde ao lado do posto. Escola ao lado do posto.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

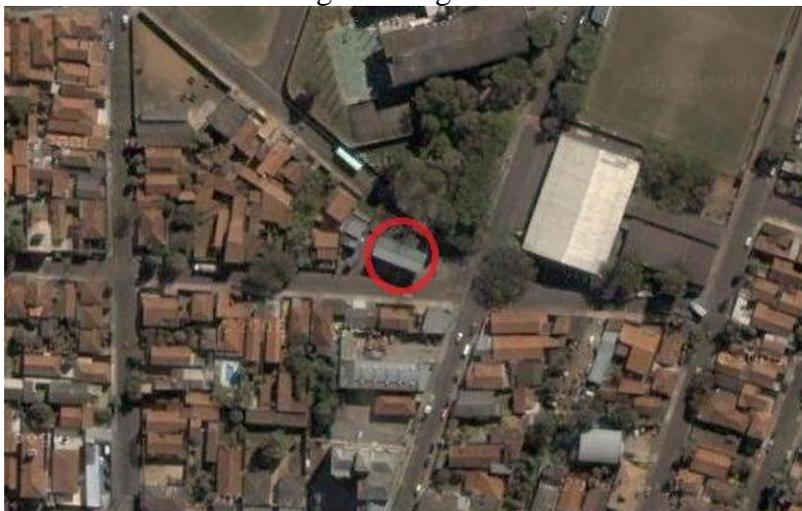
**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 6	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 287	<b>Foto:</b> 110	<b>Bandeira:</b> _____
<b>Endereço:</b> R. Equador com R. Argentina		

**Aspectos topográficos:** Próximo de divisor de águas.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Áreas verdes na escola, no corpo de bombeiros e no canteiro do posto.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Posto abandonado.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 49 e 50	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Garagem da Prefeitura
<b>GPS:</b> MOSCHINI, L. E. et al. (2005)	<b>Foto:</b> 111	<b>Bandeira:</b> _____
<b>Endereço:</b> R. Santos Dumont		

**Aspectos topográficos:** Início de meia encosta.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado. Muito solo exposto no estabelecimento.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Desativados.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 17	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Bartolomeu Bueno
<b>GPS:</b> 288	<b>Foto:</b> 114	<b>Bandeira:</b> Esso
<b>Endereço:</b> Av. Prof. Luiz Augusto de Oliveira com R. José Culo		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente distante.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Terreno baldio a jusante.

**Perfil de alteração do solo:** Alteração do Grupo Bauru.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 18	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Pantanal II
<b>GPS:</b> 289	<b>Foto:</b> 115	<b>Bandeira:</b> Shell
<b>Endereço:</b> Av. Prof. Luiz Augusto de Oliveira com R. Lions Clube		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente distante.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Terreno baldio a jusante.

**Perfil de alteração do solo:** Alteração do Grupo Bauru.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



**FICHA DE CAMPO****Identificação:** 20**Data:** 18/03/2010**Nome:** São Paulo**GPS:** 290**Foto:** 113**Bandeira:** BR**Endereço:** Av. Prof. Luiz Augusto de Oliveira com R. Rotary Clube**Aspectos topográficos:** Meia encosta.**Drenagem:** Relativamente distante.**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Rotatória próxima com área verde.**Perfil de alteração do solo:** Não observável**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 19	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 291	<b>Foto:</b> 112 (posto) e 116 (solo)	<b>Bandeira:</b> Esso
<b>Endereço:</b> Av. Prof. Luiz Augusto de Oliveira com R. José Culo		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Relativamente distante.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Terreno baldio a jusante.

**Perfil de alteração do solo:** Alteração do Grupo Bauru.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** Posto fora de funcionamento.

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 21	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Esplanada
<b>GPS:</b> 292	<b>Foto:</b> 117	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Rod. Washington Luis, km		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta, próximo à Tecumseh.

**Drenagem:** Relativamente próximo à drenagens.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado. Bastante solo exposto.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



**FICHA DE CAMPO****Identificação:** 65**Data:** 18/03/2010**Nome:** Paulistano**GPS:** 293**Foto:** 118**Bandeira:** Sem bandeira**Endereço:** R. Reginaldo Fernandes Nunes com R. Iwagiroy Toyama**Aspectos topográficos:** Meia encosta, próximo do divisor de águas.**Drenagem:** Relativamente distante.**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado (residencial). Terreno baldio a jusante.**Perfil de alteração do solo:** Não observável.**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 48	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Hortências
<b>GPS:</b> 294	<b>Foto:</b> 119	<b>Bandeira:</b> BR
<b>Endereço:</b> R. Dr. Viriato Fernandes Nunes com R. Franklin Brasiliense		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Córrego Santa Maria Madalena. Nível d'água do córrego aproximadamente 2m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado. Possibilidade de amostragem nas margens do córrego.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaio:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth

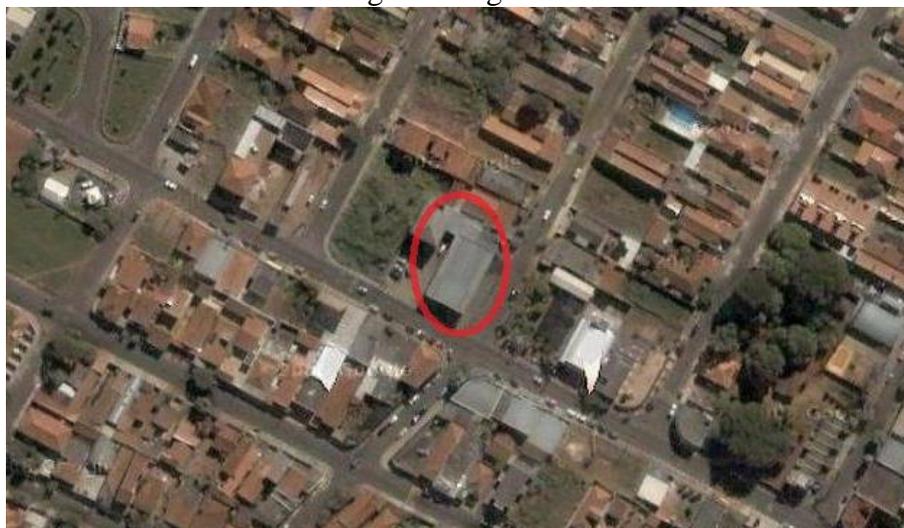


FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 13	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Estrela
<b>GPS:</b> 295	<b>Foto:</b> 120	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> R. Miguel Petroni com R. Jorge Tibiriçá		
<b>Aspectos topográficos:</b> Meia encosta, próximo de divisor de águas.		
<b>Drenagem:</b> Não há nas proximidades.		
<b>Uso/cobertura do solo:</b> Intensamente urbanizado. Solo exposto a montante.		
<b>Perfil de alteração do solo:</b> Não observável.		
<b>Possibilidade de Ensaios:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
<b>Observações:</b> Estacionamento com pavimento permeável.		

Foto Chão



Imagem Google Earth



FICHA DE CAMPO		
<b>Identificação:</b> 36	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Alvorada
<b>GPS:</b> 296	<b>Foto:</b> 121	<b>Bandeira:</b> Sem bandeira
<b>Endereço:</b> Av. Francisco Pereira Lopes com R. Dra. Fabiana Porto Morasco		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Rio do Monjolinho. Nível d'água do rio aproximadamente 3m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado, mas com bastante área verde. Possibilidade de amostragem nas margens.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 12	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> _____
<b>GPS:</b> 297	<b>Foto:</b> 122	<b>Bandeira:</b> Shell
<b>Endereço:</b> Av. Francisco Pereira Lopes com R. Dr. Serafim Vieira de Almeida		

**Aspectos topográficos:** Fundo de vale.

**Drenagem:** Margem do Rio do Monjolino. Nível d'água do rio aproximadamente 3m abaixo do nível do posto.

**Uso/cobertura do solo:** Urbanizado, mas com bastante área verde. Possibilidade de amostragem nas margens.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

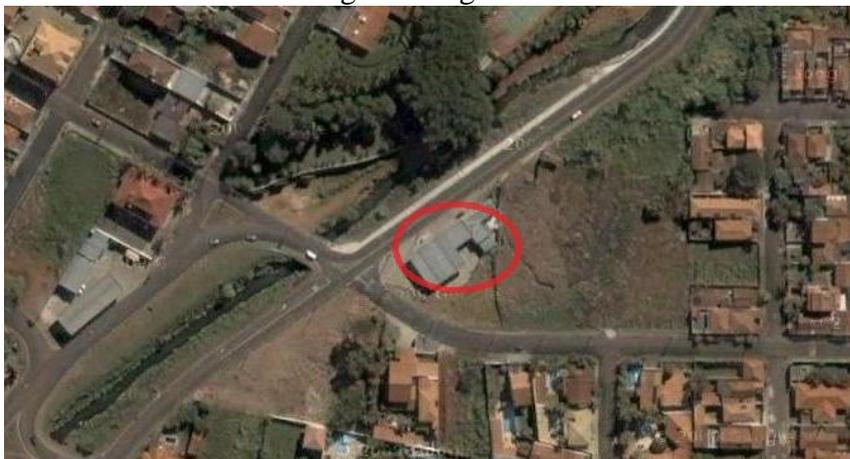
**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



Imagem Google Earth



<b>FICHA DE CAMPO</b>		
<b>Identificação:</b> 52	<b>Data:</b> 18/03/2010	<b>Nome:</b> Universitário
<b>GPS:</b> 298	<b>Foto:</b> 123	<b>Bandeira:</b> Shell
<b>Endereço:</b> R. Miguel Petroni com R. Dona Maria Jacinta		

**Aspectos topográficos:** Meia encosta.

**Drenagem:** Não há nas proximidades.

**Uso/cobertura do solo:** Intensamente urbanizado com algumas áreas verdes.

**Perfil de alteração do solo:** Não observável.

**Possibilidade de Ensaios:**  Sim  Não

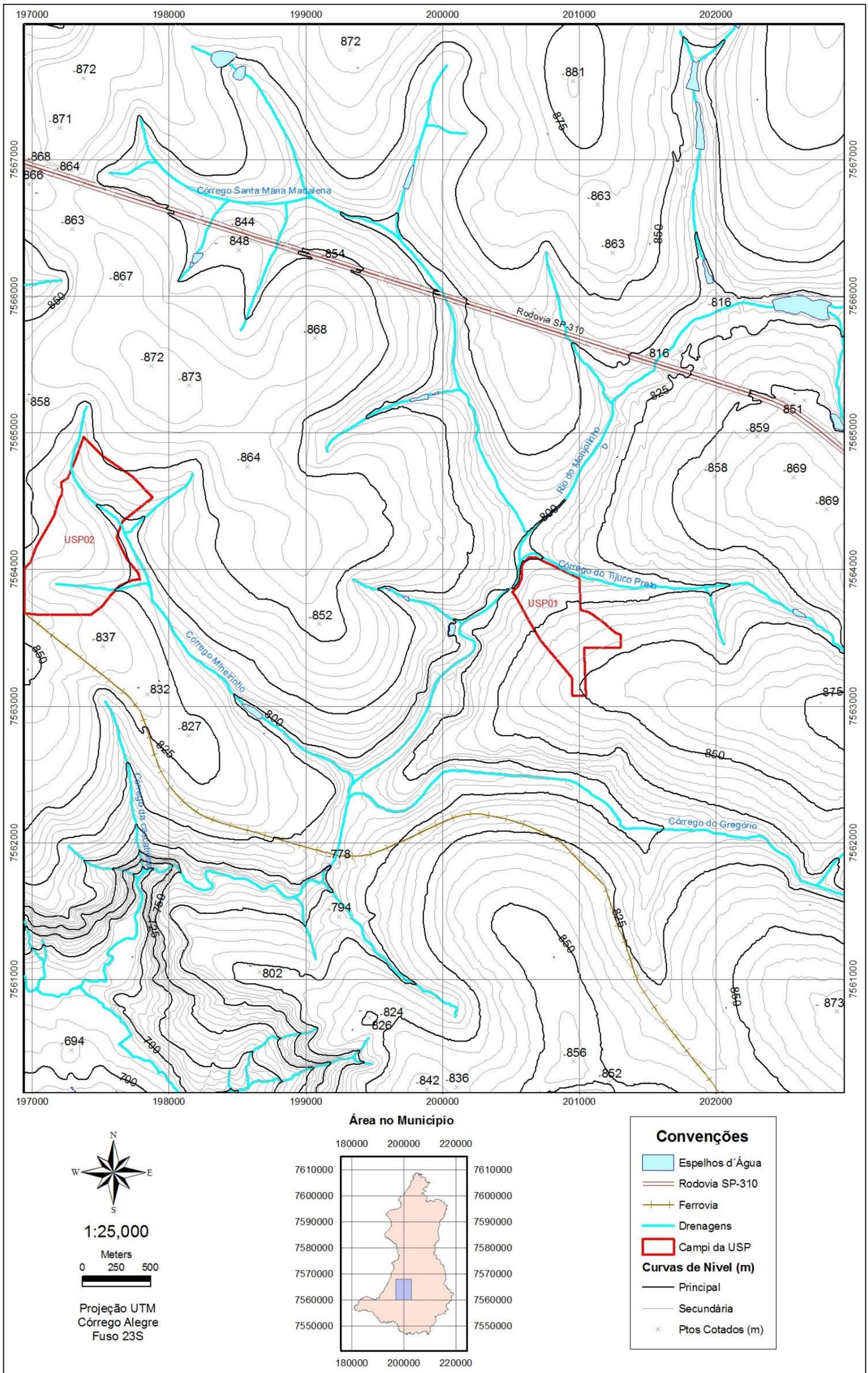
**Observações:** \_\_\_\_\_

Foto Chão



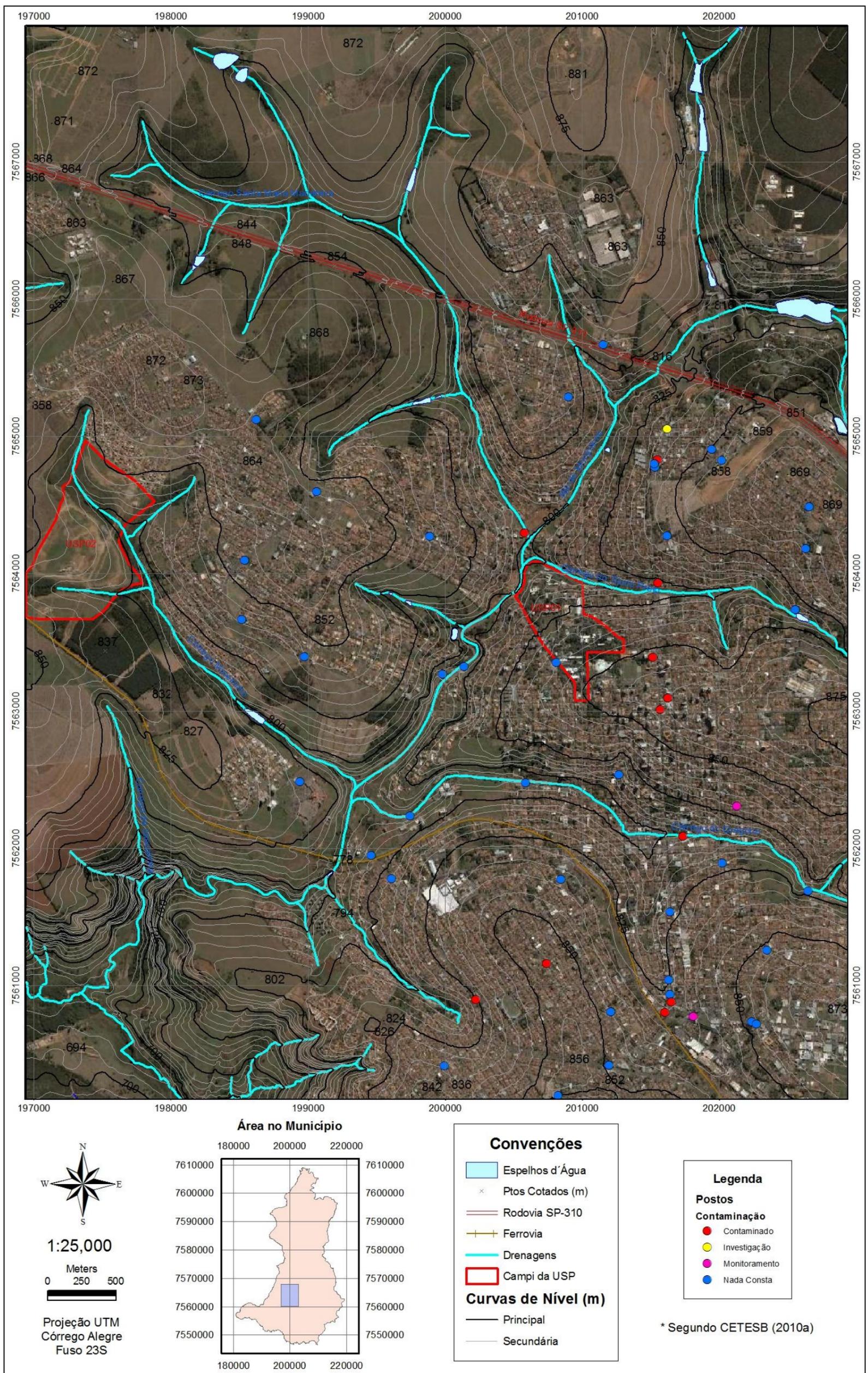
Imagem Google Earth





APÊNDICE B – MAPA BASE TOPOGRÁFICA



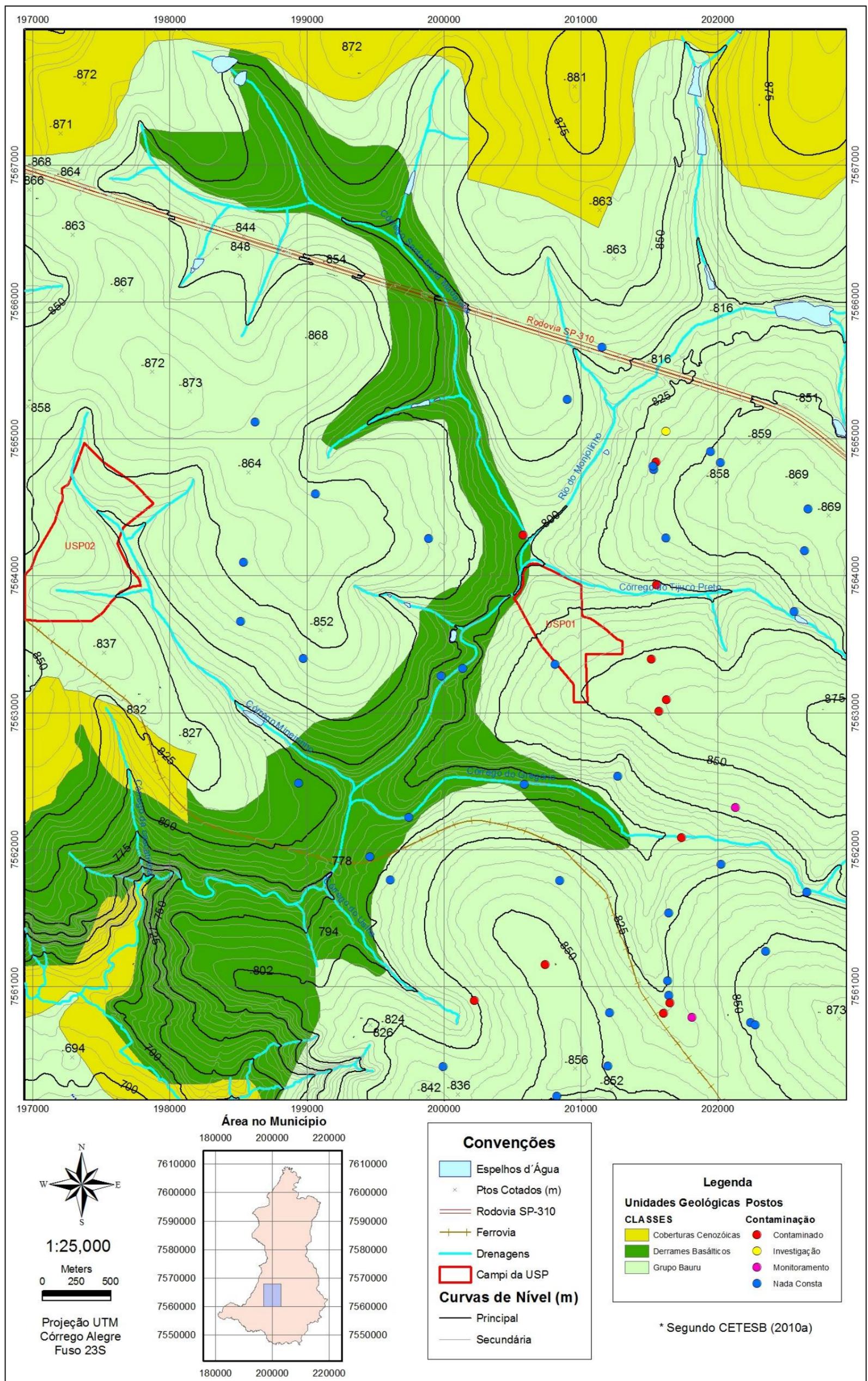


APÊNDICE C – IMAGEM DE SATÉLITE



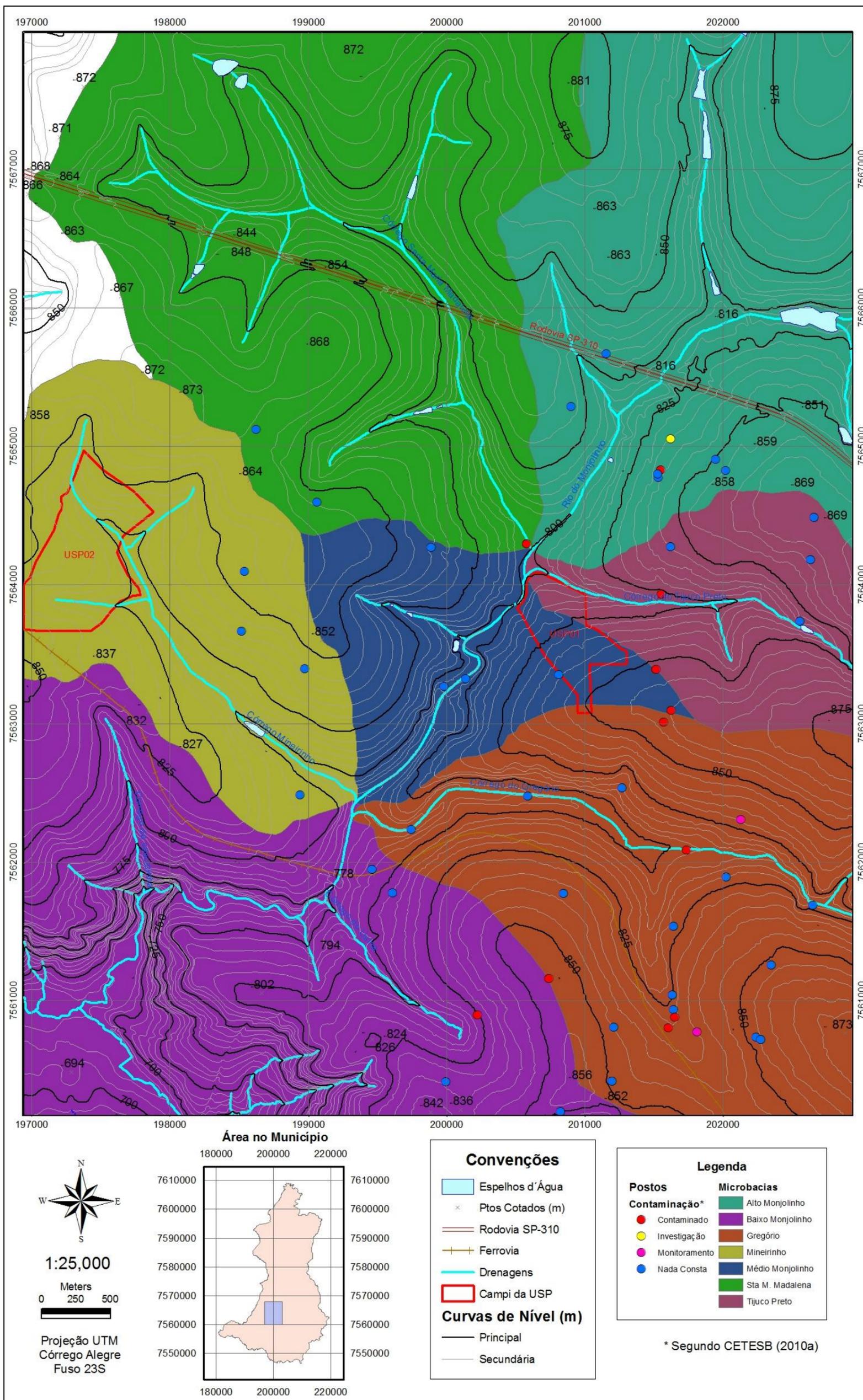






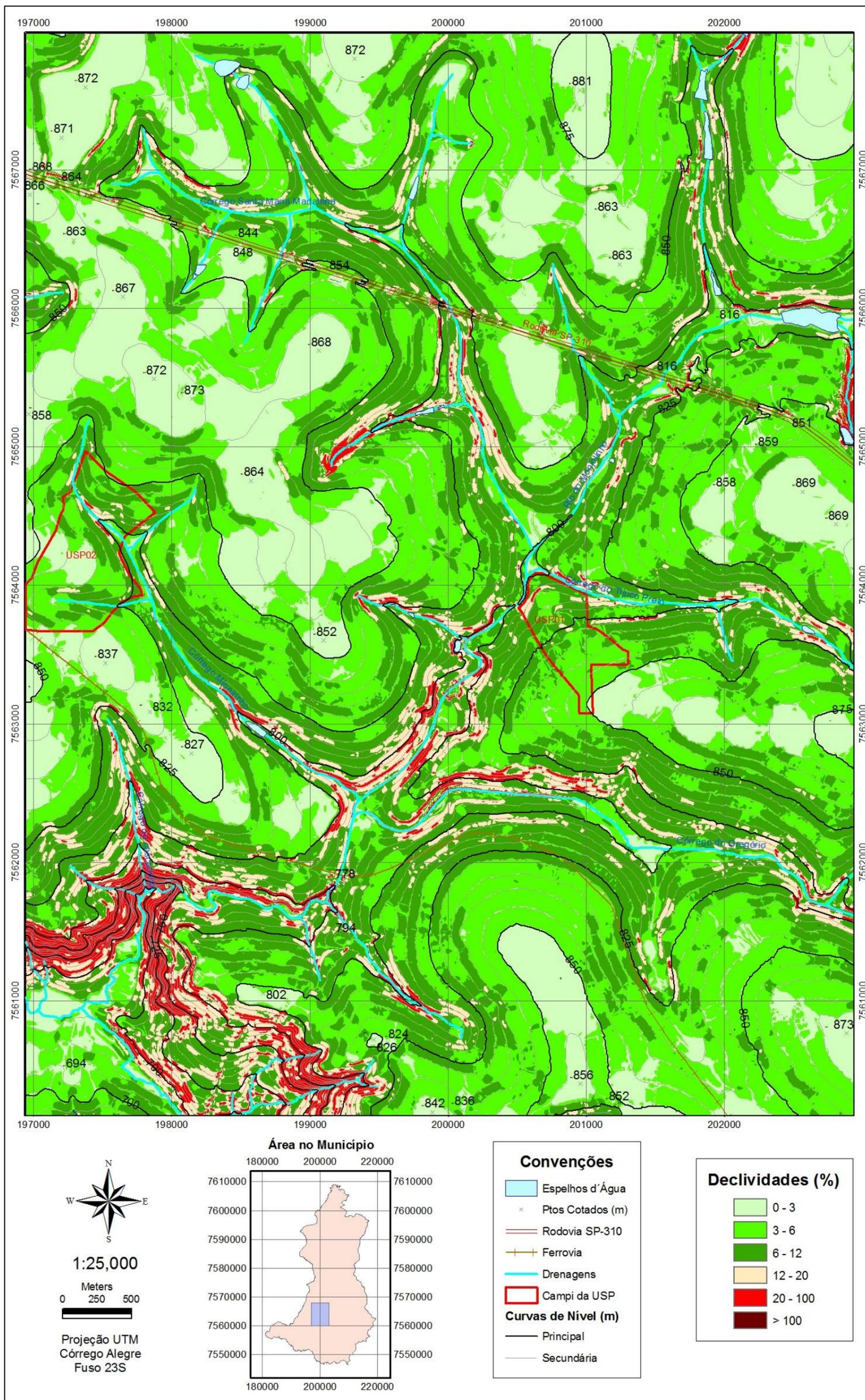
APÊNDICE E – MAPA COM AS PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS





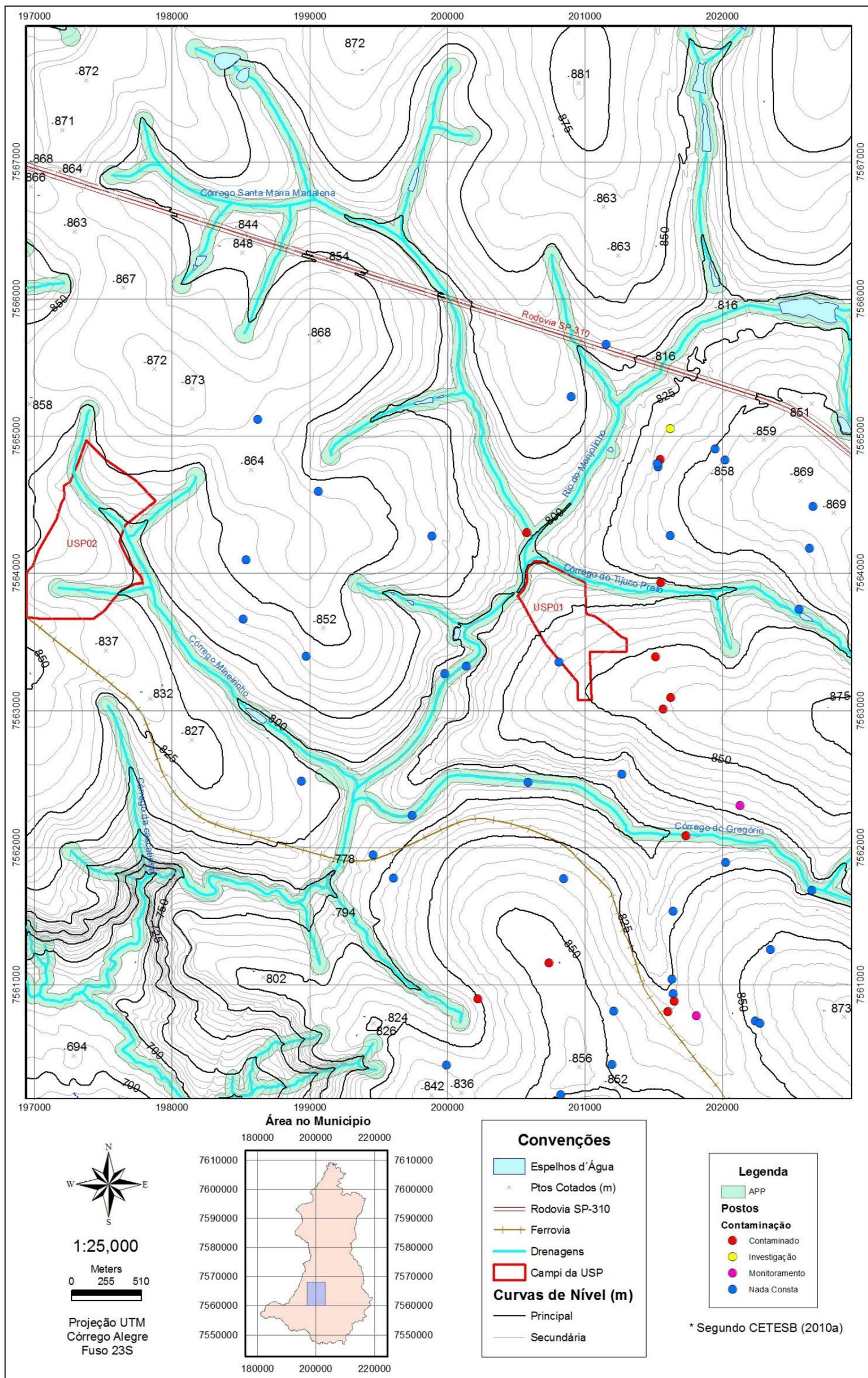
APÊNDICE F – MAPA DE MICROBASIAS HIDROGRÁFICAS





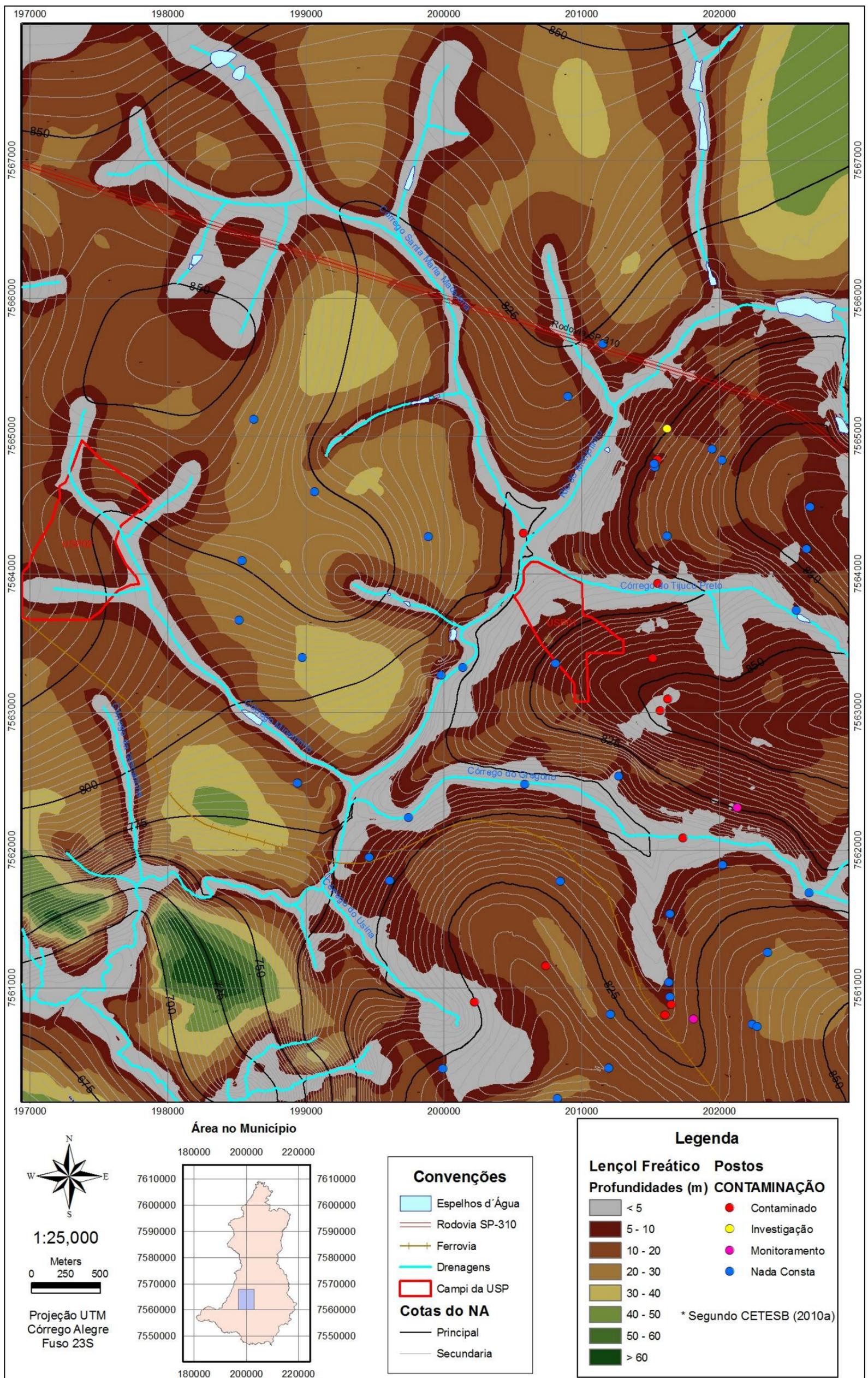
APÊNDICE G – MAPA DE DECLIVIDADES





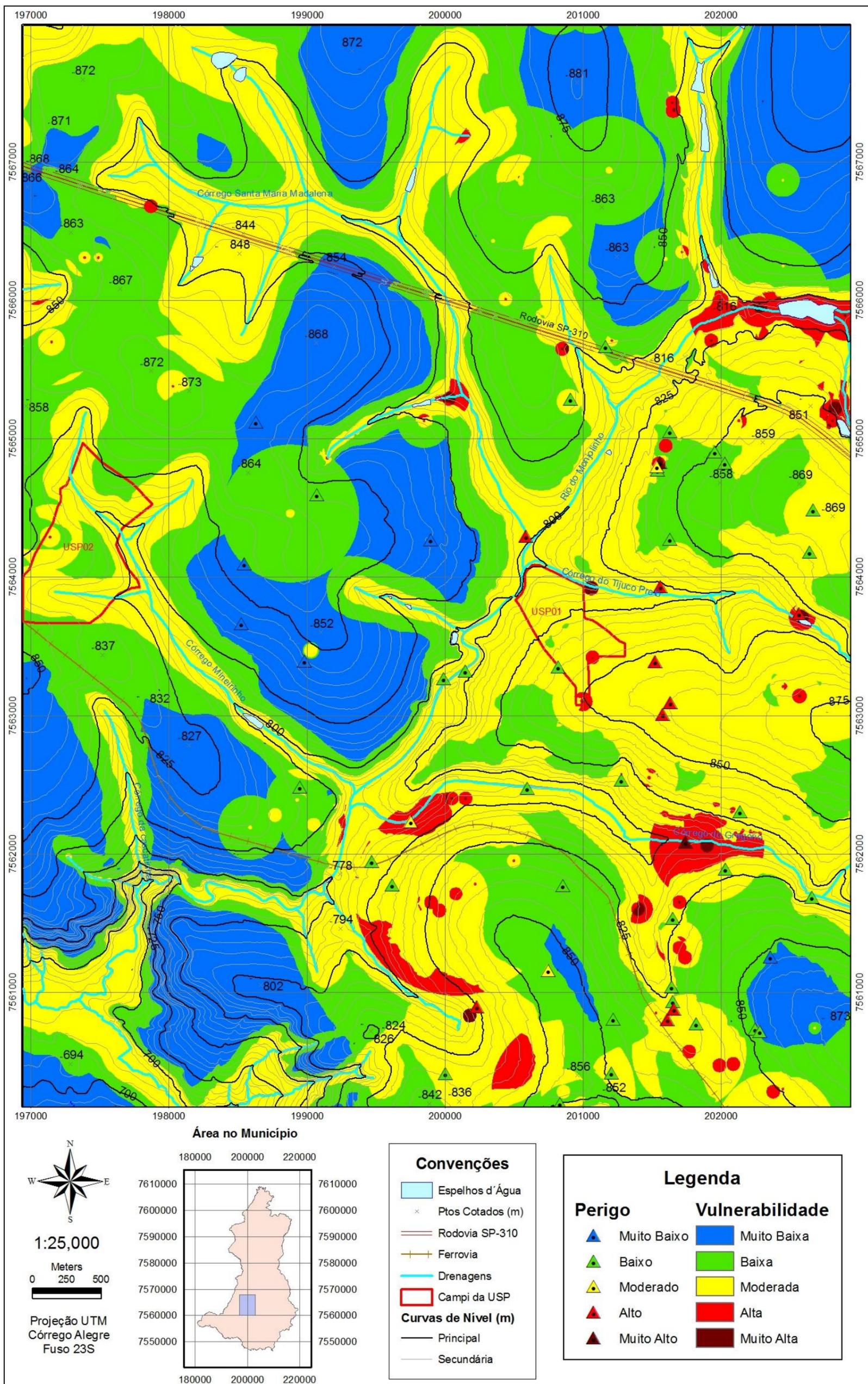
APÊNDICE H – MAPA DE APP





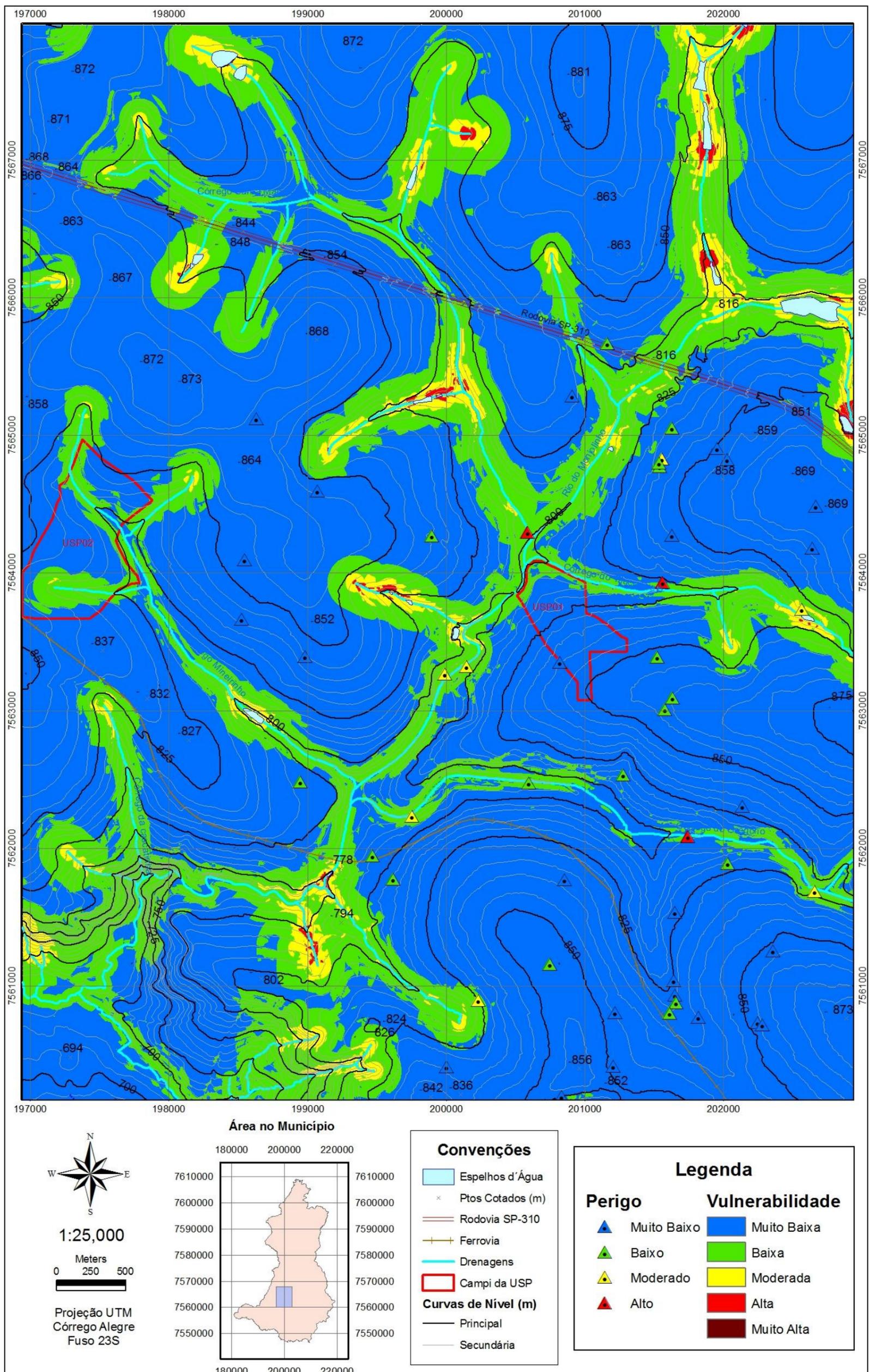
APÊNDICE I – MAPA DO LENÇOL FREÁTICO





APÊNDICE J – MAPA DE VULNERABILIDADE DO LENÇOL FREÁTICO





APÊNDICE K – MAPA DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS