

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO EM ÁREA DE INSTALAÇÃO DE POSTO DE COMBUSTÍVEL EM RIO CLARO (SP)

Leandro Eugenio da Silva CERRI ¹, José Eduardo ZAINE ¹,
Carlos de Almeida NÓBREGA ¹, Mário GIBOTTI JUNIOR ²

(1) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos: lescerri@rc.unesp.br; jezaine@rc.unesp.br; cnobrega@rc.unesp.br.

(2) Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio (CEUNSP). Rua Madre Maria Basília 965 – Centro. CEP 13300-903. Itu, SP.

Introdução
Considerações Iniciais
Método e Etapas de Trabalho
Resultados Obtidos
 Caracterização Geral da Área de Estudo
 Estudos Geológico-Geotécnicos de Detalhe
 Investigações Indiretas de Subsuperfície (Ensaio Geofísicos)
 Investigações Diretas de Subsuperfície
 Poço de Investigação
 Sondagens a Percussão
 Avaliação dos Solos e das Águas Quanto ao Grau de Corrosividade
 Avaliação da Área Quanto à Corrosividade do Solo
 Avaliação da Área Quanto à Corrosividade da Água
 Avaliação da Área Quanto à Colapsividade do Solo
 Avaliação da Área Quanto à Capacidade de Suporte do Solo (Níveis de Suporte em Diferentes Profundidades)
 Avaliação da Área Quanto à Expansibilidade do Solo
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO: O presente artigo descreve os estudos realizados para a caracterização geológico-geotécnica em área de implantação de posto de revenda de combustíveis na cidade de Rio Claro (SP). Essa caracterização visou atender à legislação municipal, especialmente pelo fato de que os resultados obtidos fundamentaram o processo de licenciamento do empreendimento. Os trabalhos foram realizados em duas etapas. Na primeira foi executada uma caracterização geral da área de estudo, seguida de outra de estudos específicos, compreendendo a caracterização detalhada do material presente na área, bem como o registro de processos geológicos. A área está situada em relevo bastante plano, tendo como substrato geológico sedimentos predominantemente arenosos, fracamente litificados da Formação Rio Claro (Cenozóico) e solos lateríticos espessos. Como resultado das observações de campo e de diversas análises e ensaios de laboratório realizados em amostras do solo e da água, dentre outros aspectos, pode-se concluir que o solo é corrosivo e colapsível. Em função dessas e outras características determinadas, foram indicadas medidas preventivas para orientar o projeto construtivo do posto, especialmente evitando vazamentos e diminuindo os riscos de contaminação da água e do solo.

Palavras-chave: Caracterização geológico-geotécnica; postos de combustíveis; Rio Claro; solos colapsíveis; corrosão.

ABSTRACT: *L.E.S. Cerri, J.E. Zaine, C. de A. Nóbrega, M. Gibotti Júnior - Geological and geotechnical characterization for the installation of a fuel retail station in Rio Claro (State of São Paulo – Brazil).* The present paper describes geological and geotechnical investigations for the area of a fuel retail station site in Rio Claro. The characterization sought to attend municipal fuel storage regulations. The obtained results supplied requested information for the licensing process. Studies were accomplished in two stages. In the first stage, a general characterization of the area was executed, followed by a stage of specific studies, which included a detailed soil characterization of the site, as well as the record of active geological processes in the area. The site is located in a plane area. Sandy sediments of the Rio Claro Formation (Cenozoic age) and a thick cover of lateritic soil constitute the main geological substratum. As a result of field observations and several laboratory tests in soil and water samples, among other aspects, it can be concluded that the soil is both corrosive and collapsible. As a result, preventive measures were proposed for the fuel service station project during the construction period, in order to avoid leakage and to reduce the risks of contamination of water and soil.

Keywords: Geological and geotechnical characterization; fuel retail stations; Rio Claro; collapsible soils; corrosion.

INTRODUÇÃO

O presente artigo descreve os estudos realizados para a caracterização geológico-geotécnica em área de implantação de posto de revenda de combustíveis na cidade de Rio Claro (SP). A caracterização geológico-geotécnica citada é exigida por lei e normas municipais, sendo que o processo de licenciamento para

implantação desse tipo de empreendimento é tramitado na Secretaria Municipal de Desenvolvimento, Planejamento e Meio Ambiente (Sedeplama).

No Município de Rio Claro (SP), uma forte demanda pela implantação de postos de abastecimento de veículos levou o Poder Público municipal a norma-

lizar a instalação desses estabelecimentos. Paralelamente a essa demanda, problemas ambientais associados a freqüentes vazamentos de tanques de armazenamento são classificados como bastante graves e de difícil recuperação nas áreas afetadas pela contaminação e poluição dos solos e, principalmente, das águas subterrâneas.

Diante desse quadro, a Lei Municipal nº. 2.942 de 1998 (Rio Claro, 1998), regula a construção de postos de abastecimento e de serviços de veículos, explicitando a necessidade de elaboração de laudo técnico com a caracterização da área do empreendimento, dados sobre estanqueidade dos tanques e

estabilidade do solo.

Posteriormente a essa lei municipal e também visando controlar e reduzir os vazamentos de derivados de petróleo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu a Resolução nº 273 de 29 de novembro de 2000, que regulamenta a instalação de postos de combustíveis. Nessa resolução são considerados os riscos de contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, solo e ar, e os riscos de incêndio e explosões. Também é determinada a elaboração de caracterização hidrogeológica e geológica do terreno com análise do solo, contemplando a permeabilidade e o potencial de corrosão (CONAMA, 2000).

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A forma mais comum de armazenagem de combustíveis (gasolina, óleo diesel e álcool) em postos de abastecimento de veículos é a utilização de tanques subterrâneos (Gibotti Jr., 1999). Com base em dados da Europa e dos EUA, o autor relata que uma parte significativa dos tanques instalados apresenta problemas de corrosão em período de 15 a 20 anos. O autor citado destaca que, além dos vazamentos associados à corrosão dos tanques, também são freqüentes vazamentos em tubulações devido a instalações mal realizadas ou a peças danificadas.

Gibotti Jr. (1999) a partir de pesquisa bibliográfica, relaciona os seguintes fatores como responsáveis pela deterioração das condições de estanqueidade dos tanques de combustíveis e demais estruturas enterradas:

- presença de solos corrosivos;
- proximidades de sistemas de corrente contínua (p.ex., linhas férreas eletrificadas);
- qualidade do revestimento do tanque, bem como falhas no processo de instalação;
- áreas inundáveis;
- presença de turfas ou materiais sujeitos à combustão espontânea;
- áreas com nível freático próximo à superfície;
- presença de solos colapsíveis;
- solos expansivos e camadas compressíveis.

No Brasil, os tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis têm suas especificações técnicas definidas de acordo com a NBR-13.312 (ABNT, 1995), que os classifica quanto a sua capacidade volumétrica e tipos de revestimentos protetores da corrosão.

A instalação de postos na cidade de Rio Claro é regulamentada por lei municipal, que fixa critérios com base nas normas da ABNT, a qual classifica as instalações de equipamentos subterrâneos como classe 3, orientadas pela NBR 13.312 (ABNT, 1995) e NBR 13.781 (ABNT, 1997). Em tais normas a ABNT define

os cuidados que devem ser tomados, desde a abertura da cava de instalação dos tanques até a identificação de fatores agravantes para as estruturas enterradas e que podem apresentar restrições à instalação, ou seja, as características geológico-geotécnicas do terreno (nível freático elevado, solo instável, presença de rocha), ou algumas características oriundas de fatores antrópicos, tais como solo contaminado, antigas fundações, galerias de serviços e tubulações de água, gás, entre outras.

De acordo com o levantamento realizado por Gibotti Jr. (1999), em 1998 a cidade de Rio Claro possuía 37 postos de serviços e de abastecimentos de veículos, com a instalação de cerca de 170 tanques metálicos enterrados, com capacidade volumétrica, características tecnológicas e idades diversas. A grande maioria desses estabelecimentos (27 postos) está assentada sobre solos areno-argilosos da Formação Rio Claro.

O presente artigo descreve as atividades referentes ao levantamento de aspectos geológico-geotécnicos em área de implantação de posto de abastecimento de veículos, localizada nos domínios da Formação Rio Claro. A área de interesse localiza-se na zona norte da cidade de Rio Claro (SP), exatamente na esquina da Av. Brasil com a Av. M-19, Vila Martins. O local situa-se a 750 m (em linha reta) do Lago Azul, que corresponde ao corpo d'água de superfície mais próximo, fazendo parte da bacia do Córrego da Servidão, ou seja, as águas pluviais escoam em direção ao Lago Azul. O projeto do posto de abastecimento prevê a utilização de uma área total equivalente a 800 m² (Figura 1).

Os resultados obtidos com o levantamento geológico-geotécnico visaram subsidiar a elaboração do projeto final de implantação do empreendimento. Os laudos geológico-geotécnicos elaborados foram aprovados pelo órgão licenciador municipal, sendo que, atualmente, o empreendimento se encontra em operação.

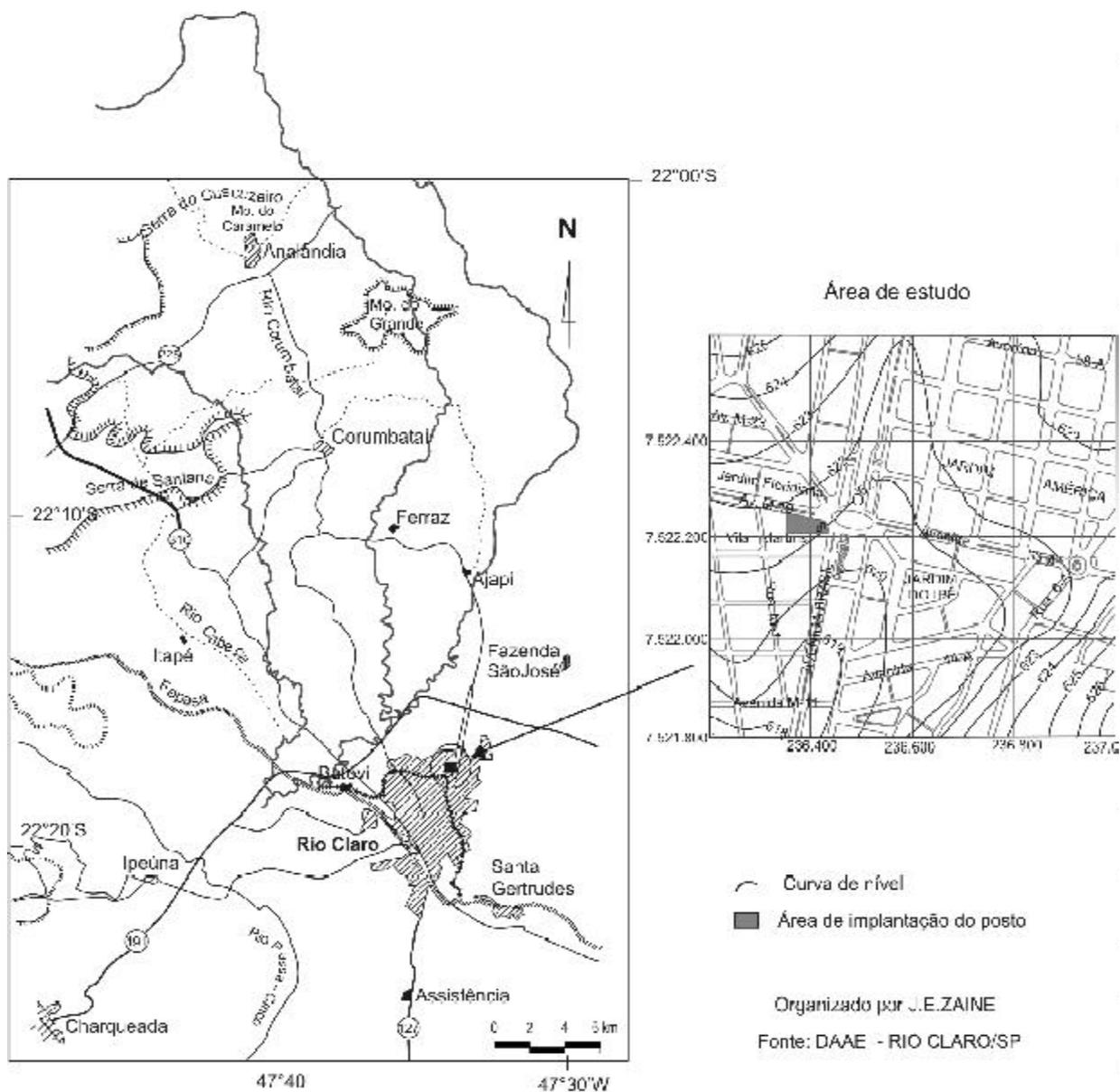


FIGURA 1. Mapa de localização.

MÉTODOS E ETAPAS DE TRABALHO

A caracterização geológico-geotécnica da área-objeto de implantação do empreendimento foi realizada em duas etapas distintas, para atender fielmente o disposto na legislação municipal, especialmente pelo fato de que os resultados obtidos visavam fundamentar as diferentes fases do processo de licenciamento de postos de revenda de combustíveis. Na primeira etapa foi executada uma caracterização geral da área de estudo, seguida de uma etapa de estudos específicos, compreendendo a caracterização do material presente na área, bem como o registro de processos geológicos.

Na etapa geral, executada em fevereiro de 1999, foram realizados o levantamento dos aspectos geológico-geotécnicos correspondentes à localização

do empreendimento e a caracterização preliminar da área, com o desenvolvimento das seguintes atividades:

- localização da área de implantação do Posto de Abastecimento e de Serviços em mapa topográfico e análise do contexto urbano;
- levantamento, com base na bibliografia existente, das características gerais da área estudada, coletando informações relacionadas ao relevo, solo, substrato geológico e avaliação preliminar contendo orientações em termos de limitações e adequabilidades dos terrenos;
- confecção de seção topográfica/geológica com o posicionamento da área em análise, contendo os diferentes valores de declividade do terreno;

- execução de uma sondagem a trado na área em questão, com descrição dos materiais perfurados e elaboração de perfil de sondagem.
- Na segunda etapa, executada em setembro de 1999, foram realizados os estudos geológico-geotécnicos de detalhe na área de interesse, ou seja, a caracterização do material e dos processos atuantes. Nessa etapa foram realizadas as seguintes atividades:
- execução de investigações indiretas de subsuperfície: ensaios geofísicos – sondagens elétricas verticais (SEVs) e seções de radar (GPR);
- execução de investigações diretas de subsuperfície: poço de investigação e sondagens a percussão;
- coleta de amostras do solo (deformadas e indeformadas) e da água de subsuperfície;
- análise dos solos em termos de colapsividade, expansibilidade e capacidade de carga nas diferentes profundidades (níveis de suporte) e análises da água e dos solos quanto ao grau de corrosividade, por meio de ensaios de laboratório;
- apresentação de subsídios ao projeto final do empreendimento.

RESULTADOS OBTIDOS

Com o desenvolvimento das atividades descritas nas duas etapas dos estudos, foram obtidos os seguintes resultados.

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A seguir são apresentadas informações de caráter geral da área de estudo, bem como sobre as limitações e adequabilidades da unidade geotécnica na qual a área está inserida. A Figura 2, seção geológica WNW-ESE passando pela área, complementa as observações relacionadas a seguir.

A área de estudo está situada em relevo bastante plano, classificado geomorfologicamente como colina ampla, tabuliforme, de declividade natural menor que

2,5% (Cottas, 1983). Geologicamente, a área situa-se na faixa de ocorrência da Formação Rio Claro (Cenozóico), unidade que se caracteriza por sedimentos fracamente litificados, compostos por arenitos esbranquiçados, friáveis, com intercalações de níveis argilosos e conglomeráticos. Segundo Zaine (1994), nessa unidade geológica também ocorrem crostas lateríticas ferruginosas centimétricas.

No geral, a permeabilidade da Formação Rio Claro é elevada, apresentando valores para o coeficiente de condutividade hidráulica K em torno de 10^{-3} cm/s, exceto quando se trata dos níveis argilosos nela presentes. No local, a Formação Rio Claro assenta-se sobre argilitos e siltitos da Formação Corumbataí (Permiano), rochas que

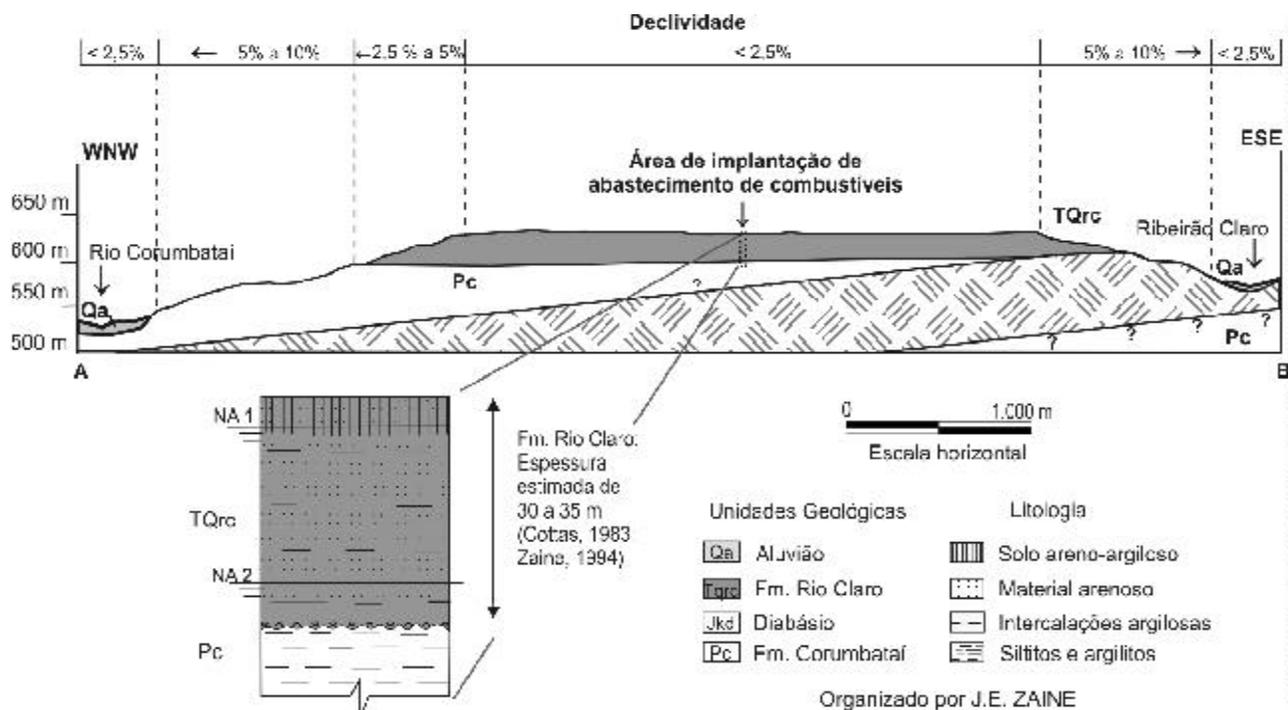


FIGURA 2. Seção geológica WNW-ESE, entre o vale do Rio Corumbataí e o Ribeirão Claro, passando pela área de implantação de abastecimento de combustíveis.

se apresentam muito pouco permeáveis.

Nos estudos geológico-geotécnicos preexistentes, mais especificamente nas cartas de limitações e adequabilidades elaboradas por Cottas (1983), os terrenos são classificados em três categorias (denominadas de Inadequadas, Semi-adequadas e Adequadas), segundo sua adequabilidade à implantação de determinadas formas de uso e ocupação do solo e considerando o potencial de ocorrência de processos

geológicos. A Tabela 1 apresenta uma síntese das limitações e adequabilidades da área de estudo para o capeamento de solo (Formação Rio Claro laterizada) e para a Formação Rio Claro (estruturada) com base em informações extraídas de Cottas (1983) e Zaine (1994).

Deve ser destacado que os estudos realizados por Cottas (1983) foram desenvolvidos na escala 1:20.000 e, assim, a precisão das informações obtidas está limitada àquele nível de detalhe.

TABELA 1. Caracterização da área de implantação do Posto de Abastecimento, segundo mapas de adequabilidade de terrenos, elaborados por Cottas (1983).

Tipo de mapa	Avaliação da área de estudo
Declividades	< 2,5% (área praticamente plana).
Formas de relevo	Situa-se junto a um divisor de águas secundário.
Substrato geológico e estrutural	Formação Rio Claro (Terciário-Quaternário) – arenitos inconsolidados finos a médios, amarelos, com níveis locais de conglomerados e argílios; no topo, depósitos coluvionares de cor marrom. Obs.: Os trabalhos de Cottas (1983) e Zaine (1994) não registraram nenhuma estrutura geológica (fratura ou falha) na área em questão.
Espessuras de coberturas inconsolidadas	Situa-se em uma isópaca de 36 metros de espessura (com base em sondagem elétrica).
Profundidade do lençol freático	Posiciona-se entre as curvas de 18 e 21 metros.
Adequabilidade para fundações	Semi-adequado para residências e Inadequado para construções de grande porte. Obs.: “Fundações profundas de baixo custo, como brocas, já solucionam o problema dos prédios residenciais nas áreas inadequadas”.
Adequabilidade para obras viárias	Adequado.
Adequabilidade para instalações subterrâneas	Adequado.
Adequabilidade para disposição de rejeitos	Adequado (para rejeitos sólidos como líquidos).
Potencial de riscos a erosão acelerada	Nenhum risco.

Adicionalmente, é importante destacar que, por definição, a existência de cartas e/ou mapas geotécnicos (e outros cartogramas correlatos) por si só não elimina a necessidade de estudos de detalhe, compatíveis (em escala e em sua tipologia) com as características particulares de um dado empreendimento. Também por definição as cartas e/ou mapas geotécnicos são valiosos instrumentos para orientar os tipos e locais a serem investigados, já que permitem uma leitura dirigida para eventuais problemas e/ou comportamentos indesejáveis que possam ser instalados em uma área a partir da implantação de um empreendimento.

A utilização dos resultados descritos deve considerar que os termos “adequado”, “semi-adequado” e “inadequado” (utilizados por vários autores nos anos 80, época em que Cottas realizou os estudos referidos) não traduzem, exatamente, as características de uma determinada área. A esse respeito, basta considerar que, a partir da adoção de soluções de engenharia, uma área caracterizada como “inadequada” pode vir a ser

ocupada sem que sejam registrados problemas. Por outro lado, mesmo em áreas “adequadas”, nas quais a ocupação se instala sem o emprego de técnicas apropriadas, podem ser registrados graves problemas.

A substituição dos termos “adequado” e “inadequado” por “favorável” e “desfavorável” talvez expresse melhor a necessidade de cuidados em níveis distintos, bem como possibilite uma avaliação mais precisa dos recursos financeiros necessários para a implantação de empreendimentos.

ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE DETALHE

A seguir são descritos os principais resultados obtidos com as atividades de caracterização de detalhe da área de estudo.

Investigações Indiretas de Subsuperfície (Ensaio Geofísicos)

As investigações indiretas de subsuperfície compreenderam três sondagens elétricas verticais (SEVs),

além de duas seções de radar (GPR). A Figura 3 indica a localização dessas investigações, realizadas pela equipe de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada da UNESP, Campus de Rio Claro (SP).

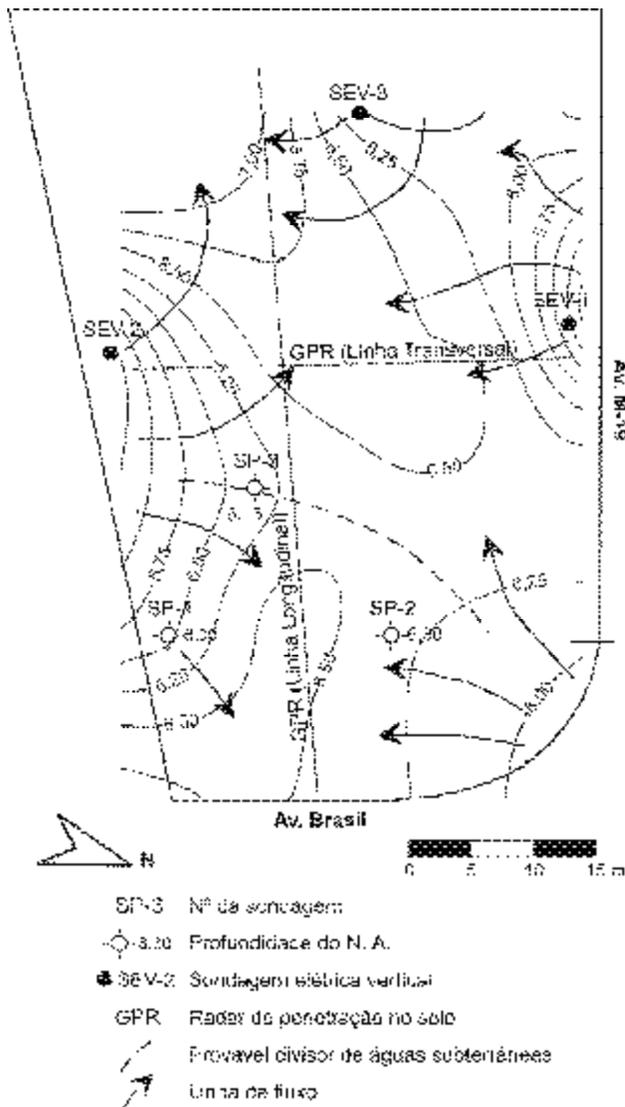


FIGURA 3. Mapa potenciométrico da área de estudo de detalhe (FUNDUNESP, 1999, em Zaine, 2000).

A execução dos ensaios geofísicos objetivou a determinação do nível d'água (N.A.), a caracterização da zona saturada, o gradiente hidráulico e a direção do fluxo de água. Tais investigações também subsidiaram a definição da variação sazonal do N.A.

As sondagens elétricas verticais acusaram um nível geolétrico com resistividade baixa (entre 72 e 209 ohm.m), no intervalo de 5,00 a 6,00 m de profundidade, e com espessura entre 5,00 e 9,00 m, podendo corresponder a um N.A. suspenso, uma vez que os resultados dos ensaios geofísicos indicaram um nível geolétrico inferior com valores de resistividade mais elevados, entre 910 e 990 ohm.m.

As seções de radar (GPR) identificaram uma interface subhorizontal em profundidade de cerca de 14,00 m, que delimita estratos de diferentes condutividades eletro-magnéticas, que podem estar relacionados a camadas com características geotécnicas distintas, ou seja, abaixo dessa profundidade, o horizonte de solo deve apresentar-se mais compacto que o horizonte superior. A aproximadamente 34,00 m de profundidade também foi identificada uma interface que deve estar associada ao contato entre a Formação Rio Claro (superior) e a Formação Corumbataí.

O Mapa Potenciométrico da área (Figura 3), elaborado a partir das investigações geofísicas e dados de sondagens a percussão, permite observar dois sentidos principais de direção do fluxo de água de subsuperfície para sudeste e sudoeste, ambos com gradiente hidráulico suave.

Investigações Diretas de Subsuperfície

As investigações diretas de subsuperfície compreenderam a escavação de poço de amostragem e execução de sondagem a percussão.

Poço de Investigação

A escavação para abertura do poço de amostragem foi realizada com a utilização de retroescavadeira, tendo atingido a profundidade final de 3,50 m, que corresponde à profundidade prevista da base dos tanques a serem enterrados. A partir da escavação procedeu-se à coleta de amostras deformadas e indeformadas do solo. As amostras deformadas, coletadas entre 2,50 m e 3,50 m de profundidade, foram utilizadas para a realização de ensaios de caracterização. A 3,50 m de profundidade coletou-se uma amostra indeformada do solo. A seleção do trecho amostrado atendeu às especificações do projeto que, como acima mencionado, estabelecia a instalação dos tanques de armazenamento de combustíveis nesta profundidade.

Com essas amostras foram realizadas as seguintes análises e ensaios: (a) análise granulométrica conjunta; (b) índices físicos; (c) ensaios de adensamento – para avaliação da colapsividade do solo; (d) análises físico-químicas de solo para avaliar sua corrosividade; (e) análise mineralógica para, juntamente com ensaios de adensamento, avaliar a expansividade do solo.

Sondagens a Percussão

Na área de estudo foram executadas 3 sondagens a percussão (com realização de ensaios SPT – *Standard Penetration Test* – a cada metro). A execução de três sondagens objetivou atender ao disposto na norma técnica NBR-8036 (ABNT, 1983), que estabelece o

número de sondagens com ensaios de penetração, para obras com área entre 200 e 400 m².

As investigações diretas foram realizadas de modo a permitir a caracterização dos materiais de subsuperfície e a determinação do N.A. nas proximidades dos locais de instalação dos tanques de armazenagem de combustível, bem como para atender às necessidades do projeto de fundações da obra.

As sondagens a percussão, representadas no mapa

da Figura 3, atingiram as seguintes profundidades: SP 1 - 15,45 m; SP 2 - 15,45 m, SP 3 - 16,10 m.

Além da descrição dos materiais perfurados, da profundidade do N.A. e da obtenção dos valores do Índice de Resistência à Penetração – IRP, conforme apresentado na Figura 4, as sondagens executadas permitiram definir os níveis de suporte do terreno e a coleta de amostra de água do N.A. para realização de análise físico-química.

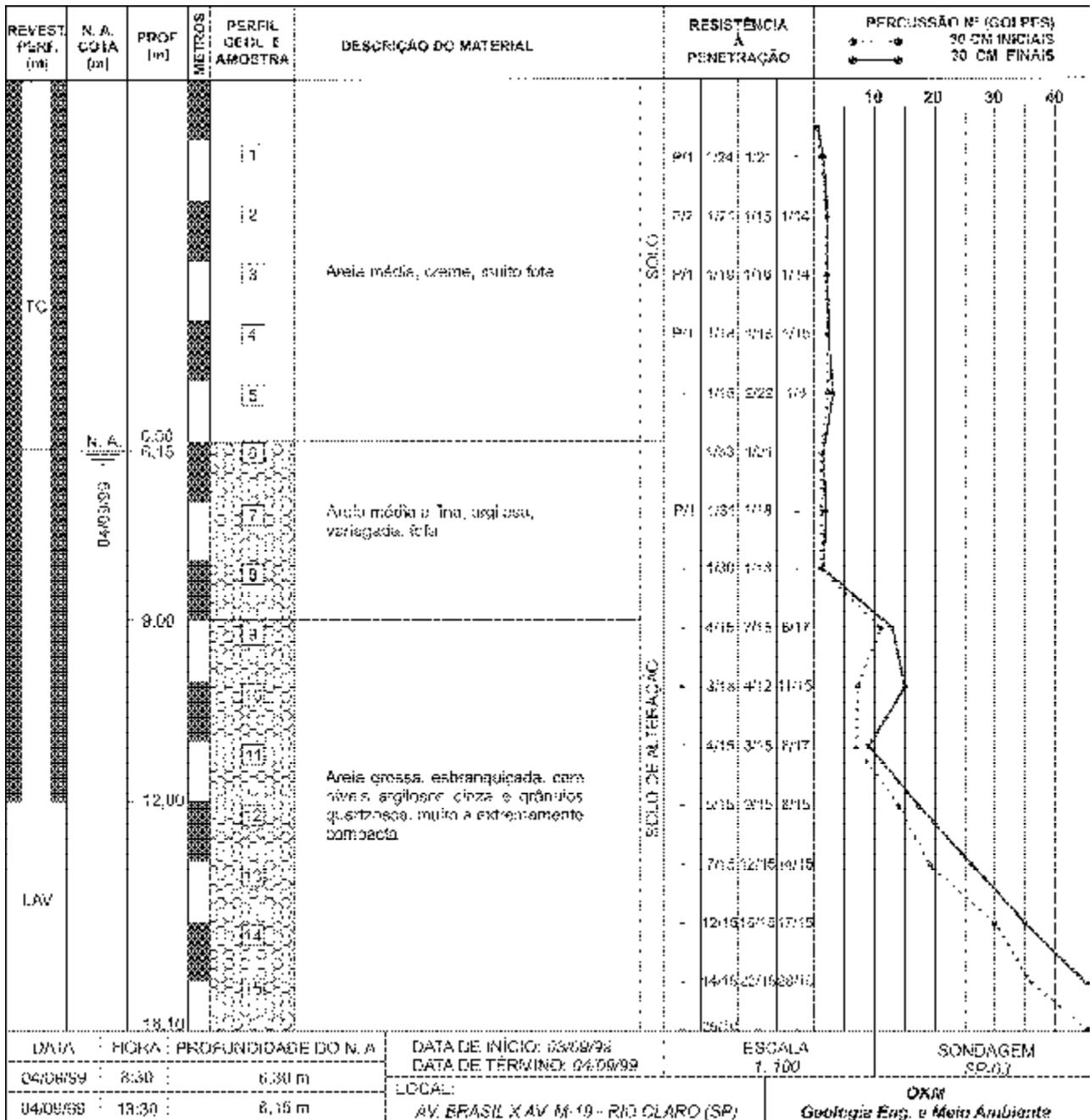


FIGURA 4. Perfil de sondagem à percussão e Índice de Resistência à Penetração (IRP).

AVALIAÇÃO DOS SOLOS E DAS ÁGUAS QUANTO AO GRAU DE CORROSIVIDADE

De acordo com Gentil (1996), corrosão é a deterioração química de um material, geralmente metálico, pela ação química ou eletroquímica do ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e seu meio operacional representa alterações prejudiciais, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, que o tornam inadequado para o uso. O referido autor considera que o solo pode se comportar como um meio corrosivo complexo, fazendo-se necessária a identificação das características físico-químicas do mesmo, das condições microbiológicas e, posteriormente, das condições operacionais que podem influenciar na ação corrosiva sobre tanques e tubulações metálicas enterradas.

A ocorrência de água no solo pode catalisar o

processo corrosivo, cujo desenvolvimento pode estar associado à presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, quais sejam: sais, ácidos, bases e gases dissolvidos, além de microorganismos. Dependendo da quantidade destas substâncias, a influência da água na ação corrosiva deve ser considerada com maior ou menor detalhamento.

A identificação de determinadas características físico-químicas da água e do solo permite a classificação quanto ao grau de corrosividade, sendo os resultados obtidos comparados com intervalos de valores estabelecidos em tabelas de classificação ou de referência.

No estudo realizado foram adotados como referência para análise do comportamento corrosivo da água e do solo, os intervalos de valores de alguns atributos propostos por Zuquette (1993), apresentados no Quadro 1. Foram aqui considerados somente os atributos necessários à caracterização geológico-geotécnica do estudo de detalhe.

QUADRO 1. Atributos e classes da carta de potencial à corrosividade (Zuquette, 1993).

COMPONENTES	ATRIBUTOS	CLASSES				
		favorável	moderada	severa	restritiva	
Substrato Rochoso	Litologia			Rochas com cimento carbonático	Calcário, fítilo carbonoso	
	SO ₃ (%)	Não	< 0,2		> 0,8	
Materiais inconsolidados	Textura	Arenosa	Areno-siltosa	Qualquer com carbonatos	Intercalações de texturas nos perfis	
	Origem	Residual e maduro			Residual jovem, tálus	
	SO ₃ (%)	não	< 0,2	0,2-0,5	> 0,5	
	S	não				
	pH (ferro/concreto)	6,5 - 8,5	4-6,5	2-4	> 2	
	Acidity (meq/100 g)	< 8	8-12	12-15	> 15	
	Potencial Redox (mV)	> 100	50-100	0-50	< 0	
	Condutividade (mmhos/cm)	< 0,2	≤ 0,4	≤ 1,0	> 1,0	
	Resistividade (ohm.cm)	ferro	> 1.500	1.200-1.500	700-1.200	≤ 700
		aço	> 7.500	4.000-7.500	2.000-4.000	< 1.000
Águas	SO ₃ (g/l)	Não	< 0,3		> 1,2	
	Flutuações do N.A.	Muito pequena	Pequena (< metro)	Significativa (metros)	Significativa (metros)	
	Drenabilidade	Boa (zonas secas)			Má (zonas úmidas)	
	pH	6,5-8,5	4,0-6,5	2-4	< 2	
	Potencial Redox (mV)	> 100	50-100	0 - 50	negativo	

AVALIAÇÃO DA ÁREA QUANTO À CORROSIVIDADE DO SOLO

As análises físico-químicas, realizadas na amostra de solo coletada a 2,50 m de profundidade no poço de investigação, apresentaram os resultados reproduzidos na Tabela 2. Essa tabela também apresenta a definição das classes de corrosividade de acordo com intervalo de valores constantes no Quadro 1.

TABELA 2. Resultados de análise físico-química da amostra de solo e o respectivo comportamento quanto à corrosividade.

Atributo	Valores	Classe	Corrosividade
pH	5,96	Moderada	Corrosivo
EH (potencial redox)	2,94 mV	Severa	Corrosivo
Condutividade elétrica mmhos/cm	0,056	Favorável	Não corrosivo

A tendência de comportamento ácido do solo indicado pelo $\text{pH} < 7$, associado com o potencial redox próximo de valores negativos, permite estimar que o meio, quando saturado, apresenta condições redutoras anaeróbicas, favoráveis ao desenvolvimento de processos corrosivos. O valor da condutividade elétrica, apesar de classificado como fator não corrosivo, não é indicativo da ausência de condições de propagação de correntes elétricas. Tal valor reflete a baixa concentração de eletrólitos (íons) disponíveis no meio, que poderiam catalisar reações de oxi-redução, bem como uma maior propagação de correntes elétricas, necessárias ao desenvolvimento de processos corrosivos.

As análises físico-químicas complementares realizadas, envolvendo a capacidade de troca catiônica (CTC), porcentagem de carbonatos e taxa de carbono orgânico objetivaram estimar a capacidade de retenção de íons contaminantes, a presença de materiais solúveis e a presença de carbono orgânico de qualquer natureza (matéria orgânica ou de hidrocarbonetos no solo), respectivamente. Os resultados obtidos em ensaios laboratoriais estão reproduzidos na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados da análise físico-química da amostra de solo coletada a 2,50 m de profundidade.

Análises Laboratoriais	Valores
CTC	22,7 mmol/dm ³ ou 2,27 meq/100 cm ³
Carbonatos	500 mg/kg ou 500 ppm
Carbono orgânico total	0,1%

Os baixos valores obtidos refletem a constituição predominantemente quartzosa da fração areia e caulínica das frações silte e argila do solo. Os valores de CTC são compatíveis com os de solos ácidos e lixiviados, cujo argilomineral predominante é a caulinita, mineral de baixa capacidade de troca catiônica.

A baixa concentração de carbonatos reflete, também, a ausência de minerais carbonáticos na análise mineralógica. A baixa taxa de carbono orgânico total indica a ausência de matéria orgânica ao longo do perfil, sendo identificados, provavelmente, compostos que foram lixiviados dos níveis superiores e/ou fragmentos de carvão, comum ao longo do perfil dos solos desenvolvidos sobre a Formação Rio Claro (Melo, 1995; Zaine, 1994).

A classificação da corrosividade do solo é embasada, fundamentalmente, nas análises físico-químicas, porém esse processo pode ser potencializado nas situações em que os tanques e as instalações metálicas enterradas estejam submetidos a tensões. Esta análise é relatada por Gibotti Jr. (1999), que atribui o aumento do processo corrosivo em pontos onde os equipamentos enterrados estão sob tensão causada por pequenos recalques em solos de comportamento colapsível.

AVALIAÇÃO DA ÁREA QUANTO À CORROSIVIDADE DA ÁGUA

As análises físico-químicas da amostra de água coletada na sondagem SP-02, a 6,30 m de profundidade, apresentaram os resultados constantes da Tabela 4. Para efeito da análise da corrosividade da água foram adotados os mesmos intervalos de valores para solo, propostos por Zuquette (1993).

TABELA 4. Resultados da análise físico-química da amostra de água e o respectivo comportamento quanto à corrosividade.

Atributo	Valores	Classe	Comportamento
pH	6,8	Favorável	não corrosiva
pH (potencial redox)	2,69 mV	severa	corrosiva
Condutividade elétrica	0,123 mmhos/cm	Favorável	não corrosiva

Comparando-se os valores de pH obtidos das amostras de solo e da água subterrânea do local, observa-se que o pH da água se encontra próximo da neutralidade, diferentemente do valor de pH da amostra de solo situada em menor profundidade, que apresenta uma tendência de caráter ácido. Tal fato se deve, provavelmente, ao aporte de íons OH^- , provenientes da dissociação da água ao longo do perfil.

O valor obtido para a condutividade elétrica, apesar de classificado como não corrosivo, não indica necessariamente que o meio não permita a propagação de correntes elétricas (inerentes ao desenvolvimento do

Vargas (1978) apresenta critério de identificação de solo colapsível proposto originalmente por Jennings & Knight (1957) para a determinação do coeficiente de colapso (i) a uma determinada tensão, assim expresso:

$$i = \frac{\Delta e}{1 + e_{pn}}$$

sendo:

Δe = variação do índice de vazios, devido à inundação;
 e_{pn} = índice de vazios, antes da inundação, sob a ação de uma determinada tensão.

Segundo o autor referido, por este critério, solos que apresentam $i > 2\%$, são considerados colapsíveis.

Para o cálculo do coeficiente de colapso do corpo de prova proveniente da área de estudo de detalhe, obteve-se:

$$\begin{aligned} \Delta e &= 0,798 - 0,700, \\ e_{80} &= 0,798, \\ \text{logo: } i &= 5,45\%. \end{aligned}$$

Como o resultado obtido é $> 2\%$, concluiu-se que o solo é colapsível, conforme critério proposto por Jennings & Knight (1957). É interessante notar que o solo investigado, apesar de possuir índice de vazios inicial de 0,74, apresenta potencial de colapso apreciável ($i = 5,45\%$).

Avaliação da área quanto à capacidade de suporte do solo (níveis de suporte em diferentes profundidades)

A estimativa da capacidade de suporte do terreno, em diferentes profundidades, pode ser realizada por meio dos resultados de ensaios de penetração (SPT), realizados de metro em metro, em sondagens a percussão. Os ensaios SPT foram realizados de acordo com as recomendações da ABGE (1990) e NBR-6.484 (ABNT, 1980).

De acordo com os valores de IRP ou N (índice de

resistência à penetração) obtidos nos ensaios SPT, foram analisados os diferentes graus de compactidade, tendo por referência a classificação apresentada na Tabela 6, para solos arenosos.

TABELA 6. Graus de compactidade de solos arenosos em função de valores de IRP (N). Modificado da NBR-7.250 (ABNT, 1982).

Índice de resistência à penetração - (IRP ou N)	Designação
< 4	fofo
5 - 8	pouco compacto
9-18	medianamente compacto
19-40	compacto
> 40	muito compacto

AVALIAÇÃO DA ÁREA QUANTO À EXPANSIBILIDADE DO SOLO

A expansibilidade de um solo está associada à presença de argilominerais expansivos do grupo das esmectitas (montmorilonita, nontronita etc.) que, em contato com a água, aumentam significativamente de volume.

Conforme análise mineralógica (macroscópica e microscópica), o mineral predominante é o quartzo ($> 90\%$). A fração fina (argila e silte) submetida à difratometria de raios X indicou a caulinita e o quartzo como minerais predominantes e, secundariamente, illita e muscovita, minerais estes de comportamento não expansivo.

Complementarmente, deve-se destacar que os resultados do ensaio de adensamento podem comprovar o comportamento não expansivo do solo da área de estudo de detalhe, uma vez que não foi observado aumento nos valores do índice de vazios com o descarregamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultado das observações de campo, das análises realizadas na área de estudo e dos ensaios de laboratório em amostras do solo e da água coletadas, podem ser apresentadas as seguintes considerações, objetivando atender às condições de segurança contra vazamentos de combustíveis e a conseqüente contaminação do solo e da água:

- conjunto de investigações realizadas permitiu a reunião de dados de subsuperfície plenamente suficientes para subsidiar a elaboração de um projeto adequado de obra de engenharia.
- nível d'água (N.A.) foi identificado às profun-

didades de 5,30 m (em fevereiro/1999) e 6,30 m (em setembro/1999), ou seja, mesmo com a variação sazonal do N.A., os tanques deverão permanecer sempre acima da zona saturada.

- Os estudos de comportamento do solo em relação à obra que se pretende implantar indicaram que o mesmo é corrosivo e colapsível.
- Em razão desse comportamento corrosivo, cabe destacar a necessidade a instalação de tanques de armazenagem subterrânea que apresentem maior resistência à corrosão. A legislação municipal exige a instalação de tanques com estas

características (tanques de parede dupla, resistentes à corrosão ou constituídos de materiais não corrosíveis). Adicionalmente, é recomendado que as tubulações enterradas (linhas de transporte de combustíveis) não sejam constituídas de metais ferrosos, ou seja, também apresentem resistência à corrosão. A utilização de luvas, roscas e conexões das tubulações enterradas deve ser minimizada tanto quanto possível.

Em razão do comportamento colapsível do solo e em adição às medidas voltadas a evitar a ocorrência de vazamentos de combustíveis, são recomendados cuidados especiais para que não

ocorram vazamentos nas redes de água e de esgoto do empreendimento.

É recomendado que o projeto de fundação dos tanques de armazenagem subterrânea e das edificações considere não só os valores de resistência à penetração, mas também a possibilidade da ocorrência de colapso do solo (mesmo que remota, considerando-se a implantação do conjunto de medidas anteriormente citadas). A esse respeito, salienta-se que, geralmente, os colapsos ocorrem no horizonte superior do solo, mais suscetível à ação de vazamentos (água e esgoto) e com maior índice de vazios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Diretrizes para execução de sondagens**. São Paulo e Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), 1990, 22 p.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma: Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-6.484), 1980, 8 p.
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-8.036), 1983, 4 p.
4. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma: Solo - Ensaio de adensamento unidirecional**. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-12.007), 1990, 13 p.
5. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma: Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono**. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-13.312), 1995, 11 p.
6. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma: Instalação de tanque atmosférico subterrâneo em postos de serviço**. Rio de Janeiro. Terminologia (NBR-13.781), 1997, 13 p.
7. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 273, de 29 de novembro de 2000. [Dispõe sobre a prevenção e controle de poluição em postos de combustíveis e serviços.] **Diário Oficial da União**, 08 jan. de 2001. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em 14 abr. 2004.
8. COTTAS, L.R. **Estudos geológico-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro SP**. São Paulo, 1983. 2v., 171 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
9. GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 3ª ed., 1996, 338 p.
10. GIBOTTI JÚNIOR, M. **Subsídios geológico-geotécnicos para a implantação de tanques de armazenagem subterrânea de combustíveis: estudo de caso em um solo da Formação Rio Claro**. Rio Claro, 1999. 94 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
11. JENNINGS, J.E. & KNIGHT, K.A. The additional settlement of foundations due to collapse of structure of sandy subsoil on wetting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4, 1957, London. **Proceedings...** London, v. 1, p. 316-319, 1957.
12. MELO, M.S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação Neocenozóica na Depressão Periférica Paulista**. São Paulo, 1995. 144 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
13. RIO CLARO - Prefeitura Municipal. **Lei n.2492, de 13 de janeiro 1998**. [Regula a construção de Postos de Abastecimento e de Serviço de Veículos.] 9 p. Publicada na Secretaria da Câmara Municipal de Rio Claro, em 13 de janeiro de 1998.
14. VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil e EdUSP, 1978, 509 p.
15. VILAR, O.M.; RODRIGUES, J.E.; NOGUEIRA, J.B. Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1981, Rio de Janeiro. **Atas...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1981, v. 1, p. 209-224.
16. ZAINÉ, J.E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Rio Claro, 1994. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
17. ZAINÉ, J.E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP)**. Rio Claro, 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
18. ZUQUETTE, L.V. **A importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração**. São Carlos, 1993. 2v. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.