

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM  
UM EMPREENDIMENTO POTENCIALMENTE  
POLUIDOR NO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA/RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Adilson de Chaves**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM  
EMPREENHIMENTO POTENCIALMENTE POLUIDOR NO  
MUNICÍPIO DE SANTA MARIA/ RS**

**por**

**Adilson de Chaves**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Área de Concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação

**MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM  
EMPREENHIMENTO POTENCIALMENTE POLUIDOR NO  
MUNICÍPIO DE SANTA MARIA/ RS**

elaborada por  
**Adilson de Chaves**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**José Luiz Silvério da Silva, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Andréa Valli Nummer, Dra. (UFSM)**

**Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

*Aos meus pais, Nelson e Maria,  
meus maiores exemplos de  
dedicação e perseverança.*

## AGRADECIMENTOS

Muito embora a conclusão de um Mestrado pareça ser uma odisséia pessoal, ela apenas se concretiza graças ao suporte técnico, financeiro e sentimental de uma série de instituições e pessoas. Usufruo desta página para prestar os meus agradecimentos:

A Deus, por minha existência, saúde e capacidade, enfim, por me acompanhar no decorrer deste percurso.

À minha família, pelo amor, carinho e apoio incondicional. A meus pais, Nelson e Maria, meus irmãos Nilson e Roseli, aos meus sobrinhos e afilhados, os quais compreenderam e aceitaram minhas ausências em momentos e datas especiais, propiciadas pela minha dedicação quase que exclusiva aos estudos.

À acadêmica de Letras, amiga e namorada, Simone Novakoski, pelo amor, carinho e apoio durante a elaboração da dissertação. Também sou grato ao amor da minha vida, pela revisão da escrita e, auxílio na elaboração do “abstract” do presente trabalho.

Ao meu orientador José Luiz Silvério da Silva, pelo trabalho que pôs em minhas mãos, pelo apoio e oportunidades, indispensáveis ao desenvolvimento do mestrado.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por me disponibilizar um ensino gratuito e de qualidade, tornando mais um sonho possível.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/CTHidro Brasil, pela concessão da minha bolsa de estudo.

À empresa Sul Combustíveis Ltda., pertencente ao Grupo Santa Lúcia, na pessoa do senhor Ivo Santa Lúcia, pela autorização para a realização do presente estudo no reservatório de combustíveis bem como pelas informações prestadas sobre o empreendimento.

Aos membros da banca de defesa de Dissertação, Dra. Andréa Valli Nummer e Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro, pela leitura crítica, sugestões e ensinamentos. Agradecimentos exaustivos ao Prof. Rinaldo, pela ajuda em todos os momentos dos quais necessitei, inclusive os mais difíceis enfrentados no decorrer do mestrado.

Ao laboratorista João Nunes Maciel do LMCC, pelo grande auxílio na realização dos ensaios de caracterização de solos.

À amiga, Eng. Ambiental Msc. Ana Carla Carvalho Rauber, pela colaboração no trabalho de campo para ensaio de condutividade hidráulica e, em todos os momentos dos quais necessitei.

Ao amigo, Eng. Florestal Marcio Viera, pela ajuda no tratamento estatístico dos dados. A todos que de alguma forma ajudaram para o desenvolvimento deste trabalho.

*“Pois as pequenas construções podem ser terminadas por seus arquitetos iniciais; as grandes, as verdadeiras, deixam a pedra final para a posteridade”.*

*(Herman Melville, Moby - Dick)*

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria

### **MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM EMPREENHIMENTO POTENCIALMENTE POLUIDOR NO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA/ RS**

AUTOR: ADILSON DE CHAVES

ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

As águas subterrâneas constituem reservas estratégicas vitais para o abastecimento público e privado. Portanto, o estudo de aquíferos por meio do monitoramento hidrogeológico, revela-se de suma importância. Em empreendimentos potencialmente poluidores da água subterrânea, faz-se necessário um sistema de monitoramento, que além de um aviso precoce da contaminação, forneça valores de referência para a caracterização hidroquímica e hidrodinâmica dos aquíferos. O objetivo dessa pesquisa é estabelecer os valores naturais e a faixa de variação temporal de parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos das águas subterrâneas na área de um reservatório de combustíveis no município de Santa Maria/RS, em uma zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Para tanto, a metodologia consistiu em: estudos de escritório a fim de revisar a literatura no tema da pesquisa; trabalho de campo, mediante o monitoramento hidrogeológico de sete poços de observação no período de 12 meses, levantamento topográfico, medidas de precipitação, ensaios de condutividade hidráulica realizados com piezômetro escavado e diretamente nos poços (infiltração); estudo de laboratório, por meio da análise estatística dos dados com auxílio do software estatístico *SPSS® 13.0 for Windows* (2004), construção de modelos tridimensionais do fluxo subterrâneo e cartogramas de espacialização de parâmetros físico-químicos com o Programa *SURFER® 8.0*. Como resultado destaca-se que as concentrações dos parâmetros físico-químicos estudados sofreram flutuações temporais mensais e sazonais, além de variações nas distribuições espaciais, o que indicou diferenças de entradas de água na coluna dos poços, ocorridas possivelmente devido à alimentação desses por diferentes camadas. Evidenciou-se que ocorreram variações do nível da água nos sete poços de monitoramento a partir das precipitações pluviométricas, indicando que os mesmos estão situados em área de recarga direta do SAG. Em relação à direção do fluxo subterrâneo local, os dados obtidos revelam que em caso de vazamento de combustíveis o Rio Vacacaí-Mirim, distando 230 m do empreendimento será afetado. Conclui-se que as variações dos valores naturais (background) refletem a diversidade geológica do local, que é marcada pela presença de Depósitos de Terraços Fluviais, considerados permeáveis e, da Formação Santa Maria Membro Alemoa, que é estimada na área de estudo como impermeável. Esse estudo contribuiu para a caracterização físico-química e hidrodinâmica em escala local do SAG fornecendo valores de referência, os quais servirão de subsídios aos órgãos gestores ambientais, auxiliando no aviso precoce de possível contaminação da água subterrânea.

Palavras - chave: água subterrânea; poços de monitoramento; caracterização hidroquímica e hidrodinâmica; SAG.

## ABSTRACT

Dissertation of Master's degree  
Program of Masters Degree in Civil Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **GROUNDWATER MONITORING IN A POLLUTED POTENTIAL ENTERPRISE IN SANTA MARIA/ RS**

AUTHOR: ADILSON DE CHAVES

ADVISOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Date and place of the defense: Santa Maria, February 27<sup>th</sup> of 2009.

Groundwater consists of strategic resources essential for public and private water supply. Therefore, the aquifer research by means of groundwater monitoring has been considered very important. In groundwater polluted potential enterprises, a system of monitoring is necessary, because it can not only allow contamination evidences previously, but also provide reference measures in order to portray the aquifer's hydrochemistry and hydrodynamics. The purpose of this study is to establish natural values and temporal variation frequency of groundwater physiochemical and hydrodynamic parameters in the area of a tank fuel in *Santa Maria/RS*, in an outcrop zone of Guarani Aquifer System (GAS). Therefore, the methodology consisted of: office studies in order to review the literature in the topic; field study, by the hydrogeological monitoring of seven observation wells, during 12 month, topographic work, precipitation measure, hydraulic conductivity assays carried out using the method of excavated piezometer and directly in the wells (infiltration); laboratory study, by analyzing the data statistically using the statistic software *SPSS<sup>®</sup> 13.0 for Windows* (2004), development of tridimensional frameworks of groundwater flow and specialization cartograms of physiochemical parameters by using *SURFER<sup>®</sup> 8.0* program. The results showed that the concentration of the physiochemical frameworks studied had temporal alteration in relation to months and seasons, besides variations in the spatial distribution, that indicated differences in the entrance of water in the column of the well, it happened, probably, because of the influence of different layers.

It was also possible to observe variations in the water level in the seven monitoring wells from the pluviometric precipitation, indicating that they are situated in an area of GAS direct recharge. Related to the direction of the local groundwater flow, the data obtained showed that in case of fuel leak the river *Vacacai-Mirim*, 230 m distant of the enterprise, will be affected. In conclusion, the background variation reflects the geologic diversity in the place that has Fluvial Terrace Depository, considered permeable and, the Alemoa member of Santa Maria formation that was considered impermeable. This research contributed to the physiochemical and hydrodynamic characterization in local scale of GAS offering a background, which will subsidize environment organs, supporting in a way to allow possible groundwater contamination evidences previously.

Key-words: groundwater; monitoring wells; hydrodinamical and physiochemical parameters; Guarani Aquifer System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico. ....	26
Figura 2.2 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo. .	28
Figura 2.3 - Distribuição vertical da água no subsolo. ....	29
Figura 2.4 - Tipos de aquíferos quanto à porosidade. ....	30
Figura 2.5 - Tipos de aquíferos quanto à pressão. ....	31
Figura 2.6 – Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani (SAG). ....	33
Figura 2.7 – Processos comuns de poluição da água subterrânea. ....	35
Figura 2.8 – Fenômenos que ocorrem após o derramamento de combustíveis. ....	38
Figura 2.9 – Disposição dos poços de monitoramento, visualizado em seção (A) e em planta (B). ....	41
Figura 2.10 – Perfil esquemático do poço de monitoramento. ....	43
Figura 2.11 – Modelo experimental de Darcy. ....	54
Figura 2.12 - Ensaio de k com piezômetro escavado. ....	57
Figura 2.13 - Esquema do ensaio de infiltração. ....	60
Figura 3.1 – Aspecto construtivo do poço de monitoramento P1. ....	63
Figura 3.2 – Medição dos parâmetros temperatura da água e O.D. ....	64
Figura 3.3 – Processos de amostragem (A) e medição dos parâmetros C.E. e pH (B). ....	65
Figura 3.4 - Parâmetros físico-químicos estudados, métodos de coleta e equipamentos. ....	66
Figura 3.5 – Etapas da execução do ensaio de k com piezômetro escavado. ....	69
Figura 3.6 – Piezômetro instalado no campo. ....	69
Figura 3.7 – Etapas para a realização do ensaio de infiltração diretamente no poço de monitoramento. ....	71
Figura 3.8 – Execução do furo com trado mecânico e coleta de material. ....	72
Figura 3.9 – Divisão do ano de monitoramento em quatro estações. ....	73
Figura 3.10 – Fluxo da água subterrânea em aquíferos. ....	74
Figura 4.1 - Mapa de localização do Município de Santa Maria. ....	77

Figura 4.2 - Mapa dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Rio Grande do Sul, com a localização do município de Santa Maria nas bacias G60 e U50.....	79
Figura 4.3 – Mapa de localização do empreendimento potencialmente poluidor, mostrando os poços de monitoramento e a bacia de tanques de armazenamento de combustíveis.....	82
Figura 4.4 – Localização dos 7 poços de monitoramento no empreendimento.....	83
Figura 4.5 – Vista parcial do empreendimento e dos tanques subaéreos de armazenamento de combustíveis. Ao fundo Formação Serra Geral (tomada de Sul para Noroeste).....	84
Figura 4.6 – Perfil geológico da área de estudo até a profundidade de 6 metros.....	85
Figura 4.7 – Coluna Estratigráfica e Hidroestratigrafia da área de estudo. Em vermelho é assinalado o Aquicludo Alemoa e em azul o Membro Alemoa da Formação Santa Maria pertencente ao SAG.....	86
Figura 5.1 – Distribuição granulométrica dos materiais geológicos estudados.....	90
Figura 5. 2 – Variação temporal do nível freático nos 7 poços de monitoramento no período de outubro de 2006 a setembro de 2007. ....	94
Figura 5.3 – Precipitação pluviométrica média registrada nas estações da BASM e da UFSM.....	95
Figura 5.4 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P1.....	95
Figura 5.5 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P2.....	96
Figura 5.6 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P3.....	96
Figura 5.7 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P4.....	96
Figura 5.8 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P5.....	97
Figura 5.9 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P6.....	97
Figura 5.10 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P7.....	97
Figura 5.11 – Comparação da variação sazonal da profundidade dos níveis estáticos médios dos 7 poços de monitoramento nas estações de primavera, verão, outono e inverno. ....	99

Figura 5.12 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de primavera.....	102
Figura 5.13 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de verão. ....	103
Figura 5.14 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de outono. ....	105
Figura 5.15 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de inverno. ....	106
Figura 5.16 – Modelo tridimensional mostrando a altimetria da área de estudo. ....	107
Figura 5.17 – Localização dos corpos hídricos próximos ao empreendimento. Vista da lagoa artificial e ao fundo mata ciliar do Rio Vacacaí-Mirim. ....	107
Figura 5.18 – Variação mensal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento. ....	110
Figura 5.19 – Variação mensal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento.....	111
Figura 5.20 – Variação mensal da temperatura média da água e do ar. ....	113
Figura 5.21 – Variação mensal dos valores naturais de C.E. nos 7 poços de monitoramento. ....	114
Figura 5.22 – Variação mensal dos valores naturais dos STD nos 7 poços de monitoramento. ....	116
Figura 5.23 – Variação mensal dos valores naturais do pH nos 7 poços de monitoramento. ....	117
Figura 5.24 – Variação sazonal dos valores naturais do O.D. nos 7 poços de monitoramento. ....	120
Figura 5.25 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada na primavera. ....	121
Figura 5.26 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada no verão. ....	122
Figura 5.27 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada no outono. ....	122
Figura 5.28 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada no inverno. ....	123
Figura 5.29 – Variação sazonal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento. ....	125
Figura 5.30 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo na primavera. ....	126

Figura 5.31 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo no verão. ....	126
Figura 5.32 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo no outono. ....	127
Figura 5.33 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo no inverno. ....	127
Figura 5.34 – Variação sazonal dos valores naturais da C.E. da água nos 7 poços de monitoramento. ....	129
Figura 5.35 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada na primavera. ....	130
Figura 5.36 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada no verão. ....	130
Figura 5.37 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada no outono. ....	131
Figura 5.38 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada no inverno. ....	131
Figura 5.39 – Variação sazonal dos valores naturais dos STD na água nos 7 poços de monitoramento. ....	133
Figura 5.40 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada na primavera. ....	134
Figura 5.41 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada no verão. ....	134
Figura 5.42 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada no outono. ....	135
Figura 5.43 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada no inverno. ....	135
Figura 5.44 – Variação sazonal dos valores naturais do pH da água nos 7 poços de monitoramento. ....	136
Figura 5.45 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada na primavera. ....	137
Figura 5.46 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada no verão. ....	138
Figura 5.47 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada no outono. ....	138

Figura 5.48 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada no outono. .... 139

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores típicos do coeficiente de permeabilidade .....	55
Tabela 5.1 – Caracterização das formações geológicas estudadas.....	89
Tabela 5.2 – Resultado do ensaio com piezômetro escavado para determinação do $k$ (in situ).....	91
Tabela 5.3 – Resultado dos ensaios de infiltração para determinação do $k$ (in situ).....	91
Tabela 5.4 – Variação mensal do nível freático nos 7 poços de monitoramento .....	93
Tabela 5.5 – Coeficientes de correlação dos níveis freáticos dos 7 poços de monitoramento e precipitação pluviométrica. ....	98
Tabela 5.6 – Média do nível freático nos 7 poços de monitoramento nas 4 estações estudadas.....	100
Tabela 5.7 – Coordenadas UTM, cotas altimétricas, nível estático e superfície potenciométrica dos 7 poços de monitoramento em cada estação estudada .....	101
Tabela 5.8 – Variação mensal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento	109
Tabela 5.9 – Variação mensal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento .....	111
Tabela 5.10 – Variação mensal da temperatura média da água e do ar.....	112
Tabela 5.11 – Variação mensal dos valores naturais de C.E. nos 7 poços de monitoramento.....	114
Tabela 5.12 – Variação mensal dos valores naturais dos STD nos 7 poços de monitoramento.....	115
Tabela 5.13 – Variação mensal dos valores naturais do pH nos 7 poços de monitoramento.	117
Tabela 5.14 – Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos, precipitação pluviométrica e temperatura do ar. ....	118
Tabela 5.15 – Variação sazonal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento.....	120
Tabela 5.16 – Variação sazonal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento.....	124

Tabela 5.17 – Variação sazonal dos valores naturais de C.E. da água nos 7 poços de monitoramento.....	128
Tabela 5.18 – Variação sazonal dos valores naturais dos STD nos 7 poços de monitoramento.....	132
Tabela 5.19 – Variação sazonal dos valores naturais de pH nos 7 poços de monitoramento	136
Tabela 5.20 – Média dos parâmetros físico-químicos nas 4 estações estudadas.....	140

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1 – Índices pluviométricos diários da Estação Meteorológica da BASM no período de outubro de 2006 a setembro de 2007 .....	154
Anexo 2 – Relatórios dos resultados analíticos de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo nos poços de monitoramento.....	156
Anexo 3 – Banco de dados dos 12 meses de monitoramento de água subterrânea.....	163

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>14</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>24</b>
2.1 Recursos hídricos e águas subterrâneas .....	24
2.2 O ciclo hidrológico .....	26
2.3 Distribuição da água no solo.....	27
2.4 Sistemas aquíferos.....	29
2.4.1 Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	32
2.5 Poluição da água subterrânea .....	34
2.6 Contaminação da água subterrânea por hidrocarbonetos .....	36
2.7 Monitoramento de água subterrânea .....	39
2.7.1 Poços de monitoramento .....	40
2.7.2 Amostragem de poços de monitoramento.....	43
2.7.3 Condições naturais do aquífero (background).....	44
2.8 Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas .....	46
2.8.1 Condutividade elétrica (C.E.) .....	47
2.8.2 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	47
2.8.3 Sólidos totais dissolvidos (STD) .....	48
2.8.4 Oxigênio dissolvido (O.D.) .....	48

2.8.5 Temperatura .....	49
2.9 Parâmetros hidrodinâmicos das águas subterrâneas .....	49
2.9.1 Altitude.....	50
2.9.2 Nível estático.....	50
2.9.3 Superfície potenciométrica ou lençol freático .....	50
2.9.4 Movimento da água subterrânea e topografia.....	51
2.10 Recarga de aquíferos.....	52
2.10.1 Precipitação .....	53
2.10.2 Relação entre a precipitação e a recarga.....	53
2.11 Condutividade hidráulica de solos .....	53
2.11.1 Ensaio de campo para a determinação da condutividade hidráulica de solos .	56
2.11.1.1 Ensaio com piezômetro .....	56
2.11.1.2 Ensaio de infiltração .....	59
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>61</b>
3.1 Estudo de escritório .....	61
3.2 Trabalho de campo .....	62
3.2.1 Construção dos poços de monitoramento .....	62
3.2.2 Coleta e análise das amostras de água.....	63
3.2.3 Medições de níveis de água .....	66
3.2.4 Trabalho topográfico .....	67
3.2.5 Medidas de precipitação.....	67
3.2.6 Ensaio com piezômetro para a determinação da condutividade hidráulica ( <i>K</i> )	68
3.2.7 Ensaio de infiltração para determinação da permeabilidade .....	70
3.2.8 Retirada de amostras e preparação dos solos .....	71
3.3 Trabalho de laboratório .....	72
3.3.1 Análise estatística dos dados .....	72
3.3.2 Modelos tridimensionais de fluxo subterrâneo (mapa de superfície 3-D).....	74
3.3.3 Cartogramas de espacialização dos parâmetros físico-químicos.....	75
3.3.4 Ensaio de caracterização de solos .....	76
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>77</b>
4.1 Localização e caracterização do município de Santa Maria/ RS .....	77
4.1.1 Clima e vegetação .....	78

4.1.2 Hidrografia.....	79
4.1.3 Geomorfologia e geologia.....	80
4.2 Localização e caracterização do empreendimento potencialmente poluidor.....	81
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>88</b>
5.1 Ensaio de caracterização de solos.....	88
5.2 Ensaio de campo para determinação da condutividade hidráulica .....	90
5.3 Flutuação do nível freático nos poços de monitoramento .....	92
5.4 Análise de variância sazonal do nível freático nos poços de monitoramento.....	99
5.5 Direção sazonal do fluxo subterrâneo .....	101
5.6 Variação mensal dos parâmetros físico-químicos .....	108
5.7 Análise de correlação entre as variáveis estudadas .....	118
5.8 Variação sazonal e comportamento espacial dos parâmetros físico-químicos .....	119
5.9 Análise de variância sazonal dos parâmetros físico-químicos .....	139
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>141</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>153</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso dos recursos naturais tem provocado muito debate e preocupação. Cada vez mais, tem-se falado em quão depende a qualidade de vida humana da preservação ambiental. Entre os recursos naturais mais comentados encontram-se os recursos hídricos.

A água é um recurso natural essencial à vida, à sobrevivência da espécie humana e ao desenvolvimento socioeconômico. Dentre os inúmeros usos, a água é utilizada na irrigação, na dessedentação dos animais e no abastecimento das cidades, sendo que este último tem aumentado substancialmente, acompanhando o crescimento populacional.

Com o crescimento demográfico e o desenvolvimento econômico, os usos da água têm-se multiplicado e, conseqüentemente a sua demanda, embora a quantidade disponível seja limitada e constante. Ainda, o uso indisciplinado do solo e a prática de atividades antrópicas nocivas às águas têm se expandido, gerando a contaminação e o comprometimento da qualidade das mesmas. Assim, a água é reconhecida como um recurso natural finito e vulnerável e, passa a ter um valor estratégico para a humanidade, além de já ser escasso em alguns locais.

Dessa forma, devido à degradação de sua qualidade, que se acentuou a partir da II Guerra Mundial, a água doce líquida que circula em muitas regiões do mundo já perdeu sua característica especial de recurso renovável, em particular nos países ditos do Terceiro Mundo, na medida em que os efluentes e/ou os resíduos domésticos e industriais são dispostos no ambiente sem tratamento ou de forma inadequada.

Diante desse cenário turbulento, a água subterrânea vem assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento. Devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais bem como ao crescente aumento dos custos da sua captação, adução e tratamento, a água subterrânea está sendo reconhecida como alternativa viável aos usuários e tem apresentado uso crescente nos últimos anos (Capucci et al., 2001).

Por sua importância estratégica, para as gerações presentes e futuras, as reservas de água subterrânea necessitam de um cuidado especial, para sua preservação e utilização de

forma sustentável. Desta forma, cresce a preocupação quanto aos problemas de sua contaminação.

Um dos mais frequentes casos de contaminação de aquíferos em centros urbanos refere-se a vazamentos ocorridos em tanques de armazenamento de combustíveis. Muitas são as causas para este fato, entre elas pode-se citar a grande quantidade de empreendimentos, a estocagem de produtos perigosos e altamente tóxicos, que mesmo em pequenas perdas causam grandes plumas contaminantes, a dificuldade de detecção de vazamentos em tanques subterrâneos e a falta de fiscalização adequada.

Portanto, em empreendimentos potencialmente poluidores da água subterrânea, faz-se importante um sistema de monitoramento, que além de um aviso precoce da contaminação desse recurso natural, forneça valores de referência para a caracterização hidroquímica e hidrodinâmica dos aquíferos.

Diante da problemática da contaminação das águas subterrâneas, faz-se necessário um monitoramento hidrogeológico em empreendimentos que ofereçam risco ao subsolo. Segundo a CETESB (1988), “O sistema de monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de poluição na qualidade da água subterrânea”. As amostragens são efetuadas num conjunto de poços distribuídos estrategicamente, nas proximidades da área de disposição do resíduo.

Além de auxiliar na detecção de uma possível contaminação da água subterrânea, o sistema de monitoramento, por meio dos poços instalados na área do empreendimento potencialmente poluidor, representa uma “janela” de acesso ao comportamento da água nos aquíferos. Assim, por meio do monitoramento hidrogeológico, podem-se verificar variações temporais dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos das águas subterrâneas bem como estabelecer os valores naturais (background) do aquífero local. Esses valores são de suma importância para que se possa detectar qualquer mudança nas características naturais das águas subterrâneas.

Desta forma, em empreendimentos novos devem ser monitorados com frequência, semanal, mensal e anual, alguns parâmetros de qualidade tais como o potencial hidrogeniônico (pH), a condutividade elétrica (C.E.), o oxigênio dissolvido (O.D.), a temperatura da água, o potencial de oxidação, a alcalinidade etc. Mas também, deve ser monitorado a faixa de variação do nível da água.

No Brasil, a falta de monitoramento em milhares de locais onde há um potencial para contaminação, juntamente com a falta de uma análise abrangente da qualidade da água em centenas de milhares de poços, elimina a possibilidade de uma determinação confiável da

extensão e severidade da degradação de água subterrânea e os riscos para a saúde da população. Na falta de programas de monitoramento, segmentos de importantes aquíferos se degradaram e podem estar perdidos para sempre como fontes de água potável.

As águas subterrâneas constituem reservas estratégicas vitais para o abastecimento público e privado. Portanto, o estudo de aquíferos, por meio do monitoramento hidrogeológico, revela-se de suma importância para o entendimento do comportamento hidrodinâmico e para a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas.

Desta forma, justifica-se a presente pesquisa que visou monitorar as águas subterrâneas em um reservatório de combustíveis no município de Santa Maria, buscando-se estabelecer os valores naturais do aquífero local bem como encontrar a faixa de variabilidade temporal de alguns parâmetros físico-químicos e identificar flutuações do lençol freático.

Ainda, deve-se salientar que a área de estudo situa-se sobre a zona de afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG), necessitando de estudos e estratégias que promovam a proteção dos recursos hídricos subterrâneos, evitando a alteração de sua qualidade.

Portanto, o presente estudo visa dar continuidade as ações de monitoramento ambiental do SAG em suas áreas de afloramentos e em subsuperfície, fazendo parte de um projeto maior da implantação da Rede Guarani/Serra Geral para estudos das relações entre os aquíferos. O monitoramento teve origem no Projeto N<sup>o</sup>. 10 - Fundo das Universidades, financiado pela OEA/GEF, “Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Santana/Rivera e Quarai/Artigas. Estudo da vulnerabilidade em Quarai/Artigas”.

O trabalho tem como objetivo principal estabelecer o nível de base natural (background) e a faixa de variabilidade temporal de alguns parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos das águas subterrâneas, na área de um empreendimento potencialmente poluidor, situado em uma zona de afloramento do SAG no município de Santa Maria/RS, mediante o monitoramento hidrogeológico do aquífero local.

Como objetivos específicos procuram-se realizar avaliações estatísticas de correlação (coeficiente  $r$  de Pearson) entre as variáveis estudadas e análise de variância (ANOVA) dos parâmetros físico-químicos bem como do nível freático; espacializar a distribuição sazonal da concentração dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas na área de estudo; avaliar a variação temporal da precipitação pluviométrica e do nível freático do aquífero local; estabelecer a direção e avaliar ocorrências de possíveis variações e inversões sazonais do fluxo local da água subterrânea e; realizar ensaios de caracterização e estimar a condutividade hidráulica dos solos na área de estudo.

Com a finalidade de facilitar a leitura e a compreensão do trabalho, a presente dissertação foi dividida em seis capítulos, considerando-se a seguinte estrutura:

No capítulo um consta a introdução, uma breve discussão sobre o tema do estudo destacando sua relevância, com o problema e a justificativa bem como a definição dos objetivos a serem alcançados.

No capítulo dois apresenta-se a revisão bibliográfica realizada durante a pesquisa e que serviu de suporte teórico para analisar as informações. Nesse capítulo, constam os conceitos básicos dessa pesquisa e assuntos relacionados para a compreensão do tema do estudo.

No capítulo três, materiais e métodos, apresenta-se uma síntese e explanação sobre a técnica utilizada na presente dissertação. Esse capítulo divide-se em estudo de escritório, trabalho de campo e trabalho de laboratório.

No capítulo quatro apresenta-se a caracterização da área de estudo. Nesse capítulo consta uma breve caracterização dos aspectos físicos e localização do município de Santa Maria bem como do empreendimento potencialmente poluidor, alvo do estudo na presente dissertação.

No capítulo cinco apresentam-se os resultados e discussão da pesquisa desenvolvida, ou seja, o que realmente foi investigado nessa dissertação.

Por fim, no capítulo seis apresentam-se resumidamente as conclusões dos resultados obtidos e algumas sugestões para futuras pesquisas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo serão abordados conceitos básicos e assuntos relacionados à compreensão do tema da presente pesquisa. Os seguintes tópicos serão enfatizados: recursos hídricos e águas subterrâneas, ciclo hidrológico, distribuição da água no solo, sistemas aquíferos, poluição das águas subterrâneas, contaminação da água subterrânea por hidrocarbonetos, monitoramento de água subterrânea, parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, parâmetros hidrodinâmicos das águas subterrâneas, recarga de aquíferos e condutividade hidráulica de solos.

### **2.1 Recursos hídricos e águas subterrâneas**

A água se encontra presente em quase todos os lugares, denominando-se “molécula da vida”. Assim, segundo Branco (1993, p.42),

Sendo fator indispensável à vida dos seres terrestres a água é utilizada na irrigação dos solos, na dessedentação dos animais de criação e no abastecimento das cidades. Esse último uso é considerado o mais complexo abrangendo todas as qualidades que podem ser exigidas nos outros dois.

Considerada a substância mais abundante do planeta, a água recobre 2/3 da superfície terrestre. No entanto, cerca de 97,5% do total de água na Terra é salgada. Menos de 2,5% é doce e esta distribuída entre as calotas polares (68,9%), os aquíferos (29,9%), rios e lagos (0,3%) e outros reservatórios (0,9%). Assim, apenas 1% da água doce pode ser aproveitada pela humanidade, o que representa 0,007% de toda a água do planeta (Hirata, 2000).

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento industrial e tecnológico, a demanda por água tem aumentado substancialmente. Desta forma, os recursos hídricos têm sofrido significativas alterações. A água é um recurso natural renovável, no entanto não é

inesgotável, sofrendo assim sensivelmente com as ações humanas que modificam a qualidade e a quantidade da água no tempo e no espaço (Christofidis, 2002).

Assim, os recursos hídricos tornam-se escassos, adquirindo um valor cada vez maior, tornando-se desta forma, um bem econômico. Percebe-se então, atualmente, uma valorização da água como um bem dotado de valor econômico. A própria legislação brasileira dos recursos hídricos, mais especificamente a Lei 9.433/97, estabelece alguns instrumentos, entre eles a cobrança pelo seu uso.

Nesse cenário, a água subterrânea vem assumindo importância relevante como fonte de abastecimento doméstico, industrial e agrícola. Praticamente todos os países do mundo, utilizam a água subterrânea para suprir suas necessidades. Países como a Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, Marrocos, Rússia e Suíça, utilizam de 70 a 90% da demanda do abastecimento público pelas águas subterrâneas. Outros utilizam 100% da água subterrânea, como é o caso da Arábia Saudita e da Malta (Rebouças et al., 1999).

Conceitualmente, água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (Borghetti et al., 2004).

A água subterrânea origina-se da chuva que precipita e infiltra no solo. Sendo assim, a quantidade de água a se infiltrar depende da quantidade de chuva, do tipo de litologia, da declividade do terreno, do tipo de cobertura vegetal etc. Conforme Todd (1959), as águas subterrâneas, mencionadas sem nenhuma outra especificação, são aquelas que ocupam todos os vazios de um estrato geológico.

Para Guerra & Guerra (1997), água subterrânea é aquela que se infiltra nos solos e nas rochas, caminhando até o nível hidrostático. Sua utilização cresce ano após ano, apresentando vantagens em relação à água superficial, por não ocupar espaço em superfície; sofrer menor influência nas variações climáticas; ser passível de extração perto do local de uso; ter temperatura constante; ter maior quantidade de reservas; ter melhor qualidade (física, química, biológica), ter proteção contra agentes poluidores etc.

Por apresentar vantagens em relação aos usos das águas superficiais, a demanda tem crescido tanto que chega a faltar para a manutenção de populações em certas áreas com carência de abastecimento de água superficial; em áreas densamente povoadas, e em regiões onde a atividade agrícola (agricultura irrigada localizada em desertos e em outras regiões

secas) e industrial requer muita água, estimulou-se o desenvolvimento do abastecimento de águas subterrâneas armazenadas em aquíferos, o que a torna uma fonte importante de abastecimento em todo o mundo.

A água de aquíferos confinados ou livres poderá ser extraída com a perfuração de poços tubulares, que são alternativas pouco onerosas ao abastecimento humano, agropecuário ou industrial. Para tanto, esses poços deverão ser bem projetados e construídos, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para evitar a contaminação por dejetos domésticos, industriais, fertilizantes, entre outros. Segundo a NBR 12244/92, “(...) Poço é definido como qualquer obra de captação de água subterrânea executada com sonda, mediante perfuração vertical”. Além disso, esta norma estabelece que o poço deva ter selo sanitário, perfil construtivo e ser executado por técnicos habilitados.

## 2.2 O ciclo hidrológico

Os recursos hídricos têm a sua distribuição na Terra comandada pelo ciclo hidrológico, conforme é ilustrado na Figura 2.1.

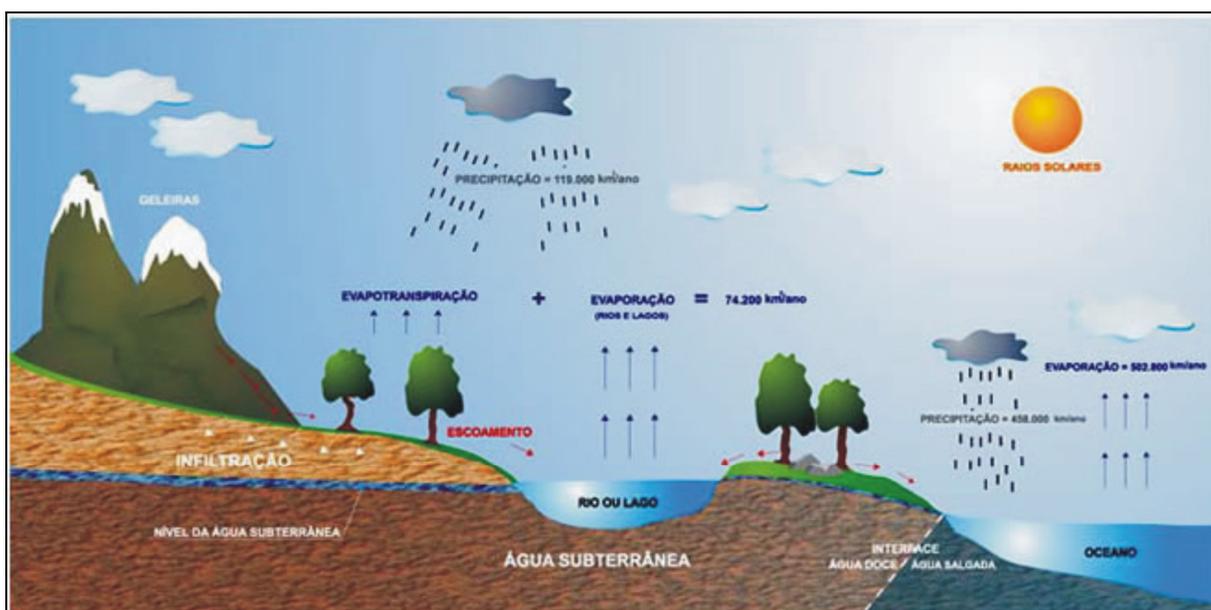


Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico.

Fonte: <http://www.oaquiferoguarani.com.br>.

Segundo Tucci et al. (1993, p. 35), “(...) o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre”. As águas subterrâneas cumprem uma fase desse ciclo, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada (Borghetti et al., 2004).

A descrição do ciclo hidrológico pode ser feita a partir do momento em que a precipitação toma um destino variado. Uma parcela é reevaporada, outra é interceptada pela vegetação, construções e outros objetos e é parcialmente reevaporada. Outra parcela escoar sob a superfície terrestre até os cursos d’água. Outra parte infiltra-se na terra. Esta última pode ter vários destinos; parte é retirada por capilaridade à superfície; outra é utilizada pela vegetação; outra parte, se junta à água do solo; por fim, uma parte, que é na maioria das vezes insignificante, mas com importância considerável, infiltra-se até o lençol freático. A água em meio subterrâneo tem seu deslocamento lento, assim, a água subterrânea levará dias para percorrer poucos metros (Brater & Wisler, 1964).

Parte da água infiltrada no subsolo ajuda a manter a dinâmica das águas superficiais. Ao juntar-se à massa da água subterrânea, a água infiltrada move-se através dos poros da matéria do subsolo, podendo reaparecer na superfície em locais de nível inferior ao que penetrou. A água subterrânea descarrega naturalmente em tais lugares em forma de nascentes, que mantêm o fluxo dos cursos em período de estiagem. Neste sentido, ainda segundo Sophocleous (2002), aquíferos e águas superficiais não são componentes isolados do ciclo hidrológico, mas interagem em uma grande variedade de casos, dependendo da fisiografia, geologia, fatores bióticos e da climatologia. Sendo assim, a preservação ou a contaminação de uma afeta diretamente o outro. O entendimento básico da interação entre as águas subterrâneas e superficiais é necessário para um correto gerenciamento dos recursos hídricos.

### **2.3 Distribuição da água no solo**

A respeito da distribuição da água no solo e nas formações geológicas, devem-se considerar duas zonas de acordo com a proporção relativa do espaço poroso ocupado pela água: zona de aeração e zona de saturação, onde ocorre a superfície freática, o lençol freático ou ainda a superfície piezométrica. A Figura 2.2 ilustra a distribuição vertical da água no solo e subsolo.

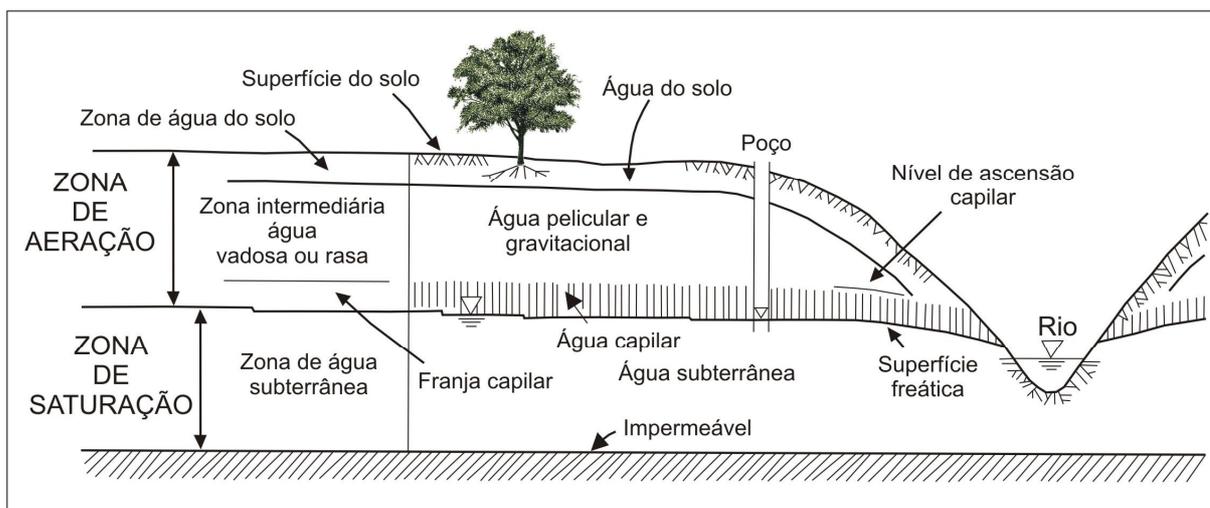


Figura 2.2 - Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo.  
Fonte: Modificado de Cabral et al. (2001).

Tucci et al. (1993, p. 289), considera as seguintes zonas de distribuição de água no solo e subsolo:

Zona de saturação, onde todos os espaços vazios encontram-se completamente ocupados pela água e, Zona de aeração, onde os poros contêm água e ar (ou vapor de água). A zona de saturação está limitada superiormente pela linha de saturação (superfície piezométrica) e inferiormente por uma barreira impermeável. As fontes, os poços e as correntes efluentes têm origem na zona de saturação.

A zona de aeração está limitada pela superfície do terreno e pela linha de saturação. Podem-se diferenciar três zonas: a zona de água do solo, a zona intermediária e a zona capilar.

A água que ocorre na zona saturada é denominada de água subterrânea, e pode ser retirada a partir de perfuração de poços tubulares e/ou escavados; esta zona é limitada em seu topo por uma limítrofe de saturação ou por camadas impermeáveis de leitos, argila ou rocha.

Segundo Manoel Filho (1997), abaixo da superfície do terreno, a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida ao longo da vertical basicamente em duas zonas horizontais: zona não saturada (subdividida em três partes) e zona saturada, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que é ocupado pela água.

A Figura 2.3 apresenta a distribuição vertical da água no subsolo conforme Manoel Filho (op. cit.).

<i>Zonas horizontais</i>	<i>Descrição</i>
1. Zona não saturada, zona de aeração ou zona vadosa.	Situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno. Nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases e por água.
1.1. Zona de água do solo ou zona de evaporação	Situa-se entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno.
1.2. Zona intermediária	Compreende entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas.
1.3. Zona capilar	Estende-se da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. Adota-se o conceito de franja capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%).
2. Zona saturada ou zona de saturação	Situa-se abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes estão preenchidos por água.

Figura 2.3 - Distribuição vertical da água no subsolo.

Fonte: Manoel Filho (1997).

## 2.4 Sistemas aquíferos

Um conceito importante a se considerar é o de aquífero, que segundo Tucci et al. (1993, p. 289), “(...) é uma formação geológica (ou um grupo de formações) que contém água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas”. Ainda, segundo Cleary (1989), um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada para armazenar e transmitir quantidades significativas de água, sob gradientes hidráulicos naturais.

Outra definição de aquífero é trazida pela Resolução N°. 15/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), onde aquífero é o “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

Segundo Borghetti et al. (2004), a origem geológica irá determinar os diferentes tipos de aquíferos que, podem ser fluvial, lacustre, eólico, glacial e aluvial (rochas sedimentares); vulcânicas (rochas fraturadas); e metamórficas (xistos, gnaisses). Quanto à porosidade, existem três tipos de aquíferos: poroso, fissural e cárstico, esquematicamente caracterizados conforme a Figura 2.4.

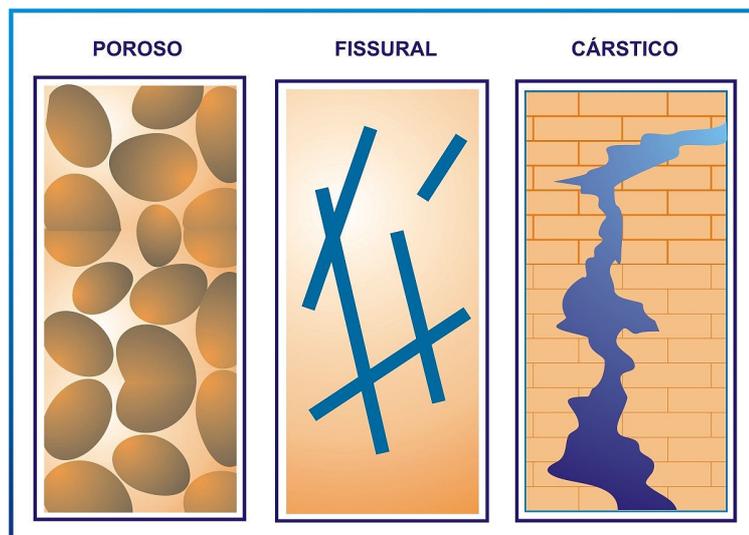


Figura 2.4 - Tipos de aquíferos quanto à porosidade.  
Fonte: Borghetti et al. (2004).

Quanto à classificação dos aquíferos em relação à pressão da água, os mesmos podem ser de dois tipos: aquífero livre ou freático e aquífero confinado ou artesiano. Onde a água só parcialmente preenche o aquífero, a superfície superior da zona saturada é livre para subir ou descer. A água em tais aquíferos é dita não-confinada e os aquíferos são referidos como não-confinados, também denominados de aquíferos livres, freáticos ou gravitacionais. Já, onde a água preenche completamente o aquífero que está sobreposto por uma camada confinante, a água no aquífero é dita estar confinada. Tais aquíferos são referidos como aquíferos confinados ou artesianos (Heath, 1983). A Figura 2.5 ilustra os tipos de aquíferos quanto à pressão.

Ainda, de acordo com Todd (1959), o aquífero não-confinado é aquele em que o nível d'água serve como superfície superior da zona de saturação. É também conhecido como livre freático, ou não artesiano. Por outro lado, o aquífero confinado, também conhecido como artesiano ou aquífero sob pressão, ocorre quando o nível d'água está confinado sob pressão maior do que a atmosférica por estratos subjacentes relativamente impermeáveis.

Poços perfurados em aquíferos não-confinados são referidos como poços freáticos. O nível da água nestes poços indica a posição da superfície freática. Já, poços perfurados em aquífero confinado são referidos como poços artesianos. O nível da água nos poços artesianos nivela-se a uma altura acima do topo do aquífero, mas não necessariamente acima da superfície topográfica. Se o nível da água em um poço artesiano estabelece-se acima da superfície topográfica, o poço é denominado artesiano jorrante (Heath, 1983).

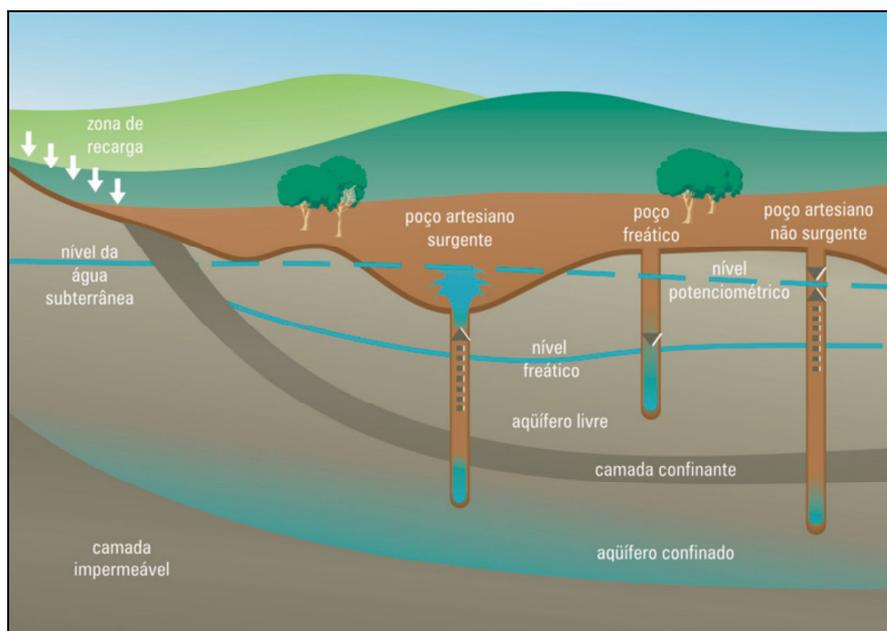


Figura 2.5 - Tipos de aquíferos quanto à pressão.  
 Fonte: <http://www.sg-guarani.org>.

Os aquíferos ocupam, na maioria das vezes, grandes extensões em área, tornando-se reservatórios subterrâneos de armazenamento. A recarga do aquífero poderá ser por meio natural ou artificial. Para Hirata & Ferreira (2001, p. 45), “(...) A recarga dos sistemas aquíferos é feita por dois mecanismos distintos: a natural, com água da precipitação que infiltra no solo e atinge o aquífero e a induzida, representada por águas provenientes de fugas das redes de água e esgoto”.

Utiliza-se a denominação “Sistema Aquífero”, pois um aquífero pode ocupar a área de uma ou de várias bacias hidrográficas, ou mesmo entre estados, ou ainda transfronteiriço entre países, como é o caso do Sistema Aquífero Guarani (SAG), que será melhor descrito no próximo item.

Ainda, deve-se considerar o conceito de aquítarde. De acordo com Cleary (1989), enquanto aquíferos fornecem quantidades significativas de água, aquítarde são formações de baixa permeabilidade, que armazenam água, mas não podem suprir poços de bombeamento. No entanto, podem transmitir água suficiente através de enormes áreas, tornando-se importantes em estudos regionais de suprimento de água. Como exemplo de aquítarde, pode-se citar as camadas de argila e de folhelho que separam muitos aquíferos confinados, transmitindo água através da drenança vertical. Em estudos de aquíferos, aquítarde são também conhecidos como camadas confinantes drenantes.

Um exemplo extremo de um aquítarde é um aquíclude. Esse termo é usado para descrever materiais geológicos porosos, mas não permeáveis incapazes de ceder água economicamente a obras de captação, onde a água está contida no meio por forças moleculares. Em sua obra, o autor Manoel Filho (1997) conceitua aquíclude como uma formação que pode conter água (até mesmo em quantidades significativas), mas é incapaz de transmiti-la em condições naturais. Maciel Filho (1990) descreve a Formação Santa Maria Membro Alemoa como um aquíclude.

#### 2.4.1 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Considerado originalmente, o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo, o Sistema Aquífero Guarani estende-se desde a Bacia Sedimentar do Paraná (Brasil, Paraguai e Uruguai) até a Bacia do Chaco Paraná (Argentina). Está localizado no centro leste da América do Sul, entre as coordenadas 12° e 35° de latitude Sul e 47° e 65° de longitude Oeste, ocupando aproximadamente 75% da Bacia do Paraná.

O SAG possui uma extensão total aproximada de 1,2 milhões de Km<sup>2</sup>, sendo 840 mil Km<sup>2</sup> no Brasil, 225,5 mil Km<sup>2</sup> na Argentina, 71,7 mil Km<sup>2</sup> no Paraguai e 58,0 mil Km<sup>2</sup> no Uruguai (Rocha, 1997). No Brasil ocupa parte de oito estados brasileiros: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais<sup>1</sup>. A Figura 2.6 ilustra o mapa esquemático do SAG.

Esse aquífero é constituído de várias rochas sedimentares pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná. Das rochas que compõem o aquífero, a mais importante é o arenito Botucatu, de idade Triássico superior a Jurássico inferior (190 milhões de anos atrás). Este arenito foi depositado em ambiente desértico, o que explica as características que faz dele um ótimo reservatório de água: os grãos sedimentares que o constituem são de grande homogeneidade, havendo pouco material fino (matriz) entre os mesmos.

A espessura total do aquífero varia de valores superiores a 800 metros até a ausência completa de espessura em áreas internas da bacia. As variações na espessura são atribuídas ao controle estrutural durante a deposição e ao controle erosional do ambiente desértico.

---

<sup>1</sup> Nota do orientador (2008).

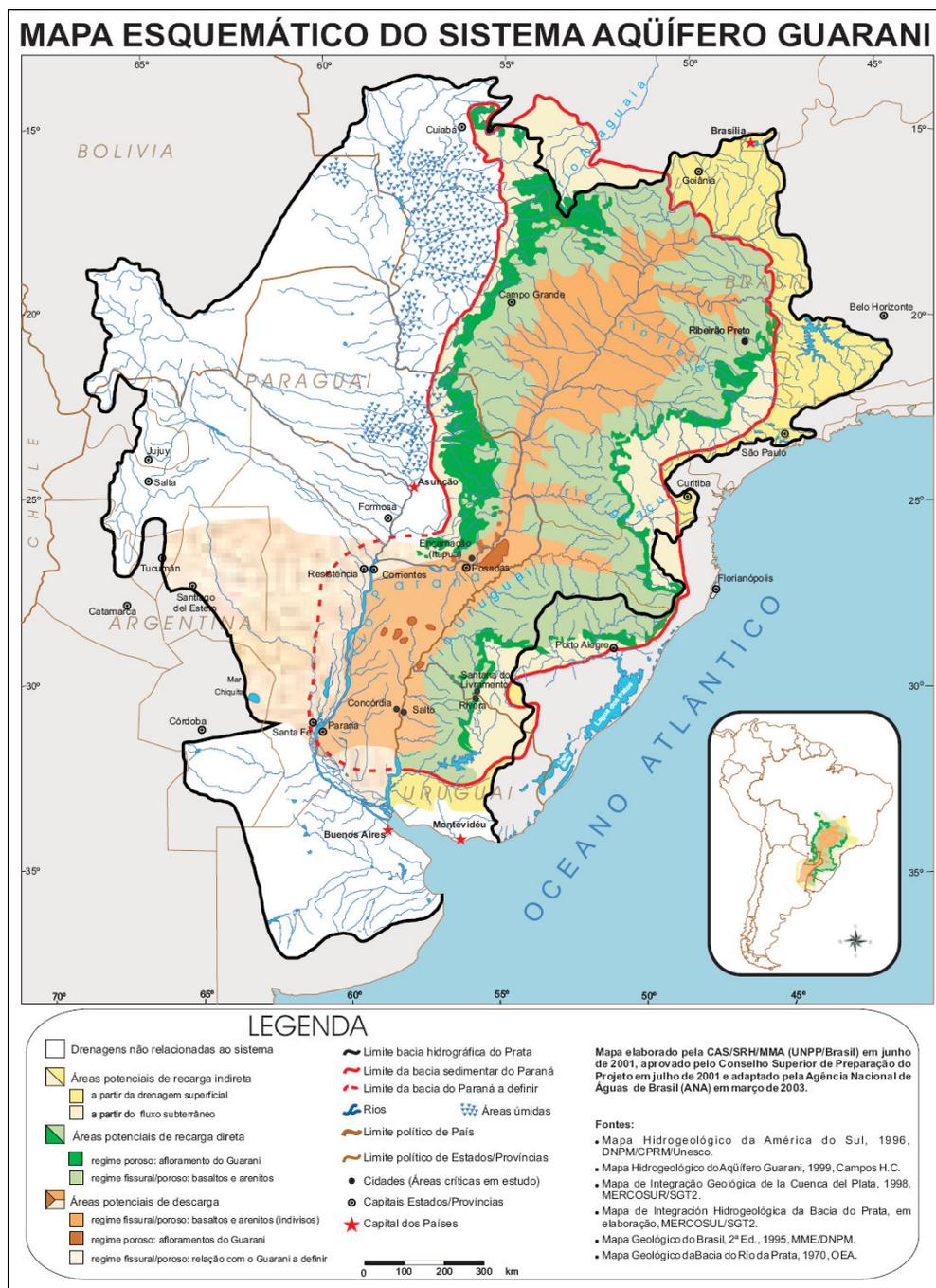


Figura 2.6 – Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Fonte: <http://www.sg-guarani.org>.

As reservas permanentes de água são da ordem de 45.000 Km<sup>3</sup>, considerando uma espessura aquífera média de 250 m e porosidade efetiva de 15%, correspondente à somatória do volume de água de saturação do aquífero mais o volume de água sob pressão. Em regiões onde o aquífero está a mais de 1000 m de profundidade a água pode atingir temperaturas de até 50°C, sendo muito útil em alguns processos industriais e para fins de recreação e lazer (Viana, 2003).

O aquífero pode ser dividido em três zonas principais no que se refere à proteção de sua imensa reserva de águas. Primeiramente as zonas de exposição livre do aquífero, onde o risco de contaminação é grande e onde a exploração é maior, menos onerosa, porém de menor intensidade pontual. Posteriormente, têm-se as zonas produtoras de confinamento, onde o grau de proteção do aquífero é bem maior, pois os outros aquíferos sobrepostos a ele "filtram" a recarga. Por fim, a terceira é a zona de descarga do aquífero, próxima ao centro da bacia, e que usa o Rio Paraná como descarga (Viana, op. cit.).

Desta forma, para cada uma das diferentes zonas que compõem o aquífero, devem-se ter medidas protetoras e de controle diferenciadas em relação à exploração desse recurso, bem como das atividades econômicas desenvolvidas em cada uma destas áreas. Estes estudos estão sendo realizados em vários projetos coordenados pela Secretaria Geral do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani.

Muito se tem questionado sobre a potencialidade do SAG. Neste sentido, Machado (2005), diz que o Aquífero Guarani possui muitas limitações, mostrando a necessidade de uma reavaliação de sua potencialidade. Os estudos realizados nos últimos anos têm demonstrado, inequivocamente, que ele não é apenas "um" aquífero e que está compartimentado em vários blocos. Ele apresenta uma estrutura de camadas em que se superpõem muitos aquíferos com potencialidades muito diversas. Assim, ao contrário do que se imagina, suas águas não apresentam potabilidade em toda a sua área de ocorrência.

Segundo Chaves & Silvério da Silva (2008), um exemplo da heterogeneidade do SAG foi à perfuração de um poço tubular na área do empreendimento monitorado neste estudo, que atingiu o Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria e, que resultou na captação de água salobra. Também, Silvério da Silva et al. (2000 e 2002), cita a presença anômala de flúor (teores acima de 0,9 mg/L) nas águas do SAG.

## **2.5 Poluição da água subterrânea**

Um ponto importante a ser considerado é a poluição da água subterrânea, sendo difícil sua identificação. Neste contexto, entende-se poluição da água subterrânea como qualquer deterioração na qualidade natural das águas, resultante de atividades humanas provocadas ou acidentais (Heath, 1983). A maior parte da água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra (diretamente ou indiretamente) na superfície do solo. Como

conseqüência, as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A poluição dos aquíferos ocorre nos pontos em que a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela atividade humana (provenientes de atividades urbanas, industriais, agrícolas e de mineração) é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura (Foster et al., 2003).

Quanto à área afetada pela contaminação da água subterrânea, pode ter origem em dois tipos de fontes: pontuais e difusas. A contaminação difusa da água subterrânea ocorre em função da falta de saneamento de áreas residenciais urbanas e do uso agrícola do solo com a disposição de agrotóxicos e/ ou fertilizantes. Já, como exemplo de fontes pontuais de contaminação tem-se os tanques de armazenamento de combustíveis, lixões, aterros controlados e aterros de disposição de resíduos industriais, fossas sépticas, vazamentos de produtos químicos, além de cemitérios (Foster & Hirata, 1993). A Figura 2.7 ilustra os principais processos de poluição da água subterrânea (fontes pontuais e difusas).

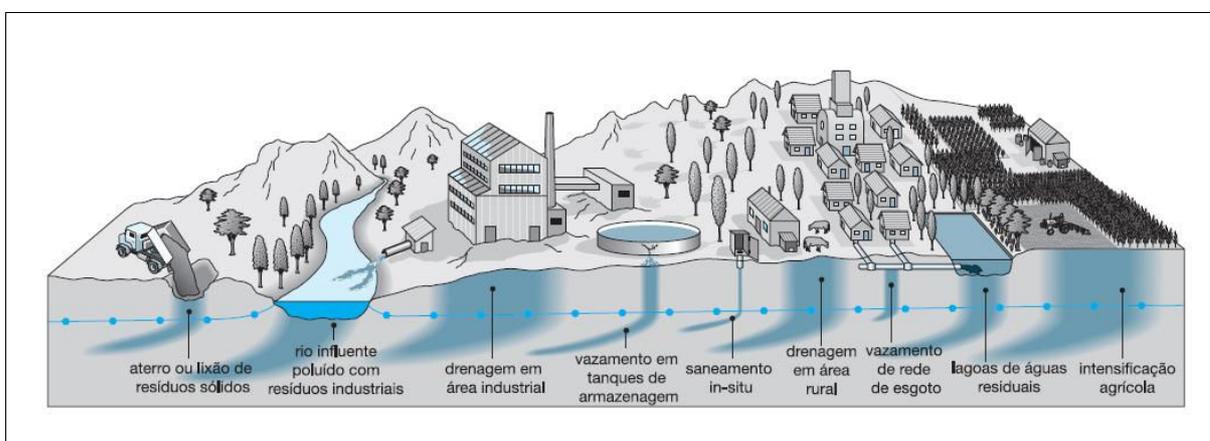


Figura 2.7 – Processos comuns de poluição da água subterrânea.

Fonte: Foster et al. (2003)

Conforme Heath (1983), a densidade de uma substância líquida, isto é, o peso por unidade de volume de substância em relação ao da água, afeta seu movimento subterrâneo. As densidades variam desde a dos derivados do petróleo que são menos densos do que a água, até a das salmouras e outras substâncias que são mais densas que a água. Substâncias menos densas do que a água tendem a acumular-se no topo da zona saturada (se, como petróleo, elas são imiscíveis, tenderão a espalharem-se em todas as direções como uma fina película).

Substâncias mais densas do que a água tendem a moverem-se para baixo através da zona saturada até a primeira camada confinante extensa.

Ainda, segundo Heath (1983), a composição mineral e as características físicas dos solos e rochas através das quais os poluentes movem-se podem afetá-los em diferentes modos. Se o poluente entra no solo em um “ponto”, ele será disperso longitudinalmente e lateralmente em materiais granulares de tal modo que sua concentração será reduzida na direção do movimento. Substâncias orgânicas e outros materiais biodegradáveis tendem a ser quebrados tanto por oxidação como por ação bacteriológica na zona não-saturada. Certos materiais terrosos, especialmente argilas e matéria orgânica, podem também absorver metais-traço e certos poluentes orgânicos complexos e, pois reduzir sua concentração à medida que se movem através do ambiente subterrâneo. As características hidráulicas de solos e de rochas determinam o caminho tomado e a velocidade do movimento dos poluentes.

A preocupação com a contaminação da água subterrânea se concentra principalmente nos aquíferos freáticos ou não confinados, especialmente nas áreas em que a zona vadosa é pouco espessa e o lençol freático é raso. Entretanto, há riscos significativos de poluição em pontos em que o aquífero é semiconfinado, se os aquíferos confinantes forem relativamente pouco espessos e permeáveis (Foster et al., 2003).

Entre a grande variedade de materiais identificados como contaminantes da água subterrânea, estão incluídos os compostos inorgânicos, os compostos orgânicos sintéticos, os contaminantes radioativos e as substâncias patogênicas. Um dos grupos de compostos orgânicos inclui os hidrocarbonetos aromáticos solúveis associados com combustíveis de petróleo. Este grupo inclui a benzeno, tolueno, etilbenzeno e vários xilenos isômeros associados com derrames de petróleo (Caicedo, 1999). A contaminação da água subterrânea por hidrocarbonetos será melhor descrita no próximo item.

## **2.6 Contaminação da água subterrânea por hidrocarbonetos**

As preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de solos e águas por vazamento/derramamento de combustíveis vêm crescendo, sendo diversas as origens: acidentes envolvendo o transporte de combustíveis por navios, caminhões ou dutos e principalmente devido a vazamentos provenientes de tanques de armazenamento.

Nos países industrializados e, sobretudo nas grandes cidades, existem centenas de milhares de tanques de aço enterrados ou subaéreos, armazenando derivados de hidrocarbonetos em postos de combustíveis e outros empreendimentos. Muitos destes empreendimentos apresentam problemas de vazamentos e/ou derramamentos de combustíveis que podem deteriorar a qualidade das águas subterrâneas. Esses vazamentos tendem a contaminar as águas subterrâneas quando os níveis freáticos são muito altos e as infiltrações de água de chuva são freqüentes (Manoel Filho, 1997).

No Brasil, cerca de 20% do petróleo processado é convertido em gasolina automotiva e 36% em óleo diesel (MME-DNC, 1995). A gasolina é uma mistura complexa de hidrocarbonetos hidrofóbicos relativamente voláteis. Os hidrocarbonetos típicos são os compostos alifáticos (alcanos, cicloalcanos, alcenos), aromáticos e aditivos (Ferreira & Zuquette, 1998).

Os maiores problemas de contaminação são atribuídos aos hidrocarbonetos monoaromáticos, que são constituintes mais solúveis e mais móveis da fração gasolina, sendo os primeiros a atingir o lençol freático. Estes hidrocarbonetos monoaromáticos, tais como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, são denominados de BTEX. Dentre os aditivos, os oxigenados como o etanol têm a função de aumentar o índice de octanagem da gasolina automotiva e reduzir a poluição atmosférica.

No Brasil, uma das grandes preocupações em nível de contaminação das águas subterrâneas por vazamento de combustível, esta na adição do etanol a gasolina. Esta mistura corresponde a 22% de etanol e 78% de gasolina, diferenciando-a da gasolina de outros países. O etanol age como cossolvente, permitindo assim uma maior solubilidade dos compostos BTEX na água, aumentando a sua dissolução e dispersão pelo solo e aquíferos, modificando o deslocamento da pluma contaminante.

O óleo diesel é composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeias simples, não ramificadas. Em relação à gasolina, o óleo diesel apresenta moléculas com tamanho maiores de cadeias, o que confere a este combustível maior massa específica, menor volatilidade e menor solubilidade em água. Embora o volume de óleo diesel consumido no país seja quase o dobro do volume consumido de gasolina, este é considerado um combustível menos preocupante, em termos ambientais, devido à sua menor mobilidade no meio poroso e por possuir os compostos tóxicos em menor quantidade na sua composição, se comparada com as quantidades encontradas na gasolina (Oliveira, 1990).

A contaminação por derivados do petróleo diferencia-se de outros produtos, visto que a gasolina e o óleo são menos densos do que a água e imiscíveis nela. Assim, óleo ou

gasolina oriundos de vazamentos ou derramamentos, só migram na zona não saturada do solo. Esta zona é constituída basicamente de água e ar que preenchem os espaços vazios do solo. Assim, num derramamento de um dos derivados do petróleo, surge uma terceira fase fluída, que competirá por espaço poroso disponível através dos efeitos da força gravitacional e de forças capilares.

Após ocorrer o vazamento em subsuperfície, o líquido tende a migrar verticalmente pela zona não saturada até atingir a zona saturada. Este percurso é controlado basicamente pelos processos de advecção<sup>2</sup> e difusão<sup>3</sup>. Durante este processo, os diversos componentes do combustível partionam-se para fases sólidas, líquidas e gasosas e ficam sujeitas a biodegradação. Uma fração do combustível volatiliza-se e é transferido à atmosfera; outra é retida nos espaços vazios dos poros na zona não saturada por forças capilares, como uma saturação residual; uma terceira fração fica aderida à matéria orgânica existente e outra migra até alcançar a água subterrânea. A emissão contínua do poluente a partir de uma fonte pontual denomina-se pluma (EPA, 1996). O processo descrito anteriormente é ilustrado na Figura 2.8.

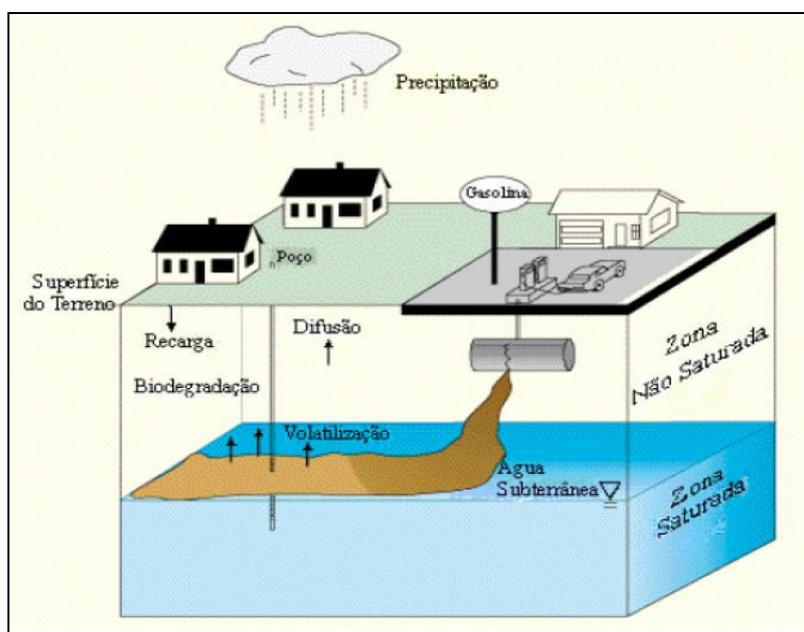


Figura 2.8 – Fenômenos que ocorrem após o derramamento de combustíveis.  
Fonte: Ferreira (2000).

<sup>2</sup> Advecção é o transporte do fluido em função do gradiente.

<sup>3</sup> Movimento de uma substância de uma área com alta concentração para uma com baixa concentração.

## 2.7 Monitoramento de água subterrânea

De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 273/2000, Art. 1º, “a localização, a construção, a instalação, a modificação, a ampliação e a operação de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis”. Para a emissão das licenças Prévia e de Instalação, necessita-se: “a caracterização hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, a identificação das áreas de recarga, a localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado”. Além destas exigências do órgão ambiental, após a instalação do empreendimento, deve-se estabelecer um sistema de monitoramento de água subterrânea. Segundo a CETESB (1988), o sistema de monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de poluição na qualidade da água subterrânea.

De acordo com Cleary & Miller (1984), há pelo menos três escalas espaciais do monitoramento de água subterrânea comumente em uso.

O primeiro tipo é empregado tipicamente no local ou próximo de uma fonte potencial de contaminação, onde a mesma é limitada em área e pode ser identificada unicamente em termos geográficos. Isto inclui fontes como descargas industriais, represas industriais, aterros sanitários, reservatórios de combustíveis e represas de esgotos municipais.

Um segundo tipo são os monitoramentos por razões de segurança de saúde pública. Por exemplo, milhares de poços de água potável são analisados periodicamente para constituintes químicos inorgânicos. Este tipo de amostragem é uma forma de controle de qualidade e, fazendo-se uma analogia, seriam as amostras utilizadas para checagem da linha de produção de uma fábrica de processamento de alimentos.

O terceiro tipo de monitoramento é de nível regional onde se valia os efeitos de fontes difusoras ou do efeito combinado de muitas fontes pontuais de contaminação. Tais fontes incluem a drenagem de águas pluviais, fossas sépticas e o uso em locais urbanos e suburbanos com fontes potenciais variadas de poluição de águas subterrâneas.

No tocante ao primeiro tipo de monitoramento citado anteriormente, a NBR 10157/1987, estabelece que todas as instalações que tratem, estoquem ou depositem resíduos perigosos devem possuir sistema de monitoramento de águas subterrâneas. Neste sentido, o monitoramento de água subterrânea é um método usado para a detecção de vazamentos em

tanques de combustíveis e, consiste na instalação de poços de monitoramento em lugares estratégicos, no solo adjacente ao tanque e às tubulações. Segundo Guiguer (2000, p. 112):

Para descobrir se o vazamento atingiu a água subterrânea, esses poços podem ser checados manualmente, em intervalos determinados de tempo, ou podem ser checados continuamente, através da instalação de sensores. Esse método não pode ser usado em lugares onde a água subterrânea estiver a mais de cinco metros abaixo da superfície.

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o sistema de monitoramento baseia-se na instalação de poços que permitem verificar a existência de produto em fase livre na superfície da água subterrânea. A seguir, faz-se uma revisão sobre estes poços de monitoramento.

### 2.7.1 Poços de monitoramento

Os poços de monitoramento são utilizados para a avaliação da qualidade dos aquíferos em áreas com atividades potencialmente poluidoras. Além disso, os poços de monitoramento podem ser utilizados para a determinação de propriedades físicas e químicas dos aquíferos. Deve-se considerar que sua instalação não deve ser superior a 6 metros de profundidade (NBR 13895/1997).

Conforme instruções da NBR 13895/1997, a rede de monitoramento deve possuir um ou mais poços localizados à montante da instalação a ser monitorada bem como pelo menos três poços, não alinhados, à jusante da instalação, para avaliar possível independência desta na qualidade original da água subterrânea local. Ainda sobre a localização dos poços, os mesmos devem ser em número suficiente, instalados adequadamente de forma que as amostras retiradas representem a qualidade da água existente no aquífero mais alto, na área do empreendimento. A Figura 2.9 ilustra a disposição dos poços de monitoramento na instalação a ser monitorada.

Quanto à construção dos poços de monitoramento, o diâmetro de perfuração deve ser no mínimo de 200 mm. Deve ser evitada a utilização de fluidos de perfuração. No caso de sua necessidade, os mesmos não devem interferir na qualidade da água a ser monitorada. Durante o processo de perfuração é importante observar as variações do nível de água bem como o acompanhamento e a descrição das amostras do material geológico seccionado.

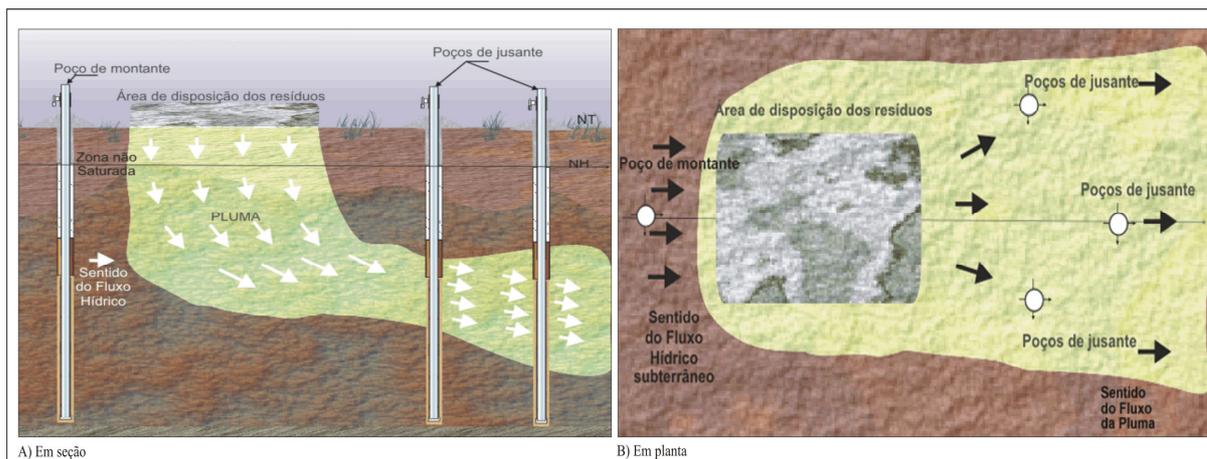


Figura 2.9 – Disposição dos poços de monitoramento, visualizado em seção (A) e em planta (B).  
Fonte: Modificado de NBR 13895/1997.

Os poços de monitoramento devem ser construídos conforme a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 13895 de 1997, intitulada “Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem”. De acordo com essa norma, os poços de monitoramento são constituídos basicamente dos seguintes elementos:

a) Revestimento Interno;

Constituído de tubos de aço inoxidável, ferro fundido ou plástico, encaixados no interior da perfuração, com a função de revestir a parede da mesma.

b) Filtro;

Tem a propriedade de permitir a entrada da água e de impedir a penetração de algumas impurezas plásticas do poço. Existem vários tipos de filtro, o mais comum é o do tipo ranhurado, que consiste em um tubo com ranhuras vazadas de largura de 2 a 3 mm.

c) Pré-filtro;

Ocupa o espaço anular, entre o filtro e a parede da perfuração. É constituído de areia lavada de grãos quartzosos ou pedriscos de quartzo (inertes e resistentes).

d) Proteção Sanitária;

Tem a função de evitar que a água superficial contamine o poço através da infiltração pelo espaço anular. É o conjunto formado pelo selo sanitário (argamassa de cimento da extremidade superior do espaço anular com aproximadamente 30 cm) e pela laje de proteção (piso de cimento, construído com pequeno declive, ao redor da boca do poço).

e) Tampão;

A extremidade superior do tubo (boca do poço) deve ser protegida contra a penetração de substâncias indesejáveis, que podem alterar os resultados de análises. É necessário instalar

tampão removível e com chave. Na extremidade inferior do tubo, um tampão fixo de preferência rosqueado tem a função de evitar a entrada do material sólido dentro do poço.

f) Caixa de Proteção;

O tubo de revestimento sobressai ao nível do terreno aproximadamente 20 cm para evitar a penetração de água superficial e de elementos estranhos no poço. A caixa de proteção de alvenaria ou tubo de aço deve ter dimensões apenas suficientes para envolver a parte saliente do tubo de revestimento. Uma tampa na parte superior permite o acesso ao poço. Essa tampa pode manter-se fechada a chave para melhor proteção do poço.

g) Selo;

Obturador com a função de vedar o espaço anular em torno do tubo de revestimento, acima do limite máximo de variação do nível do aquífero, evitando a contaminação do poço por líquidos percolados pelo espaço anular. Serve também para delimitar a camada de interesse dentro da zona saturada. O material vedante (bentonita, cimento) deve obstruir uma pequena parte do espaço anular, o suficiente para impedir a passagem de água de um nível para outro.

h) Preenchimento;

O espaço anular entre a parede de perfuração e a superfície externa do tubo de revestimento deve ser preenchido por material impermeável (argila, solo da escavação), em toda a extensão não saturada (acima do nível da água), a fim de fixar o tubo de revestimento e dificultar a penetração de líquidos provenientes da superfície.

i) Guias Centralizadoras.

Dispositivos salientes, distribuídos ao longo do tubo de revestimento, fixados por seu lado externo. Tem a função de mantê-lo centrado em relação ao eixo do poço.

Todos os elementos descritos anteriormente são mostrados na Figura 2.10, que ilustra o perfil esquemático de um poço de monitoramento, destacando os elementos de sua constituição.

Deve-se salientar que a construção racional dos poços de monitoramento e a localização estratégica, aliadas a métodos eficientes de coleta, acondicionamento e análise das amostras, permitem resultados bastante precisos sobre a influência do método de disposição dos resíduos, na qualidade das águas subterrâneas.

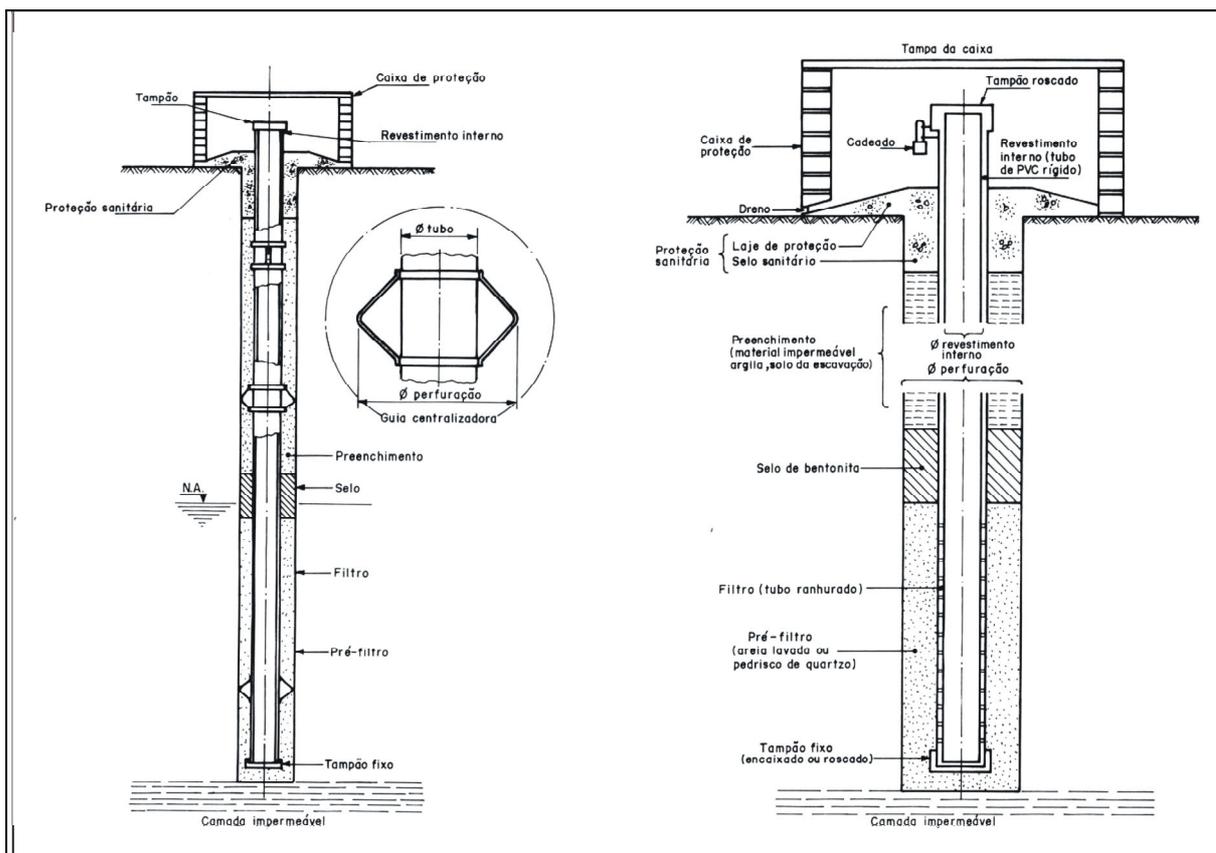


Figura 2.10 – Perfil esquemático do poço de monitoramento.  
Fonte: NBR 13895/1997.

## 2.7.2 Amostragem de poços de monitoramento

Segundo Kaminski (2003), águas subterrâneas são geralmente amostradas para a determinação de suas características químicas para consumo humano ou para identificação de contaminações causadas por atividades industriais. Amostras de água podem ser coletadas de poços de monitoramento por vários tipos de bombas ou coletores. O equipamento a ser selecionado para amostragem deve ser dependente do tipo dos produtos químicos de interesse e sua suscetibilidade de mudanças devido à aeração ou agitação.

A primeira atividade a ser executada em campo, antes do processo de esgotamento e da amostragem propriamente dita, compreende a medição dos níveis de água a partir da “boca” do poço de monitoramento. Os dados referentes ao nível de água, coletados de forma sistemática, são essenciais para determinar se os fluxos, horizontal e vertical, sofrerão alteração desde a caracterização inicial do aquífero.

O segundo passo do programa refere-se ao esgotamento dos poços. A água parada do poço pode não ser representativa da qualidade da água no local. Portanto, antes da amostragem deve-se remover a água estagnada no poço e no pré-filtro, de tal forma que a água da formação substitua a água estagnada (NBR 13895/97).

Durante a amostragem em campo, muitas medidas podem ser realizadas. A temperatura deve ser tomada na saída do poço. A condutividade elétrica (relacionada à concentração dos sólidos totais dissolvidos), o oxigênio dissolvido (usando métodos que evitam contato com ar), e o pH podem ser determinados facilmente com instrumentos portáteis. A análise imediata das amostras de água é o método ideal para se obter uma qualidade da água realmente representativa. No entanto, se o laboratório é distante do poço, a preservação da amostra é importante para prevenir alterações da qualidade química da amostra (Cleary, 1984).

### 2.7.3 Condições naturais do aquífero (background)

No monitoramento das águas subterrâneas, faz-se necessário conhecer os valores naturais do aquífero (background). Desta forma, conhecendo-se a concentração natural de certos parâmetros, é possível detectar possíveis modificações destes valores em virtude de ações antrópicas.

A Norma Técnica NBR 10157/87, intitulada “Aterros de Resíduos Perigosos - Critérios para Projeto, Construção e Operação”, trata do estabelecimento dos valores naturais para os parâmetros das águas subterrâneas. Estes valores podem ser definidos pela tomada de amostras em poços situados a montante da instalação após o início de operação e, preferivelmente, pela amostragem do lençol antes deste início. Por uma questão de representatividade estatística, o valor natural deve ser estabelecido a partir de, pelo menos, quatro amostragens realizadas em intervalos de três meses.

Para se avaliarem possíveis variações nos valores naturais nos poços a jusante, deve-se realizar a comparação de duas médias (estatística  $t$  de Student). A estatística  $t$  para todos os parâmetros, com exceção do pH, é definida pela Equação 2.1:

$$t^* = \frac{\bar{X}_m - \bar{X}_b}{\sqrt{\frac{S_m^2}{N_m} + \frac{S_b^2}{N_b}}} \quad (2.1)$$

Onde:

$\bar{X}_m$  = média aritmética dos valores do parâmetro no poço a ser comparado;

$\bar{X}_b$  = média aritmética dos valores naturais (obtidos nos poços de montante);

$S_m^2$  = variância dos valores do parâmetro no poço a ser comparado;

$S_b^2$  = variância dos valores naturais (obtidos nos poços de montante);

$N_m$  = número de observações do parâmetro no poço a ser comparado;

$N_b$  = número de observações dos valores naturais (obtidos nos poços de montante).

O  $t$  crítico é calculado pela Equação 2.2:

$$t_c = \frac{W_b t_b + W_m t_m}{W_b + W_m} \quad (2.2)$$

Onde:

$t_b$  = valor tabelado de  $t$  (monocaudal) para  $N_b - 1$  graus de liberdade e 0,05 de nível de significância;

$t_m$  = valor tabelado de  $t$  (monocaudal) para  $N_m - 1$  graus de liberdade e 0,05 de nível de significância;

$$W_b = S_b^2 / N_b$$

$$W_m = S_m^2 / N_m$$

Se  $t^*$  for igual ou maior que  $t_c$ , então é possível concluir que houve aumento significativo no parâmetro.

Para o parâmetro pH o teste é bicaudal;  $t^*$  é tomado em seu valor absoluto e  $t_c$  calculado para  $t$  bicaudal. A comparação é feita da mesma maneira que a anterior.

## 2.8 Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas

A água é o solvente mais abundante, sendo capaz de incorporar grandes quantidades de substâncias ao entrar em contato com os minerais constituintes dos solos e rochas nos quais circula. As substâncias dissolvidas podem estar sob a forma molecular ou iônica, porém, nas águas subterrâneas esta última é predominante (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

A água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas, enriquece-se em sais minerais e solução, provenientes da dissolução dos seus minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões a que estão submetidas e facilidades de dissolver CO<sub>2</sub> ao percolar o solo não saturado. Por estas razões, as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às das águas continentais superficiais em geral. Ainda, segundo Fenzel (1986), a água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos, mas muitos outros fatores interferem, tais como: o clima, a composição da água da recarga, o tempo de contato/meio físico entre outros, além da contaminação antrópica.

A avaliação de parâmetros físico-químicos fornece uma idéia da qualidade da água subterrânea de um determinado local, sendo que no monitoramento e investigação das águas subterrâneas, os parâmetros físico-químicos são características importantes a serem considerados. Assim, para CETESB (1978, p. 45):

O relativamente lento movimento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe um íntimo e demorado contato com os minerais que formam a crosta terrestre e que nela vão dissolvendo em maior ou menor proporção. Assim a água subterrânea vai aumentando o seu teor em substâncias dissolvidas à medida que prossegue no seu movimento, até que entre essas seja alcançado um equilíbrio.

Os minerais dissolvidos na água subterrânea afetam seus usos específicos. Se uma ou mais das substâncias dissolvidas estiverem presentes em quantidade superior à que pode ser tolerada, a água deve ser submetida a um tratamento que os elimine ou as remova, de modo que possa servir para o fim pretendido. Cita-se como exemplos, teores de sais dissolvidos superiores a 1000 mg/L e, teores de flúor acima de 0,9 mg/L (Silvério da Silva et al. 2000 e 2002). Portanto, nem toda água subterrânea é doce e, muitas vezes também não é potável de acordo com a Portaria Nº. 518/2004 (Ministério da Saúde).

Alguns parâmetros como a condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, temperatura e turbidez, são extremamente importantes para caracterizar

a água subterrânea. Neste sentido, a seguir são descritos alguns parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas que foram estudados na presente dissertação.

### 2.8.1 Condutividade elétrica (C.E.)

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 88), condutividade elétrica é, “(...) a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons”.

A condutividade da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais totais dissolvidos (STD) e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água.

Sobre a unidade de medida da condutância, Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 88), nos dizem que:

A unidade de medida da condutância é o Mho<sup>4</sup>, inverso do Ohm, unidade de resistência elétrica. Os valores da condutividade para as águas subterrâneas são referidos ao milionésimo do Mho/cm, ou seja, microMho/cm ( $\mu$ Mho/cm a uma temperatura padrão de 25°C).

Segundo a Resolução N°. 357/2005 (CONAMA), as águas doces apresentam teor de sais totais igual ou inferior a 500 mg/L; as águas salobras apresentam teor de sais superior a 500 e inferior a 30.000 mg/L; e as águas salinas apresentam teor de sais superior a 30.000 mg/L.

### 2.8.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é a medida de concentração de íons H<sup>+</sup> na água (potencial hidrogeniônico). O balanço dos íons hidrogênio e hidróxido (OH<sup>-</sup>) determinam quão ácida ou básica é a água. A

---

<sup>4</sup> Atualmente prefere-se utilizar o MSiemens/cm (informação pessoal do orientador).

faixa de pH varia de 0 a 14. Se predominar o hidrogênio, a água é ácida (pH abaixo de 7), se predominarem as oxidrilas, ela é básica ou alcalina (pH acima de 7), ocorrendo um estado de neutralidade ou de equilíbrio da água, se o pH for igual a 7.

Os principais fatores que determinam o pH da água são a concentração do gás carbônico dissolvido e a alcalinidade. Mede-se o pH com pHmetro portátil (precisão 0,1 a 0,2) ou colorimetricamente (precisão de 0,5), no local da coleta da amostra.

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997, p. 90), “(...) A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5 e, em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11. Conforme a Portaria Nº. 518/2004 (Ministério da Saúde) que estabelece os padrões de qualidade da água para o consumo humano, o pH deve variar entre 6,5 a 9,5 para as águas de abastecimento público.

### 2.8.3 Sólidos totais dissolvidos (STD)

De acordo com Feitosa & Manoel Filho (1997, p.90), é “(...) o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil”.

Segundo a CETESB (1978), a concentração total dos minerais dissolvidos na água serve como índice geral da prestabilidade da água para muitos usos. Assim, a água com demasiado teor de minerais dissolvidos não é conveniente para certos usos.

Na maioria das águas subterrâneas naturais, a CE da água multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75 (Feitosa & Manoel Filho, 1997), gera uma boa estimativa dos sólidos totais dissolvidos na água. Para a presente dissertação, utilizou-se do fator 0,65 para o cálculo dos STD.

### 2.8.4 Oxigênio dissolvido (O.D.)

Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997), o oxigênio pode estar dissolvido em pequena quantidade na água subterrânea e sua concentração é função da temperatura, da pressão e do total de sais dissolvidos na água. A maior parte do ar dissolvido na água que infiltra no solo é

consumido na oxidação da matéria orgânica durante a percolação na zona de aeração. As águas subterrâneas possuem uma concentração de oxigênio dissolvido entre 0 e 5 mg/L.

### 2.8.5 Temperatura

A temperatura da água subterrânea responde a variações sazonais ao calor recebido pela superfície da Terra do Sol e, por fluxo de calor proveniente do interior da Terra. O movimento sazonal de calor entrando e saindo das camadas mais superficiais da crosta da Terra causa uma flutuação sazonal nas temperaturas da água subterrânea até uma profundidade de 10 a 25 m. A flutuação é maior próximo da superfície, chegando a 5°C até 10°C (Heath, 1983).

A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa, entre 1 a 2°C, e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos freáticos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície (Feitosa & Manoel Filho, 1997). A importância da temperatura se dá, no momento em que a mesma influencia os processos biológicos, as reações químicas e as bioquímicas, que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. A solubilidade dos gases decresce e a dos sais minerais cresce com o aumento da temperatura da água.

O movimento da água subterrânea causa uma distorção nas isotermas (linhas mostrando igual temperatura). Este efeito é mais notável onde rebaixamentos de água subterrânea induzem a movimento de água de uma corrente ao aquífero. A distorção na temperatura da água subterrânea é mais pronunciada na zona mais permeável do aquífero (Heath, 1983).

## 2.9 Parâmetros hidrodinâmicos das águas subterrâneas

Alguns parâmetros hidrodinâmicos foram estudados na presente dissertação, entre eles: altitude, nível estático e superfície freática.

### 2.9.1 Altitude

A altitude refere-se à representação da cota do terreno na “boca” dos poços (ABAS, 2005). Esta informação pode ser obtida através da medição em campo com auxílio de aparelho de GPS (Global System Position – Sistema de Posicionamento Global), ou ainda, com auxílio de uma carta topográfica da área em estudo.

### 2.9.2 Nível estático

O nível estático, de acordo com a NBR 12244/92, é a “(...) profundidade do nível da água de um poço em repouso, isto é, sem bombeamento, medida em relação à superfície do terreno local”.

Segundo Yassuda et al. (1965, p. 22), nível estático de um poço, “(...) É o nível de equilíbrio da água, no poço, quando o mesmo não está sendo bombeado”.

O nível estático é o nível no qual a água permanece no poço quando não está sendo extraída do aquífero, quer por bombeamento ou por fluxo livre. Os níveis dos poços, em uma dada região, indicam o comportamento do lençol freático quanto à direção geral de seu fluxo (Leinz & Leonardos, 1970).

A medida do nível da água (nível estático) pode ser realizada através de uma sonda elétrica, constituída de um eletrodo suspenso por um par de fios metálicos isolados e de um amperômetro, que indica o fechamento do circuito e a passagem da corrente quando o eletrodo toca a superfície da água. Também, pode-se realizar esta medida através de uma trena de aço (Yassuda et al., 1965).

### 2.9.3 Superfície potenciométrica ou lençol freático

Os níveis de água nos poços que penetram um aquífero freático sob condições de fluxo horizontal serão iguais ao nível do lençol freático em torno desses poços. Quando esses níveis

são unidos, fica definido um plano, chamado lençol freático ou superfície potenciométrica<sup>5</sup>. Essa superfície móvel descreve não somente o potencial total da água, mas é literalmente o contorno físico do lençol freático (Cleary, 1989).

A superfície potenciométrica indica a direção do fluxo da água subterrânea e, é estabelecida através da diferença entre a cota do terreno, medido na “boca” do poço, e o nível estático do mesmo. Assim, a superfície potenciométrica é o valor da coluna de água no poço em relação a um datum.

Desta forma, a superfície potenciométrica indica pontos equipotenciais, traçando-se perpendicularmente a essas, a linha de fluxo subterrâneo sob ação da gravidade e de parâmetros hidrodinâmicos das rochas (Moreira, 2005).

Heath (1983) denomina superfície freática, o nível na zona saturada no qual a pressão hidráulica é igual à pressão atmosférica e está representada pelo nível da água em poços sem uso. Abaixo da superfície freática, a pressão hidráulica aumenta com o aumento da profundidade.

#### 2.9.4 Movimento da água subterrânea e topografia

Em muitas áreas há uma relação direta entre a forma topográfica e o movimento da água subterrânea. Nesse sentido, segundo Heath (1983), em muitas áreas, conclusões gerais, mas muito valiosas sobre o sentido do movimento da água subterrânea podem ser derivadas de observações da superfície topográfica.

A gravidade é a força dominante no movimento da água subterrânea. Sob condições naturais, a água subterrânea move-se “ladeira abaixo”, até que no curso do fluxo, atinja a superfície topográfica como uma fonte ou através de descarga ao longo das margens ou fundos de um canal fluvial.

Temos assim, que a superfície freática é usualmente uma réplica da superfície topográfica.

---

<sup>5</sup> Segundo Cleary (1989), o termo “superfície potenciométrica” pode ser usado para aquíferos confinados e freáticos (livres).

## 2.10 Recarga de aquíferos

A recarga das águas subterrâneas é definida como o fluxo de água que alcança o aquífero, constituindo uma adição ao reservatório de água subterrânea.

Segundo Paralta et al. (2003), a recarga é a quantidade de água que em determinado tempo entra na zona saturada (aquífero), preferencialmente a partir da percolação vertical proveniente da zona vadosa, mas também do escoamento lateral a partir das fronteiras do sistema. Ainda pode ser conceituada como um processo de movimento de água que atinge a zona saturada sob forças gravitacionais, ou em uma direção específica por condicionamento hidráulico.

De Vries & Simmers (2002), classificaram os mecanismos de recarga em três tipos, dependendo da fonte:

- **Recarga direta:** é um processo que acontece abaixo do ponto de impacto da precipitação por movimento vertical através da zona não-saturada. A recarga direta pode ser definida como a parcela da precipitação que vence a zona não-saturada e soma-se à reserva subterrânea;

- **Recarga indireta:** descreve os processos em que a recarga ocorre por características introduzidas pela urbanização, assim como por rios e depressões de superfícies topográficas (reservatórios, lagos etc.);

- **Recarga localizada:** é um processo pontual de recarga, em que a água move-se em curtas distâncias lateralmente antes da infiltração.

Balek (1988), levando em consideração o fator tempo, identificou quatro tipos de recarga:

- **Recarga curta:** que ocorre após grandes eventos de chuva;
- **Recarga sazonal:** que ocorre durante o degelo em regiões de clima temperado ou em períodos chuvosos em regiões com estações secas e chuvosas bem definidas;

- **Recarga perene:** que ocorre nos trópicos úmidos onde existe um fluxo contínuo de água;

- **Recarga histórica:** aquela que ocorreu há longo tempo atrás e que foi responsável pela formação dos recursos hídricos subterrâneos existentes.

### 2.10.1 Precipitação

A precipitação é entendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. As precipitações representam o elo entre os fenômenos meteorológicos, propriamente ditos e, o escoamento superficial e subterrâneo.

Existem várias possibilidades de medir a precipitação. A mais comum é a utilização de pluviômetros e pluviógrafos. Também podem ser feitas medidas de precipitação através de radares meteorológicos ou imagens de satélite, mas erros associados a esses métodos, quando se deseja a quantificação exata, ainda são relativamente grandes (Santos et al., 2001).

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada por um anel metálico e de um reservatório para armazenar a água recolhida, ligado a essa área de captação. Os pluviógrafos são aparelhos capazes de registrar continuamente de forma analógica ou digital a precipitação local. São usados quando se pretende medir chuvas em pequenos intervalos de tempo (Santos et al., 2001).

### 2.10.2 Relação entre a precipitação e a recarga

A fonte primária de recarga natural para a maioria dos aquíferos é a precipitação pluviométrica. Contin Neto (1987) verificou uma forte correlação entre a precipitação e a recarga no período chuvoso (100 dias) em uma bacia hidrográfica no município de Brotas/ SP. Nesse período houve um intervalo máximo sem chuvas de três dias. Segundo os seus estudos a correlação neste período foi de 0,99. A alta correlação atribuída deve-se à influência do aumento da umidade na região não-saturada. Isso favorece a ligação entre a água precipitada que infiltra e a superfície do aquífero, que responde mais rapidamente à precipitação.

## 2.11 Condutividade hidráulica de solos

A permeabilidade e o coeficiente de condutividade hidráulica são medidas da habilidade do solo em transportar fluido. No entanto, a condutividade hidráulica é também

função das propriedades do fluido em consideração. Apesar de ambos os termos serem usados indiscriminadamente, condutividade hidráulica é tecnicamente um termo mais apropriado (Guiguer, 2000). Ainda, segundo Cleary (1989), embora a condutividade hidráulica seja algumas vezes chamada de permeabilidade, muitos hidrogeólogos usam condutividade hidráulica para evitar a confusão com a permeabilidade intrínseca.

A principal propriedade do solo que controla o processo de infiltração é a condutividade hidráulica ( $k$ ). A condutividade hidráulica é relacionada à quantidade de líquido que se desloca nos vazios do solo, sendo um dos fatores que intervêm no transporte de substâncias em solos.

A determinação da condutividade hidráulica é baseada na lei experimental do engenheiro francês Henry Darcy, que no ano de 1856, verificou que a vazão da água é expressa pela Equação 2.3:

$$Q = K.A.\frac{H}{L} \quad (2.3)$$

A definição da condutividade hidráulica e o estudo na prática partiram da observação do fluxo d'água em uma amostra de solo de comprimento "L", com seção transversal "A". A Figura 2.11 mostra o Modelo experimental de Darcy:

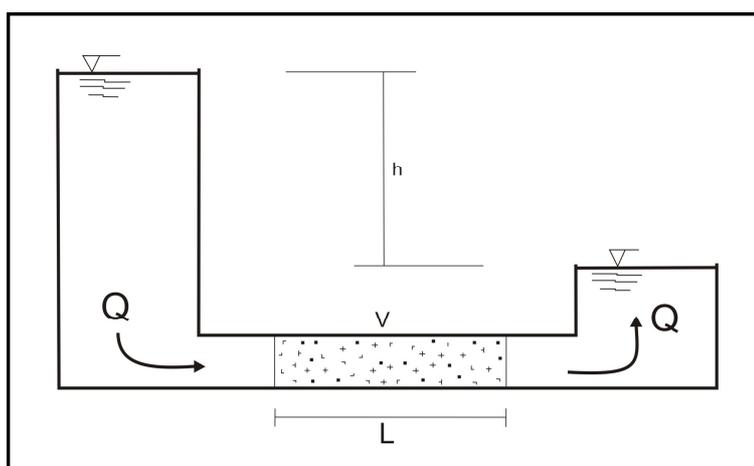


Figura 2.11 – Modelo experimental de Darcy.  
Fonte: Modificado de Pinto (2005).

Observa-se que a água percola a amostra devido à diferença de carga “h” entre os dois reservatórios. Os resultados indicaram que a velocidade de percolação ( $v=Q/A$ ) é proporcional ao gradiente hidráulico ( $i=h/L$ ).

O coeficiente de condutividade hidráulica da lei de Darcy depende das propriedades dos poros do solo e também das propriedades do fluido permanente. Devido à dependência do arranjo poroso do solo, a condutividade hidráulica varia de solo para solo e, para um mesmo solo, com a sua porosidade e grau de compactação. Assim, em um dado perfil de solo, a condutividade hidráulica varia de horizonte para horizonte (Cauduro & Dorfman, 1986).

A Tabela 2.1 ilustra os valores típicos do coeficiente de permeabilidade (médios) em função dos materiais (solos arenosos e argilosos). São considerados solos permeáveis, aqueles que apresentam permeabilidade superior a  $10^{-7}$  m/s. Os demais solos são impermeáveis (Souza Pinto, 2002).

Tabela 2.1 – Valores típicos do coeficiente de permeabilidade

	<i>Permeabilidade</i>	<i>Tipo de solo</i>	<i>K (m/s)</i>
<b>Solos Permeáveis</b>	Alta	Pedregulhos	$>10^{-3}$
	Alta	Areias	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
	Baixa	Siltes e argilas	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
<b>Solos Impermeáveis</b>	Muito baixa	Argila	$10^{-7}$ a $10^{-9}$
	Baixíssima	Argila	$<10^{-9}$

Para Cabral (1997), a condutividade hidráulica depende das características do meio poroso (porosidade, tamanho, arranjo e distribuição das partículas) e das propriedades do fluido (um fluido viscoso terá no meio poroso, velocidade diferente da velocidade da água que tem baixa viscosidade).

Segundo Cleary (1989), na maioria dos estudos de água subterrânea, a água é o fluido de interesse, mas nos estudos de contaminação envolvendo produtos químicos puros, a condutividade hidráulica pode ser significativamente diferente de um valor tabulado para a água. A quantidade de água presente no solo e as características e concentrações dos constituintes nos hidrocarbonetos podem influenciar significativamente o comportamento dos combustíveis líquidos no solo. Por exemplo, um solo próximo da superfície que tenha uma quantidade baixa de umidade e um conteúdo elevado de material orgânico, tende a reter os

constituintes de peso molecular maior num vazamento de hidrocarbonetos. Segundo Cabral (1997), a adsorção de hidrocarbonetos em materiais do solo aumenta com um declínio de umidade e um aumento de conteúdo orgânico.

#### 2.11.1 Ensaios de campo para a determinação da condutividade hidráulica de solos

Segundo Cauduro & Dorfman (1986), a condutividade hidráulica pode ser determinada diretamente no campo ou no laboratório em amostras de solo inalteradas (com sua estrutura natural). Em ambos os casos, os métodos de medida baseiam-se no mesmo princípio: impõem-se certas condições ao fluxo da água através de um volume de solo e mede-se a descarga ou a densidade do fluxo. A condutividade hidráulica é calculada mediante fórmulas que descrevem a relação existente entre  $K$ , as condições de fluxo e a descarga.

De acordo com Cauduro & Dorfman (1986), nas determinações de condutividade hidráulica no campo, o volume de solo afetado pela medida é maior do que as determinações em laboratório. Em razão desse fato, os resultados obtidos com os métodos de campo são geralmente mais exatos do que os obtidos em laboratório.

Traz-se aqui, apenas a revisão teórica sobre os ensaios de campo, tendo em vista que se utilizou somente esse tipo de ensaio para a determinação da condutividade hidráulica na área de estudo. Serão revisados com detalhe os ensaios que foram utilizados na presente dissertação.

##### 2.11.1.1 Ensaios com piezômetro

Os ensaios para determinação da condutividade hidráulica com piezômetros têm como principal vantagem a sua simplicidade e rápida execução. Conforme Tavenas et al. (1986), existem dois tipos de piezômetros: piezômetro cravado, formado de uma ponteira metálica e um elemento poroso ligado a um tubo de água e, o piezômetro escavado, que por ter sido utilizado neste trabalho será melhor descrito a seguir.

A execução de um ensaio de condutividade hidráulica com piezômetro escavado requer basicamente: (a) tubos de PVC com diâmetro de 32 a 40 mm, visando permitir o

aumento do comprimento do tubo de suporte, até atingir-se a profundidade de ensaio (cada extensão é realizada por meio de conexões rosqueadas e vedadas), (b) bentonita para a execução do selo, (c) areia para a execução do filtro (este é construído com areia de granulometria grossa; recomenda-se que seja usada uma camada adicional de alguns centímetros de areia fina sobre a camada de areia grossa, para evitar que a bentonita provoque colmatação do filtro), (d) bureta graduada para a medição do volume de água infiltrada, (e) trados e hastes para a execução do furo de sondagem (Pinto, 2005). A Figura 2.12 ilustra o esquema do ensaio de condutividade hidráulica com piezômetro escavado.

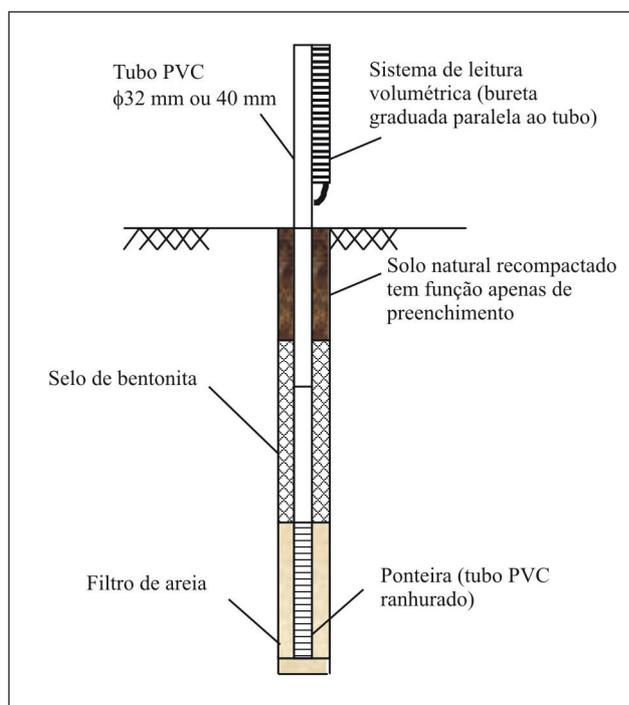


Figura 2.12 - Ensaio de  $k$  com piezômetro escavado.  
Fonte: Modificado de Carvalho et al. (2006).

A equação básica para a determinação do coeficiente de condutividade hidráulica a partir de resultados de ensaios com piezômetro foi apresentada por Hvorslev (1951) apud Bortoli (1999). Esta equação requer o conhecimento da relação entre a carga hidráulica aplicada no interior do furo e a vazão medida durante o ensaio, além do fator de forma da ponteira. Esse fator de forma “ $F$ ” é uma função da geometria do piezômetro e do tipo de ensaio (com aplicação de carga hidráulica constante ou variável). A equação supõe que o solo seja homogêneo e isotrópico. Para uma vazão “ $Q$ ” (estabilizada) no piezômetro, sob uma

carga hidráulica constante “H”, Hvorslev (1951) apud Bortoli (1999) propôs a utilização da Equação 2.4:

$$k_{fs} = \frac{Q}{FH} \quad (2.4)$$

Para ensaio realizado com carga hidráulica variável, Hvorslev (1951) apresenta a Equação 2.5:

$$k = \frac{d^2 \left[ \ln \left( \frac{H_1}{H_2} \right) \right]}{F(t_2 - t_1)} \quad (2.5)$$

Onde:

d = diâmetro do tubo;

H<sub>1</sub> e H<sub>2</sub> = cargas hidráulicas nos tempos t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub> e;

F = fator de forma.

O fator de forma “F” tornou-se objeto de discussões na literatura geotécnica, sendo que vários autores (Hvorslev, 1951, Wilkinson, 1968, Brandt e Premchitt, 1980) segundo Bortoli (1999), propuseram formulações para a sua obtenção. Na Equação 2.6 foi introduzido o parâmetro “m” que quantifica as diferenças entre as diversas modificações propostas para o fator “F”.

$$F = \frac{2m\pi L}{\ln \left[ \frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{mL}{D} \right)^2} \right]} \quad (2.6)$$

Onde:

L = altura do filtro granular e;

D = diâmetro do filtro granular.

As equações desenvolvidas por Hvorslev para interpretação de ensaios com piezômetros correspondiam à condição de solo abaixo do nível d'água.

A utilização para o solo não saturado foi sugerida por Daniel (1989), considerando “H” como a diferença de altura entre o nível d'água dentro do piezômetro e a metade da altura do filtro. Além disto, não se considerou a influência da sucção do solo no gradiente hidráulico.

Para os ensaios contidos na presente dissertação, foi utilizado o parâmetro  $m = 1$ , proposto por Hvorslev (1951) apud Pinto (2005), nos cálculos com piezômetro escavado.

Muitos ensaios de condutividade hidráulica com piezômetros já foram realizados na região de Santa Maria, entre eles, cita-se Pinheiro (2004), Pinto (2005) e Rauber (2008).

Em seu trabalho, Rauber (2008), apresenta 20 ensaios de condutividade hidráulica *in situ* com a técnica do piezômetro escavado em várias unidades geotécnicas do município de Santa Maria.

#### 2.11.1.2 Ensaio de infiltração

Ensaio de infiltração para determinação da permeabilidade do solo têm sido utilizados com frequência em obras civis. Aterros sanitários, postos de combustíveis, indústrias e loteamentos são alguns dos exemplos de sua utilização.

O boletim da ABGE, de 04 de junho de 1996, apresenta a obtenção do valor de  $k$  (coeficiente de permeabilidade) por meio de ensaio de infiltração.

Esse ensaio também foi utilizado no presente trabalho e, consiste em encher o poço até a “boca”, tomando-se este instante como tempo zero. O nível da água no poço deve ser mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada, medindo-se o volume de água introduzido durante certo intervalo de tempo (vazão).

A Figura 2.13 ilustra o esquema do ensaio de infiltração segundo a ABGE (2006).

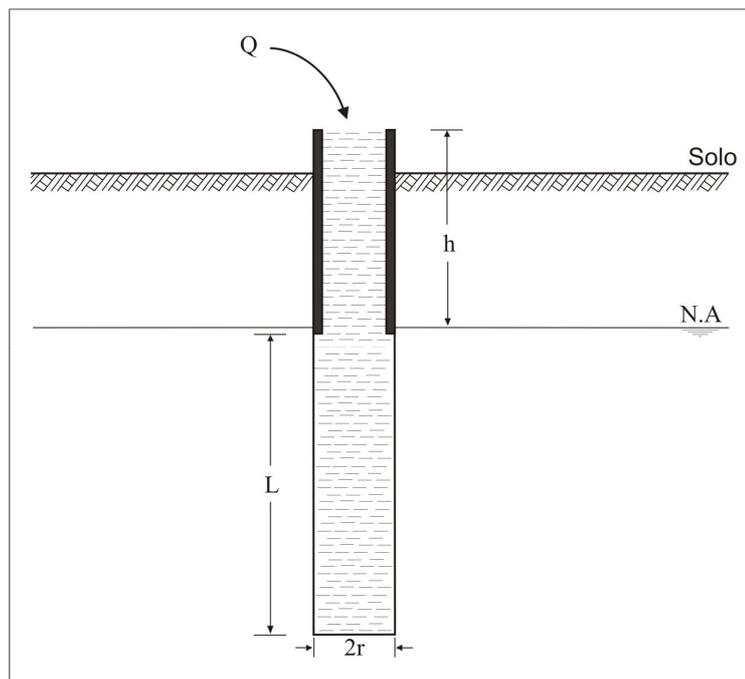


Figura 2.13 - Esquema do ensaio de infiltração.  
Fonte: Modificado de ABGE (1996).

Para a determinação do coeficiente de condutividade hidráulica por meio do ensaio de infiltração, utiliza-se a Equação 2.7:

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{C_s \cdot r} \quad (2.7)$$

Onde:

$h$  = altura inicial do nível da água (nível estático);

$Q$  = vazão infiltrada no poço;

$C_s$  = coeficiente de condutividade de meios saturados (relação  $L/r$  obtida diretamente no ábaco de determinação do coeficiente de condutividade hidráulica, onde  $L$  = comprimento do filtro do poço ou trecho ensaiado);

$r$  = raio do poço.

É aconselhável a elaboração de um gráfico onde seja lançado na abscissa o tempo, e na ordenada o volume acumulado ou vazão. Tal gráfico possibilita a observação da estabilização da vazão, que é caracterizada por uma reta. Essa é a vazão que será utilizada no cálculo da permeabilidade (vazão constante).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento da presente dissertação, foram realizados estudos de escritório, trabalhos de campo e de laboratório. Apresentam-se neste capítulo conceitos básicos e descrições dos métodos e das técnicas usadas nos referidos estudos e trabalhos.

#### **3.1 Estudo de escritório**

O estudo de escritório baseou-se, em uma revisão da literatura sobre os temas estudados. Assim, buscaram-se referenciais teóricos relacionados à temática das águas subterrâneas, principalmente no que se refere: monitoramento hidrogeológico, amostragem de poços de monitoramento, parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos das águas subterrâneas, análise estatística de dados, descrições de ensaios de condutividade hidráulica e caracterização de solos.

Nessa fase, também, procurou-se localizar e caracterizar a área de estudo, por meio de mapas e descrições físicas do local em que se insere o empreendimento monitorado. Para isso, utilizaram-se os mapas, cartas e imagem de satélite citados a seguir:

- ✓ Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Carraro et al., 1974, Porto Alegre: Instituto de Geociências UFRGS, Escala 1:1000000;
- ✓ Carta Topográfica da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), Folha Camobi – SO – SH.22-V-C-IV/2-SO. Editado pela Diretoria do Serviço Geográfico, 1980, Escala 1/25.000;
- ✓ Mapa Geológico da Folha de Camobi. Gasperetto et al., 1988, Imprensa Universitária de Santa Maria, Escala 1:50.000;
- ✓ Carta de Unidades Geotécnicas de Santa Maria - RS. Maciel Filho, 1990, Imprensa Universitária de Santa Maria, Escala 1:25.000;

- ✓ Imagem de Satélite SPOT datada de 01/05/2007, adquirida por meio do software Google Earth Professional;
- ✓ Banco de Dados Atlas BR Spring (2008);
- ✓ Mapa dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Rio Grande do Sul com divisão municipal. SEMA, 2008.

Na etapa final, realizaram-se as análises dos resultados e discussão dos dados além das considerações finais e uma reflexão dos resultados. A redação do trabalho foi realizada com o auxílio do Programa *Microsoft Office Word* 2003.

## **3.2 Trabalho de campo**

### **3.2.1 Construção dos poços de monitoramento**

Sete poços de monitoramento foram construídos por uma empresa contratada, seguindo a Norma ABNT/NBR 13895/97.

Esses poços foram constituídos de um filtro, com a propriedade de impedir a penetração de algumas impurezas plásticas do poço. Esse filtro consiste em um tubo Geomecânico de diâmetro DN 100 mm, suficiente para introdução do amostrador e medição do nível d'água, com ranhuras de 5 mm até a profundidade de 6 m, preparado de acordo com a NBR 13604. No espaço anular entre o filtro e a parede de perfuração, foi colocado um pré-filtro, constituído de brita fina de basalto entre aproximadamente 5,60 m abaixo do nível do terreno até a sua base.

Externamente, os poços foram constituídos de uma proteção sanitária com a função de evitar que a água superficial contamine os poços por meio da infiltração pelo espaço anular. Essa proteção sanitária é um conjunto formado pelo selo sanitário (argamassa de cimento da extremidade superior do espaço anular) e pela laje de proteção (piso de cimento da extremidade superior do espaço anular com dimensões de 40 cm x 40 cm x 30 cm, construído com pequeno declive, ao redor da boca do poço).

Na extremidade superior do tubo (boca do poço), colocou-se um tampão removível com a finalidade de evitar a penetração de substâncias indesejáveis, que pudessem alterar o resultado das análises. O tubo de revestimento sobressaiu ao nível do terreno para evitar a

penetração de água superficial e de elementos estranhos no poço e foi envolvido por uma caixa de proteção em alvenaria, com uma tampa na parte superior para permitir o acesso ao poço. A Figura 3.1 ilustra o poço de monitoramento P1.



Figura 3.1 – Aspecto construtivo do poço de monitoramento P1.  
Fonte: Trabalho de campo (2008).

Observa-se na figura 3.1, a proteção sanitária e a caixa de proteção em alvenaria. Também, visualiza-se o tubo Geomecânico ranhurado de diâmetro DN 100 mm e a tampa metálica protetora.

### 3.2.2 Coleta e análise das amostras de água

As medições e as coletas de campo tiveram início em outubro de 2006 e estenderam-se até setembro de 2007, totalizando um ano de monitoramento. Essas coletas visaram obter os valores naturais (background) de alguns parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas no interior dos sete poços de monitoramento.

Mensalmente, foram mensurados os valores de oxigênio dissolvido (O.D.), temperatura da água, temperatura do ar, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (C.E.) e sólidos totais dissolvidos (STD). Para a estimativa dos STD, multiplicaram-se os valores de C.E., expresso em Msiemens/cm, pelo fator 0,65, conforme Feitosa & Manoel Filho (1997).

Antes da amostragem de cada poço de monitoramento, avaliava-se a temperatura do ar com auxílio de um termômetro manual. A temperatura da água e a concentração de O.D. foram avaliadas com a sonda Horiba D-55, com um cabo de 10 metros de extensão. As medições eram executadas do fundo para a superfície do poço de monitoramento, buscando-se evitar alterações de turbidez da água, sendo tomados os valores de metro em metro. A Figura 3.2, ilustra o momento da coleta dos parâmetros temperatura da água e O.D. com a sonda Horiba D-55.



Figura 3.2 – Medição dos parâmetros temperatura da água e O.D.  
Fonte: Trabalho de campo (2006).

Os valores de pH, também foram avaliados com a sonda Horiba D-55. Já a C.E., foi mensurada com o Condutivímetro Hanna HI 93000. Para as avaliações de pH e C.E., bombeava-se a água dos poços, com auxílio de uma bomba manual PVC de diâmetro  $\frac{1}{2}$  polegada e, acondicionava-se em frasco plástico onde eram introduzidos os eletrodos dos

equipamentos de mensuração. Semelhante à situação anterior, as medições eram realizadas de metro em metro, sendo que a bomba manual possuía canos plásticos em PVC com 6 metros de comprimento, divididos de metro em metro que eram rosqueados conforme a profundidade desejada para a coleta. Também, nesse processo avaliou-se visualmente a turbidez da água de metro em metro, no momento em que se realizava o bombeamento d'água para a amostragem.

O número de medições por poço variava conforme a altura da coluna d'água existente no dia do monitoramento. Salienta-se que os sete poços foram construídos com uma profundidade total de 6 m. Desta forma, foram realizadas no máximo seis medições em cada poço dos parâmetros avaliados.

A Figura 3.3A, ilustra a amostragem realizada com uma bomba manual PVC e, a Figura 3.3B, a medição dos parâmetros pH e C.E.

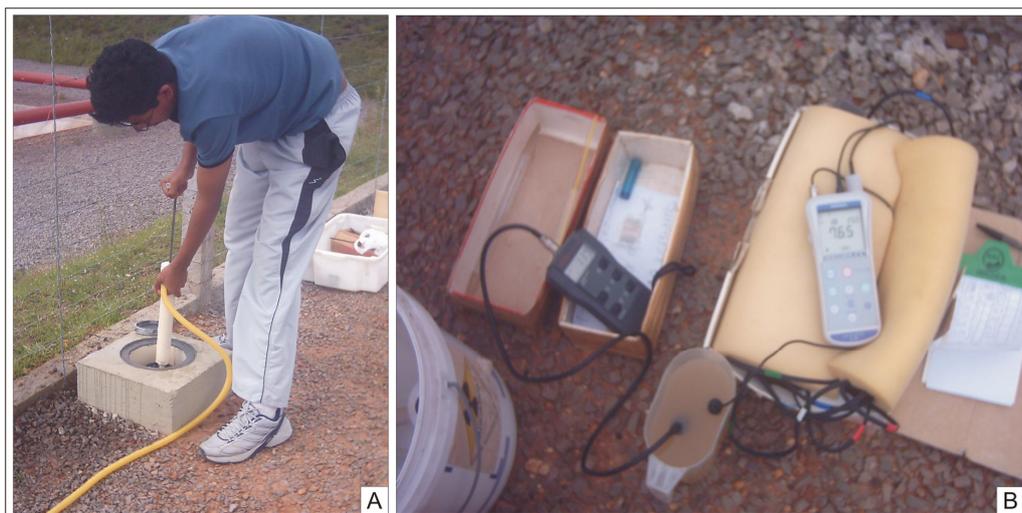


Figura 3.3 – Processos de amostragem (A) e medição dos parâmetros C.E. e pH (B).  
Fonte: Trabalho de campo (2006).

Salienta-se que os aparelhos que utilizavam eletrodos, foram calibrados trimestralmente com soluções padrões no Laboratório de Química Industrial e Ambiental (LAQIA/ UFSM). Ressalta-se também, que os mesmos eram lavados com solução de água destilada antes e após a realização de cada medição em campo.

Ao final de cada monitoramento era realizada a purga de todos os poços. Esse processo consistiu na remoção de toda a água estagnada, que em uma próxima coleta, não seria representativa da qualidade da água subterrânea local.

Desta forma, o processo de purga assegura que toda a água estagnada no poço e no pré-filtro seja substituída por água da formação. A operação deve permitir o rebaixamento do nível de água acima do topo do filtro para assegurar que a água se mova ascendentemente no mesmo.

A Figura 3.4 apresenta um resumo dos parâmetros físico-químicos estudados bem como os métodos de coleta e os equipamentos utilizados.

<i>Parâmetros</i>	<i>Unidade</i>	<i>Método de coleta</i>	<i>Equipamento</i>
Oxigênio Dissolvido (O.D.)	mg/L	Medido diretamente no poço de metro em metro	O.D. Meter Horiba D-55
Temperatura da água	°C	Medida diretamente no poço de metro em metro	Sonda Multiparâmetros Horiba D-55
Temperatura do ar	°C	Medida tomada na altura de 1m do solo no momento da coleta	Termômetro de mão de temperatura externa
Condutividade Elétrica (C.E.)	µS/cm	Coleta com bomba manual PVC de metro em metro	Condutivímetro Hanna HI 93000
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	mg/L	Coleta com bomba manual PVC de metro em metro	Estimado multiplicando-se o valor da C.E. (µS/cm) por 0,65
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	Coleta com bomba manual PVC de metro em metro	pH Meter Horiba D-55
Turbidez	visual	Coleta com bomba manual PVC de metro em metro	-

Figura 3.4 - Parâmetros físico-químicos estudados, métodos de coleta e equipamentos

### 3.2.3 Medições de níveis de água

Em cada mês de monitoramento, procurou-se medir o nível da água em todos os poços. Desta forma, objetivou-se estabelecer o fluxo local da água subterrânea bem como analisar o comportamento do lençol freático, mediante oscilações hidrometeorológicas durante o decorrer de um determinado período, buscando-se avaliar flutuações sazonais.

As medidas do nível de água foram realizadas manualmente por meio de uma trena metálica graduada, com escala em centímetro e, onde o nível estava muito abaixo do solo, impedindo o contato visual com a superfície da coluna d'água, utilizou-se o freatímetro

sonoro tipo Jaciri (medidor de nível). Utilizou-se um espelho para auxiliar na observação da lâmina d'água com amparo da luminosidade externa.

Essas medidas foram realizadas sempre em referência à “boca” do poço e anotadas em fichas próprias, sendo um método de leitura direta.

### 3.2.4 Trabalho topográfico

Realizou-se um levantamento topográfico planialtimétrico cadastral, obtendo-se a cota da “boca” dos sete poços de monitoramento em relação ao terreno onde está inserido o empreendimento. Esse levantamento topográfico das cotas altimétricas foi executado pela empresa TOPOGRAPHIA e Planejamento Rural S/S Ltda.

Por meio da determinação das cotas topográficas, foi possível calcular as cargas hidráulicas, utilizando-se os dados referentes aos níveis d'água medidos nos poços. Esse levantamento topográfico das cotas altimétricas dos poços foi necessário, pois a área de estudo possui pouca extensão territorial. Nesses casos, a exatidão dos dados topográficos tem grande influência nos resultados da carga hidráulica e, conseqüentemente nos modelos de fluxo subterrâneo.

Portanto, em estudos de fluxo local de água subterrânea em áreas pouco extensas, não se aconselha o uso de Global Position System (GPS) de baixa precisão, tendo em vista que estes aparelhos de mão possuem uma margem de erro em torno de 15 m na altitude.

### 3.2.5 Medidas de precipitação

As precipitações pluviométricas foram consideradas, buscando-se subsidiar a identificação de variações do nível de água nos poços.

As medidas de precipitação foram obtidas por meio da Estação Meteorológica da Base Aérea de Santa Maria (BASM), necessitando-se encaminhar um ofício ao seu comandante, visto que as informações solicitadas eram de uso privado. Também, obtiveram-se os dados de precipitação da estação meteorológica da UFSM.

### 3.2.6 Ensaio com piezômetro para a determinação da condutividade hidráulica ( $K$ )

Os ensaios realizados diretamente em campo (*in situ*) têm como objetivo determinar a condutividade hidráulica dos solos naturais, onde é mantida sua estrutura intacta. Cita-se como principal vantagem, a capacidade de envolverem uma massa de solo muito maior, considerando-se assim, a heterogeneidade e a anisotropia do meio. Evitam-se, desta forma, os problemas na retirada de amostras indeformadas e a dificuldade de amostragem para solos arenosos (Pinheiro, 2002).

Foi realizado um ensaio com piezômetro escavado de carga variável próximo à área do empreendimento, distando cerca de 80 m a Oeste da bacia dos tanques de combustíveis (coordenadas UTM 239090m E e 6711296m N). Esse ensaio foi realizado a uma profundidade de 1,05 m, atingindo os Depósitos de Terraço Fluvial.

O ensaio utilizando a técnica de piezômetro teve início com a execução de um furo de sondagem a trado com diâmetro aproximado de 65 mm (D). O solo foi perfurado até atingir-se a profundidade desejada para o ensaio (Figura 3.5A). Em seguida, colocou-se uma camada de filtro granular com a função de regularizar o fundo da perfuração. Colocou-se, então, o tubo de PVC de 30 mm de diâmetro dentro deste furo, apoiando-se sobre a camada de filtro granular colocada anteriormente. A extensão do PVC que fica em contato com o filtro é ranhurada de 2 em 2 cm (pequenos cortes para percolação da água). Preencheu-se a folga entre a parede do furo e o trecho ranhurado com um filtro granular, normalmente de areia média (Figura 3.5B). O comprimento do filtro é ligeiramente maior do que o comprimento da ponteira ranhurada. Com o filtro montado, executou-se o selo de bentonita (Figura 3.5C). A execução do filtro de areia continuou com o preenchimento do espaço entre as paredes do furo de sondagem e o tubo do piezômetro, com areia de granulometria grossa.

O ensaio de condutividade hidráulica foi realizado quando a expansão da bentonita foi completada, garantindo o selamento perfeito. Uma bureta graduada (diâmetro de 15 mm) foi conectada no tubo acima da superfície do solo (Figura 3.5D), para o auxílio na leitura da água que infiltrou no solo, em intervalos de tempo iguais para que fossem realizados os cálculos do coeficiente  $k$  “*in situ*”.

O ensaio consiste na medição do tempo de infiltração da água no solo, por um volume de água conhecido, mantendo-se a carga hidráulica constante no interior do furo (ensaio de carga constante), ou medindo o tempo necessário para que a carga hidráulica desloque-se de uma altura  $H_1$  para um nível inferior  $H_2$  (ensaio de carga variável). Foram realizadas cinco

repetições e, posteriormente foi realizada a média dessas repetições. Salienta-se que para o cálculo da condutividade hidráulica foi adotado a equação 2.5 (carga variável) e fator de forma (F) equação 2.6 (Capítulo II). A Figura 3.6, ilustra o piezômetro instalado no campo.

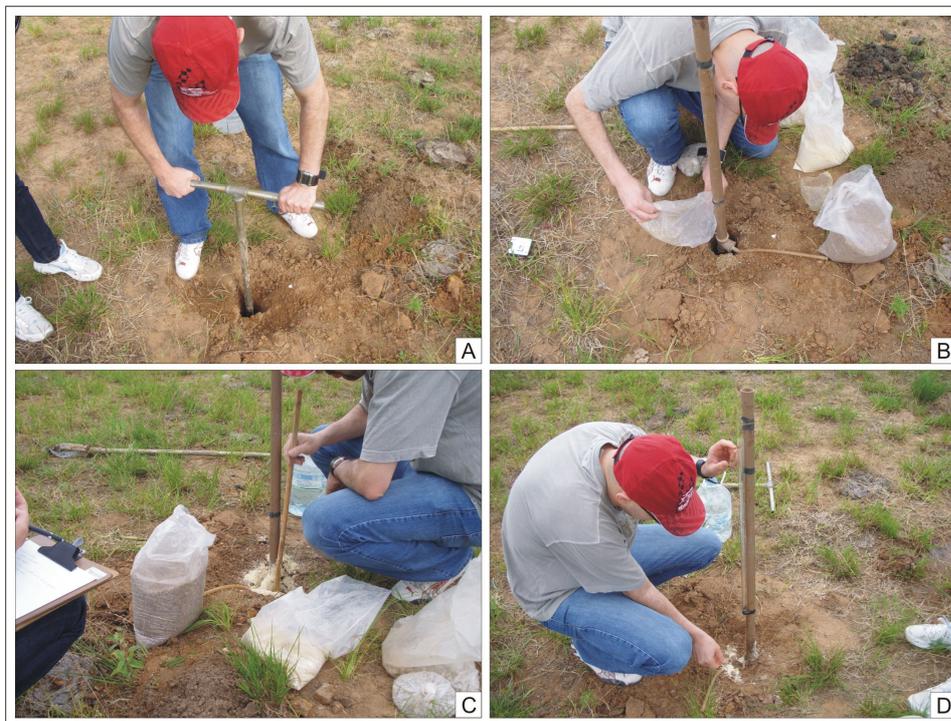


Figura 3.5 – Etapas da execução do ensaio de  $k$  com piezômetro escavado.  
Fonte: Trabalho de campo (2008).



Figura 3.6 – Piezômetro instalado no campo.  
Fonte: Trabalho de campo (2008).

Procurou-se também, realizar um ensaio de condutividade hidráulica com piezômetro escavado na Formação Santa Maria Membro Alemoa. Assim, próximo ao local do primeiro ensaio, executou-se um furo de sondagem a trado para atingir a camada desejada. Nessa perfuração, atingiu-se a profundidade de 3 m e, surpreendentemente ainda não se havia alcançado o Membro Alemoa da Formação Santa Maria. Como o trado utilizado não possuía mais hastes para aprofundamento do furo, interrompeu-se a perfuração. Também, outro fato que impossibilitaria a realização do ensaio, foi o surgimento do lençol freático um pouco antes dos 3 m de profundidade. Dessa forma, mesmo que se atingisse a camada desejada, não seria possível a realização do ensaio de condutividade hidráulica com a utilização da técnica do piezômetro escavado.

### 3.2.7 Ensaio de infiltração para determinação da permeabilidade

Além do ensaio com piezômetro escavado, realizado diretamente na camada de solo desejada (Formação Terraços Fluviais), realizaram-se ensaios de infiltração para determinação do coeficiente de condutividade hidráulica. Esses ensaios foram executados diretamente nos poços de monitoramento e permitiram uma avaliação da permeabilidade média das camadas ao redor do filtro. Os ensaios foram realizados segundo orientações contidas no boletim da ABGE de 04 de junho de 1996 - Ensaio de Permeabilidade em Solos: orientações para sua execução no campo.

Em geral, a execução do ensaio de infiltração é muito simples e, consiste em se encher o poço até a “boca”, mantendo-se o nível constante e medindo-se o volume de água introduzido durante um intervalo de tempo. Foram realizados dois ensaios de infiltração nos poços de monitoramento P3 e P5.

Primeiramente, mediu-se com auxílio de uma trena metálica graduada, com 5 m de extensão, o nível estático em que se encontravam os poços de monitoramento (Figura 3.7A). Após, colocou-se água nos poços até que o nível atingisse a “boca” do poço, tomando-se este instante como tempo zero. Tomou-se o cuidado, para que o nível d’água no poço permanecesse sempre o mesmo, indicando que a quantidade de água que era colocada era a mesma que o solo estava absorvendo. Com auxílio de um cronômetro da marca Oregon Scientific, mediu-se o tempo necessário para manter o nível da água constante no poço,

utilizando-se para isso, uma quantidade conhecida de água, no caso 1 litro ou 0,001 m<sup>3</sup> (Figura 3.7B). Dessa maneira, pode-se calcular a vazão absorvida.

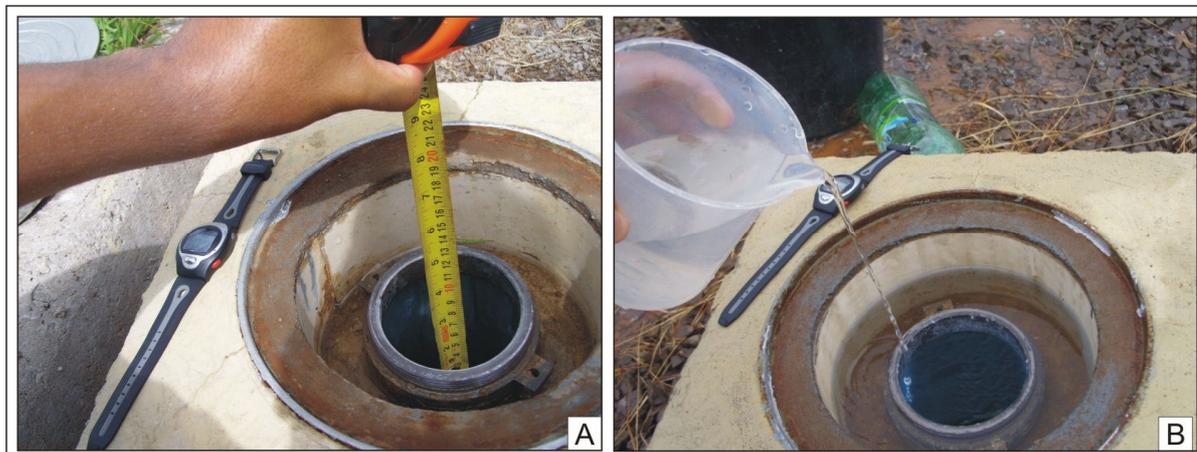


Figura 3.7 – Etapas para a realização do ensaio de infiltração diretamente no poço de monitoramento.

Foram realizadas em média cinco repetições para cada ensaio, posteriormente foi realizada a média das repetições. Para o cálculo da condutividade hidráulica foi adotado a equação 2.7 (vide Capítulo II).

### 3.2.8 Retirada de amostras e preparação dos solos

Foram realizadas duas coletas de amostras de solo para os ensaios de caracterização. Coletou-se uma amostra do depósito de Terraço Fluvial, com auxílio de um trado manual. Essa coleta foi realizada no momento da execução do furo de sondagem, para a realização do ensaio de condutividade hidráulica com piezômetro escavado, a uma profundidade de 1,05 m.

Também, fez-se a coleta de uma amostra da Formação Santa Maria Membro Alemoa. Essa coleta foi realizada dentro do empreendimento, cerca de 30 metros a Noroeste da bacia dos tanques de combustíveis, com auxílio de um trado mecânico, onde se executou um furo de sondagem até a profundidade de 2,50 m, conforme ilustra a Figura 3.8.



Figura 3.8 – Execução do furo com trado mecânico e coleta de material.  
Fonte: Trabalho de campo (2007).

Após a coleta, os solos foram colocados em sacos plásticos, imediatamente identificados e levados ao Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC/ UFSM). No laboratório, as amostras foram colocadas em bandejas metálicas e secas ao ar livre. A preparação para os ensaios seguiu rigorosamente a NBR 6457/86. As amostras de solo foram destorroadas com auxílio da mão de graal recoberta com borracha, em seguida passadas na peneira de abertura 25 mm e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados.

### 3.3 Trabalho de laboratório

#### 3.3.1 Análise estatística dos dados

No presente trabalho, procurou-se estabelecer os valores de “background” (valores naturais) das águas subterrâneas bem como avaliar possíveis variações mensais e/ou sazonais dos parâmetros estudados durante os 12 meses de monitoramento hidrogeológico (outubro de 2006 a setembro de 2007). Para avaliarem-se possíveis variações sazonais, realizou-se a divisão do período total de monitoramento em quatro estações do ano, divididas conforme a Figura 3.9.

Salienta-se que no Sul do país estas flutuações climatológicas são importantes e significativas.

<i>Estação do ano (início)</i>	<i>Data de coleta/monitoramento</i>
Primavera (23/09)	19/10/2006 – 29/11/2006 – 28/12/2006
Verão (21/12)	28/01/2007 – 28/02/2007 – 30/03/2007
Outono (20/03)	28/04/2007 – 31/05/2007 – 30/06/2007
Inverno (21/06)	30/07/2007 – 30/08/2007 – 30/09/2007

Figura 3.9 – Divisão do ano de monitoramento em quatro estações.

Para a distribuição dos dias de monitoramento nas quatro estações, consideraram-se os 30 dias anteriores a data de coleta. Assim, a data de coleta pertenceu à estação que englobou o maior número de dias. Como se trata de um monitoramento de parâmetros hidrogeológicos, deve-se considerar que os resultados coletados em uma data, referem-se a um período anterior maior, no caso, os 30 dias anteriores à coleta.

Salienta-se que as medidas dos parâmetros físico-químicos foram realizadas ao longo da coluna d'água dos poços, tomadas de metro em metro, sendo que para a análise estatística considerou-se a média desses valores em cada poço.

Os resultados numéricos foram submetidos, inicialmente, à estatística descritiva e, posteriormente, às análises estatísticas paramétricas. Correlações entre variáveis físicas e químicas foram determinadas por meio do coeficiente  $r$  de Pearson (Sokal & Rohlf, 1981). A Análise de Variância, Anova (Sokal & Rohlf, 1981), foi utilizada para avaliar existência de diferenças significativas entre os parâmetros nas quatro estações estudadas.

Antes de realizarem-se as análises estatísticas, os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de *Levene*.

Para a análise de correlação de Pearson ( $r$ ) entre os parâmetros estudados, considerou-se o nível de 1% e 5% de probabilidade de erro. Para a Análise de Variância (Anova), considerou-se o nível de 5% de probabilidade de erro, sendo utilizado o teste de *Tukey* para a separação dos contrastes de médias.

Todos os testes foram realizados com auxílio do software estatístico *SPSS® 13.0 for Windows* (2004).

### 3.3.2 Modelos tridimensionais de fluxo subterrâneo (mapa de superfície 3-D)

Elaboraram-se modelos tridimensionais de fluxo da água subterrânea (superfícies 3-D) da área para os quatro períodos sazonais estudados. Para tanto, utilizou-se os dados de superfície potenciométrica dos poços de monitoramento.

A superfície potenciométrica indica pontos equipotenciais. Perpendicularmente a esses pontos, traça-se a linha de fluxo subterrâneo. O fluxo dá-se no sentido do decréscimo do potencial, isto é, a água sempre se move de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial. A Figura 3.10 ilustra a linha de fluxo perpendicular às linhas equipotenciais. Esse conjunto de linhas, equipotenciais e de fluxo, é denominado redes de fluxo de águas subterrâneas (Heath, 1983).

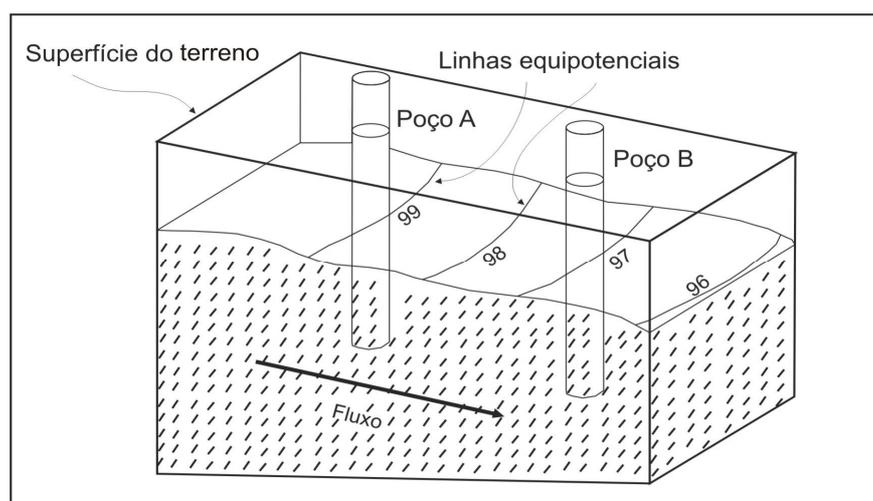


Figura 3.10 – Fluxo da água subterrânea em aquíferos.  
Fonte: Heath (1983).

A superfície potenciométrica foi estabelecida através da diferença entre a cota do terreno, medido na “boca” do poço, e o nível estático do mesmo, resultando-se dessa forma, no valor da coluna de água em relação a um *datum* comum a todos os poços. A cota altimétrica da “boca” dos poços foi obtida através de estudos topográficos realizados com Estação Total (Teodolito). A medida de nível estático foi obtida com o uso de trena metálica e/ou medidor de nível sonoro do tipo Jaciri. Também, obtiveram-se as coordenadas geográficas dos poços com uso de GPS Garmim Etrex, utilizando-se as coordenadas planas do sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), com opção do Datum SAD 69,

acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km respectivamente, com Meridiano Central 57°W de Greenwich.

Para a geração do mapa de superfície 3-D do fluxo da água subterrânea, num primeiro momento, tabularam-se as informações de superfície potenciométrica e de localização (coordenadas UTM) dos poços de monitoramento.

Esse banco de dados foi construído com auxílio de uma planilha do Programa *Microsoft Office Excel* 2003, sendo posteriormente levado ao Programa *SURFER* 8.0<sup>6</sup>, que com o uso do interpolador *krigagem* (Gridding Method Kriging), traçou as linhas equipotenciais bem como a direção preferencial do fluxo da água subterrânea, gerando um *vector map* (mapa de vetores). Foram testados alguns métodos de interpolação do *SURFER* 8.0, optando-se pela *krigagem* matemática, devido ao tipo de distribuição dos pontos (poços) a serem interpolados.

Em seguida, no Programa *SURFER* 8.0, construiu-se um *wireframe* (mapa de superfície 3-D) a partir da superfície do mapa de vetores. Por fim, utilizou-se a ferramenta “overlay maps”, para sobrepor os mapas de superfície 3-D e o mapa de vetores, resultando no modelo tridimensional de fluxo da água subterrânea. Após, exportou-se esse produto no formato “wmf” (Windows Picture) e, no Programa *Corel Draw* 12, realizou-se a edição final do mesmo.

### 3.3.3 Cartogramas de espacialização dos parâmetros físico-químicos

Os cartogramas de espacialização dos dados físico-químicos foram elaborados, utilizando-se os dados provenientes das coletas de trabalho de campo. Foram construídos cartogramas para as quatro estações estudadas (primavera, verão, outono e inverno). Fez-se a espacialização dos dados de O.D., temperatura da água, C.E., STD e pH.

Todos os cartogramas, independentemente dos dados espacializados, foram elaborados seguindo-se o mesmo processo. Dessa forma, fez-se a espacialização das informações com o programa computacional *SURFER* 8.0, o qual gerou cartogramas de isolinhas através do interpolador *krigagem*. Num primeiro momento, os dados a serem representados e sua

---

<sup>6</sup> *SURFER* 8.0 é um software de interpolação para gerar curvas de isovalores e superfícies, baseados em um “grid”, o qual é formado por uma malha regular de valores que são gerados pela interpolação dos dados amostrados em campo.

correspondente localização em coordenadas UTM, foram tabulados em um banco de dados em planilha do Programa *Microsoft Office Excel*. Para a espacialização de cada informação foi necessário elaborar três colunas de informações: coordenadas N/S, coordenadas L/O e o parâmetro a ser analisado.

No Programa *SURFER 8.0*, a partir das tabelas construídas anteriormente, gerou-se os cartogramas de espacialização dos parâmetros estudados. O próximo passo foi sobrepor os poços de monitoramento nos cartogramas de parâmetros, através da ferramenta “Post Map”. Nesse processo, selecionou-se o arquivo com os poços e os mesmos foram sobrepostos automaticamente.

Todos os cartogramas foram elaborados a partir da Projeção Universal de Mercator, (UTM) tendo como Datum Vertical Porto de Ibituba - Santa Catarina e Datum Horizontal SAD 69 - Minas Gerais, tendo origem de quilometragem UTM “Equador e Meridiano 51°WGR”, acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.

Por fim, os cartogramas gerados foram exportados no formato “wmf” (Windows Picture) e, editados no programa computacional *Corel Draw 12*.

### 3.3.4 Ensaio de caracterização de solos

Os seguintes ensaios de caracterização de solos, a partir de amostras deformadas, foram realizados em laboratório:

- ✓ Determinação do teor de umidade (NBR 6457/87);
- ✓ Peso específico real dos grãos (NBR 6508/84);
- ✓ Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação (NBR 7181/84);
- ✓ Limite de plasticidade (NBR 7180/84);
- ✓ Limite de liquidez (NBR 6459/84).

O teor de umidade foi obtido pela diferença de peso de amostra de solo antes e após a secagem em estufa com temperatura de 110°C, mantidas por no mínimo 24 horas ou até a obtenção da constância de peso. O ensaio de peso específico real dos sólidos foi executado com o procedimento de aquecimento e vácuo para a retirada de bolhas de ar. Os ensaios de granulometria por sedimentação foram executados com defloculante, sendo que as amostras foram preparadas 12 horas antes com 125 ml de solução de hexametáfosfato de sódio.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Apresentam-se neste capítulo a localização e a descrição de importantes características da área de estudo, considerando-se o município de Santa Maria e, o empreendimento potencialmente poluidor monitorado.

### 4.1 Localização e caracterização do município de Santa Maria/ RS

O município de Santa Maria localiza-se no centro do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas  $54^{\circ}07'00''$  e  $53^{\circ}31'00''$  de longitude Oeste e  $30^{\circ}31'00''$  e  $29^{\circ}32'54''$  de latitude Sul, conforme ilustra a Figura 4.1.

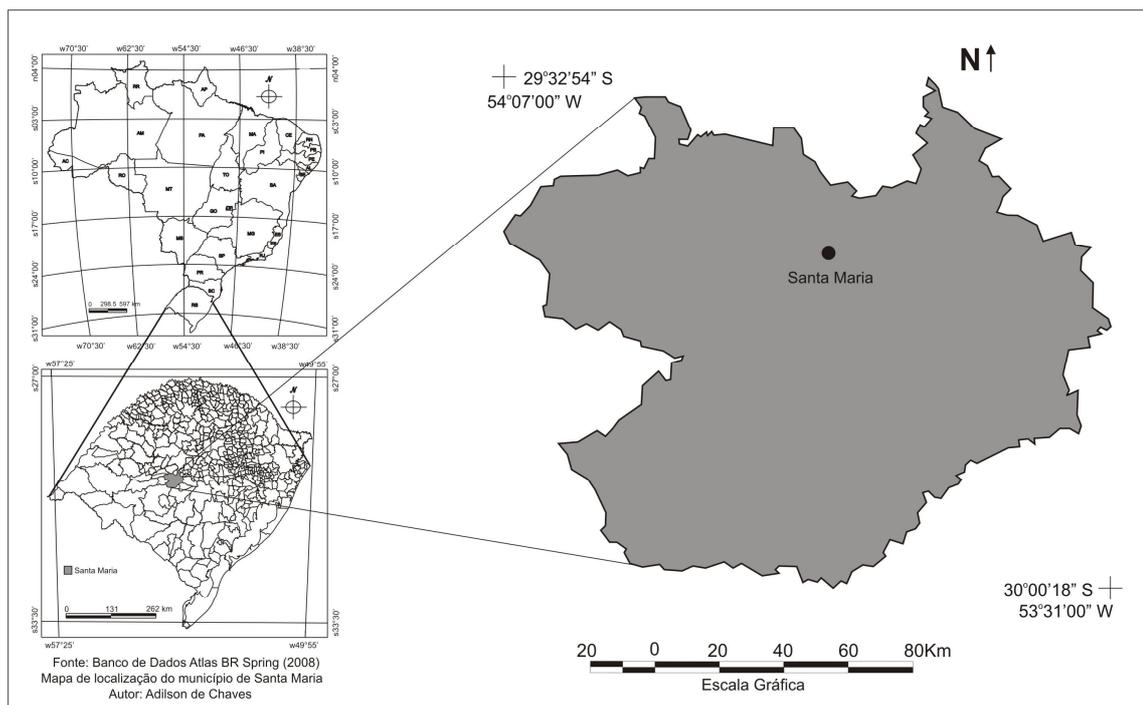


Figura 4.1 - Mapa de localização do Município de Santa Maria.  
 Fonte: Banco de Dados Atlas BR Spring (2008); Org.: Chaves, A. de. (2008).

O município abrange uma área total de 1.780 Km<sup>2</sup>, possuindo uma altitude média de 113 metros em relação ao nível do mar, situando-se a aproximadamente 290 Km da capital do estado Porto Alegre. Conforme IBGE (2007), o município possui uma população de 263.403 habitantes, sendo que 95% desta população encontram-se na zona urbana.

Devido a sua posição geográfica é um importante pólo de circulação de veículos de passeio e caminhões pesados. O município conta com uma frota de veículos da ordem de 80.965 (IBGE, 2007). O número de postos de combustíveis é da ordem de 78 empreendimentos (ANP, 2008), sendo que existem dois Terminais Transportadores – Revendedores - Retalhistas (TRR), abastecidos pela estrada de ferro da América Latina Logística/ALL. A partir dos TRRs, caminhões tanques redistribuem combustíveis para várias regiões do estado.

#### 4.1.1 Clima e vegetação

Quanto à classificação climática, segundo Köppen (1948), Santa Maria é enquadrado em um clima subtropical com verões quentes e invernos moderados, tipo Cfa, descrito como:

- C: temperado quente ou mesotermal, com temperaturas médias do mês mais frio entre -3°C e 18°C;
- f: indica ano sem estação seca, com precipitação média do mês mais frio, uma a três vezes superior a do mês mais quente;
- a: equivale a verões quentes, sendo a média do mês mais quente superior a 22°C.

Segundo Sartori (1979), tal clima apresenta temperaturas médias anuais em torno de 22°C, sendo que as temperaturas máximas e mínimas absolutas variam, no verão acima de 30°C e no inverno abaixo de 5°C, sendo muito comum a ocorrência de geada entre junho e agosto. A pluviosidade local é influenciada pelo relevo do Rebordo do Planalto, provocando o efeito orográfico direto sobre a cidade, que se traduz muitas vezes, na precipitação forçada pelo contato das Frentes com as áreas elevadas do Planalto. A precipitação pluviométrica média anual é de 1700 mm.

A vegetação da região é composta pela Floresta Estacional Decidual Subcaducifólia, no Rebordo do Planalto, e pelos Campos em áreas da Depressão Periférica. Ainda, encontram-se no município vegetação nativa ao longo de alguns cursos d'água, matas de eucaliptos e pinus plantados, matas galerias e vegetação galeria (Moreira & Costa, 1995).

#### 4.1.2 Hidrografia

A Lei 10.350/94 estabeleceu para cada bacia hidrográfica do estado, a formação de comitês de gerenciamento de bacias, sendo que para o Rio Grande do Sul foi determinada a criação de três Regiões Hidrográficas: Região Hidrográfica do Guaíba (G), Região Hidrográfica do Uruguai (U) e Região Hidrográfica do Litoral (L). Essas regiões foram subdivididas em bacias hidrográficas, totalizando 25 unidades, sendo que para cada uma está prevista a criação de um comitê de bacia. Nesse sentido, o município de Santa Maria pertence às Regiões Hidrográficas do Guaíba (G) e do Uruguai (U), fazendo parte de duas Bacias Hidrográficas, G60 - Vacacaí - Vacacaí - Mirim e U50 – Ibicuí, conforme ilustra Figura 4.2.



Figura 4.2 - Mapa dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Rio Grande do Sul, com a localização do município de Santa Maria nas bacias G60 e U50.

Fonte: Modificado de SEMA (2008).

De acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA, 2008), os Comitês de Gerenciamento G 60 - Vacacaí - Vacacaí - Mirim e U 50 - Ibicuí, já se encontram instalados.

Os mais importantes cursos de água na região de Santa Maria fazem parte das sub-bacias do Arroio Cadena, Vacacaí-Mirim, Arroio Arenal, Arroio Sarandi e Arroio Ferreira (Robaina et al., 2002).

#### 4.1.3 Geomorfologia e geologia

O município de Santa Maria situa-se na borda da Bacia do Paraná, na Depressão Central do Estado do RS (Carraro et al., 1974), constituída por rochas sedimentares clásticas de idade Permo-Triássicas, recortadas por sedimentos aluviais Quaternários e/ou com Depósitos de Terraços Fluviais, localizados na zona de transição para o Planalto da Serra Geral, que é constituído por rochas vulcânicas. Nessa faixa de afloramentos ocorrem morros testemunhos constituídos por rochas de composição diferenciada.

O relevo da região apresenta feições bem distintas. A primeira, a das planícies aluviais, modeladas em sedimentos quaternários, com uma topografia plana e sujeitas à inundação. A segunda corresponde às áreas das coxilhas, modeladas em rochas sedimentares Triássicas, constituídas por colinas alongadas, com uma topografia suavemente ondulada. As planícies aluviais e as coxilhas fazem parte da Depressão Central Gaúcha com declives suaves e amplitudes que variam entre 70 e 160 metros. A terceira feição é caracterizada pela transição da Depressão para o Planalto, que se dá através da Unidade Geomorfológica Serra Geral, onde são comuns declives superiores a 15%. Também, fazem parte desta unidade os morros testemunhos isolados na Depressão. As altitudes das encostas variam de 120 a 470 metros, sendo o substrato rochoso composto pelas Formações Caturrita, Botucatu e Serra Geral.

Com base na Carta Geotécnica de Santa Maria (Maciel Filho, 1990), as unidades estratigráficas que aparecem na área de estudo são as Formações Rosário do Sul, Santa Maria, Caturrita, Botucatu e Serra Geral.

Ao Sul da região de Santa Maria, se encontra a Formação Rosário do Sul, constituída predominantemente de arenitos finos a médios, com proporções variáveis de argila e silte. Logo acima desta formação, encontra-se a Formação Santa Maria, dividida em duas fácies ou

membros: o Passo das Tropas (inferior), constituído por arenitos grosseiros a médios, feldspáticos e poroso, com grãos de quartzo e argila, de origem fluvial e, o Alemoa (superior), constituído por uma seqüência de siltitos argilosos e arenitos argilosos estratificados. Após, encontra-se a Formação Caturrita, constituída por arenitos médios e finos, com estratificação cruzada acanalada e planar, intercalados com siltitos de ambiente fluvial.

Em seguida, tem-se a Formação Botucatu, constituída por arenitos médios a finos, com estratificação cruzada cuneiforme de grande porte de ambiente eólico. A Formação Serra Geral esta subdividida em duas seqüências de derrames de lavas - Básica inferior e Ácida superior. Os derrames básicos são formados por basaltos e andesitos toleíticos, com intercalações de arenitos eólicos (arenitos intertrapes) e os derrames ácidos por riólitos granofíricos e vitrófiros, com disjunção tabular dominante.

Ainda, ocorrem na área os Depósitos de Terraços Fluviais de idade Pleistocênica, formados por conglomerados, arenitos médios argilosos com estratificação cruzada e planar e siltitos arenosos de ambiente fluvial e os Sedimentos Atuais, de idade Recente, formados por cascalhos, areias, siltes e argilas fluviais, ambas as litologias da Era Cenozóica e Período Quaternário (Maciel Filho, 1990).

#### **4.2 Localização e caracterização do empreendimento potencialmente poluidor**

O empreendimento potencialmente poluidor monitorado (Transportador-Revendedor-Retalhista/ TRR Santa Lúcia) localiza-se no Município de Santa Maria/RS, no Bairro Camobi, mais especificamente no Km 240,60 (lado esquerdo no sentido Santa Maria - Porto Alegre) da rodovia RST-287 ou RS-509, próximo aos trilhos da América Latina Logística (ALL). Situa-se nas coordenadas UTM 239187m E e UTM 6711289m N, possuindo uma área total construída de aproximadamente 11.500 m<sup>2</sup>, conforme ilustra a Figura 4.3.

Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM/RS), o empreendimento insere-se na atividade de Base de Distribuição de Combustíveis, sendo considerado um empreendimento de potencial poluidor médio. O empreendimento obteve a Licença Prévia (L.P) em novembro de 2004, começando a ser implantado a partir da obtenção da Licença de Instalação (L.I) em agosto de 2006. A Licença de Operação (L.O) foi emitida em novembro de 2006. No entanto, o início do armazenamento de combustíveis nos tanques deu-se em fevereiro de 2007.

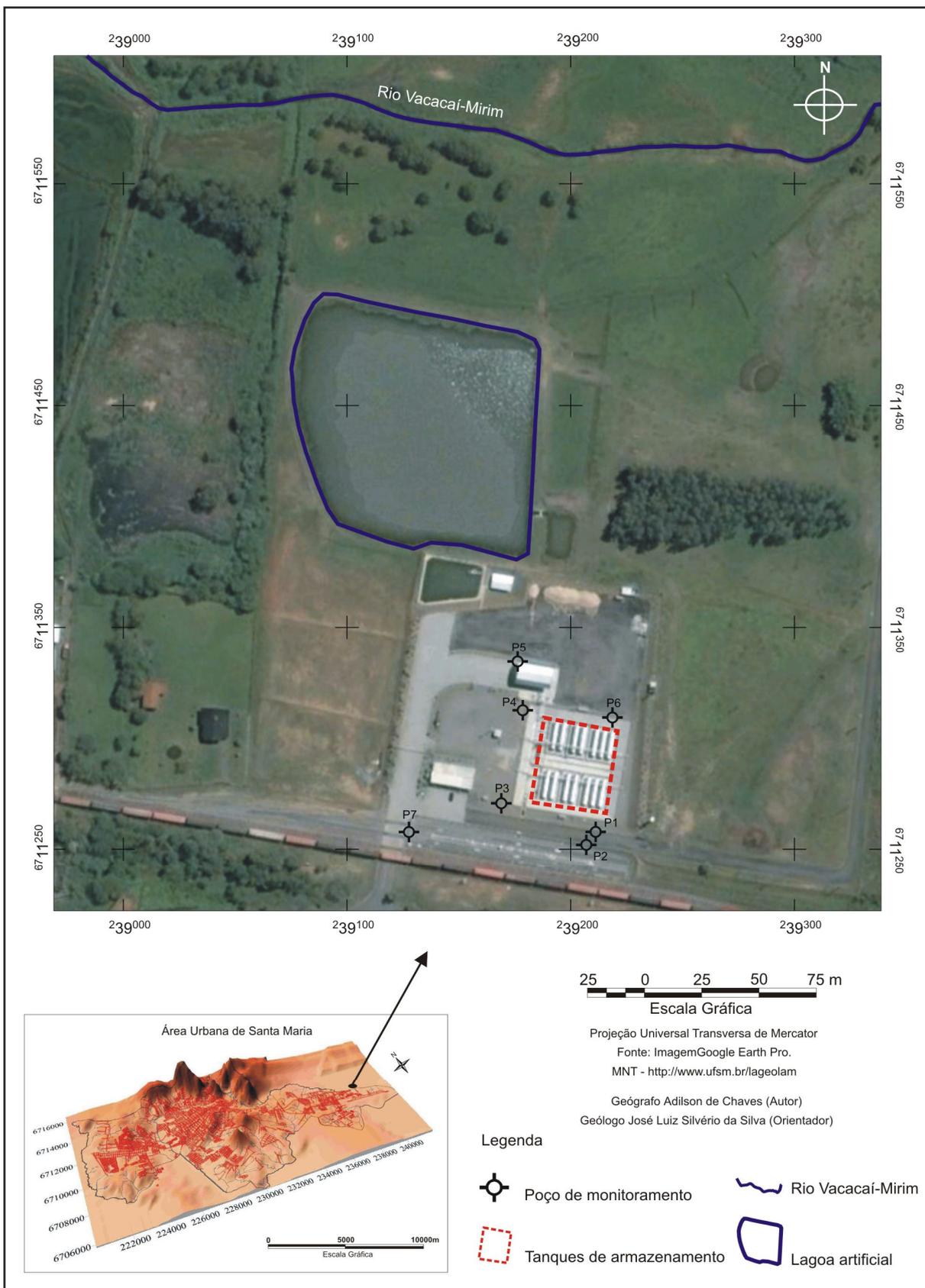


Figura 4.3 – Mapa de localização do empreendimento potencialmente poluidor, mostrando os poços de monitoramento e a bacia de tanques de armazenamento de combustíveis.  
 Fonte: Google Earth Professional.

O reservatório possui 14 tanques subaéreos de armazenamento de combustíveis com a capacidade de tancagem de 840 m<sup>3</sup>, sendo 2 tanques com álcool anidro (120 m<sup>3</sup>), 2 tanques com álcool hidratado (120 m<sup>3</sup>), 6 tanques com óleo diesel (360 m<sup>3</sup>) e 4 tanques com gasolina (240 m<sup>3</sup>).

Nesse empreendimento foram construídos sete poços de monitoramento, denominados respectivamente P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7, distribuídos em toda a área, de maneira a fechar o fluxo percorrido por um hipotético contaminante proveniente dos tanques de armazenamento. Esses poços podem ser vistos na Figura 4.3 e estão localizados conforme a Figura 4.4.

<b>Poço</b>	<b>Localização</b>
P1	Extremo Leste, próximo da estrada de ferro e do tanque 08 B - Diesel 2
P2	Extremo Leste, próximo da estrada de ferro e do tanque 08 B - Diesel 2
P3	Extremo Oeste, próximo do tanque 14 B - Gasolina 2
P4	Extremo Norte, próximo do tanque 01 - Bacia álcool hidratado
P5	Extremo Norte, próximo da área de abastecimento de caminhões tanques
P6	Extremo Leste, próximo do tanque 07 - Bacia de óleo Diesel 1
P7	Extremo Oeste, próximo da linha férrea e do acesso principal do reservatório

Figura 4.4 – Localização dos 7 poços de monitoramento no empreendimento.

As cotas do terreno obtidas com uso do *Global Position System* (GPS) Topográfico variam entre 99,50 e 100,53 metros de altitude em relação ao nível do mar, datum vertical Porto de Ibituba/ SC.

Os tanques de estocagem de combustíveis são subaéreos, construídos em uma bacia de contenção<sup>7</sup> com piso impermeável e drenagem encaminhada para caixa separadora de água - óleo, conforme a NBR 7505/2000. A Figura 4.5 ilustra parcialmente a área do empreendimento e a bacia de contenção com os tanques subaéreos de armazenamento de combustíveis.

<sup>7</sup> Área constituída por uma depressão, pela topografia do terreno ou ainda limitada por dique, destinada a conter eventuais vazamentos de produtos; a área interna da bacia deve possuir um coeficiente máximo de permeabilidade de 10<sup>-6</sup> cm/s, referenciado à água 20°C (NBR 7505/2000).

A área em estudo localiza-se nas proximidades da Planície Aluvial do Arroio Vacacaí - Mirim. Dessa forma, no tocante a geologia, a área situa-se sobre Depósitos de Terraços Fluviais pertencentes à Era Cenozóica, Período Quaternário de Idade Pleistocênica, onde afloram conglomerados, arenitos médios argilosos com estratificação cruzada e planar e também, siltitos arenosos de cores cinza-clara, rosa e amarela, de ambiente fluvial (Maciel Filho, 1990).



Figura 4.5 – Vista parcial do empreendimento e dos tanques subaéreos de armazenamento de combustíveis. Ao fundo Formação Serra Geral (tomada de Sul para Noroeste).  
Fonte: Chaves, A. de. (2008).

Os Terraços Fluviais formam um aquífero livre e irregular, apresentam sedimentos pouco consolidados, bastante argilosos de pequena espessura. Sua permeabilidade é média a baixa, sendo que as águas são de boa qualidade e o seu aproveitamento pode ser feito por poços escavados. Os Terraços Fluviais na área de estudo possuem uma espessura variável, vindo logo abaixo desta litologia, o Membro Alemoa da Formação Santa Maria, de composição silto-argilosos a argila-siltosa e coloração vermelha.

De acordo com Maciel Filho (1990) e Silvério da Silva (1997) os argilominerais das formações sedimentares Mesozóicas na região Central do Estado do Rio Grande do Sul, são de composição caolinítica, esmectitas (I-S) expansivas e illitas, essas duas últimas apresentando elevada Capacidade de Troca Catiônica/CTC.

A composição silto-argilosa funciona como um Aquiclude, sendo a condutividade hidráulica estimada entre  $10^{-8}$  a  $10^{-9}$  m/s (Chaves & Silvério da Silva, 2008). O terreno apresenta uma baixa permeabilidade e uma porosidade variável em função da interdigitação de camadas arenosas relacionadas à paleo planície aluvial. Também, apresenta uma textura variável, predominando siltosa (diâmetro entre 0,062 a 0,002 mm) e argilosa ( $< 0,002$ mm), que forma uma geometria irregular não contínua.

Foi executado um furo de sondagem com trado mecânico pela empresa Geocentro Geologia Engenharia e Estaqueamento Ltda., até a profundidade de 6m, entre os poços P3 e P6. A descrição do perfil geológico é apresentada na Figura 4.6:

<b>PERFIL GEOLÓGICO</b>		
<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Descrição do material</b>
0,00	0,95	Areia fina siltosa, cor variegada amarelo-creme; Terraços Fluviais; maciços, Aquífero livre, descontínuo
0,95	1,45	Silto-argiloso, cor rosa claro a rosa avermelhado; maciços, Formação Santa Maria Membro Alemoa; Aquiclude
1,45	2,50	Silto-argiloso, cor vermelho escuro; maciços, Formação Santa Maria Membro Alemoa; Aquiclude
2,50	2,90	Argila-siltosa, cor cinza claro; maciços, Formação Santa Maria Membro Alemoa; Aquiclude
2,90	6,00	Silte-argiloso, cor vermelho claro a escuro; maciços, Formação Santa Maria Membro Alemoa; Aquiclude

Figura 4.6 – Perfil geológico da área de estudo até a profundidade de 6 metros.  
Fonte: Geologia Engenharia e Estaqueamento Ltda., (Santa Maria, 2007).

Também foram realizados dois furos de sondagem com trado manual. Na perfuração realizada próximo ao poço P5, a espessura dos Depósitos de Terraços Fluviais foi de 2,50 m, vindo a partir desta profundidade o Membro Alemoa da Formação Santa Maria. Em outra perfuração realizada em uma área ao lado do empreendimento, distando aproximadamente 80 metros a Oeste da bacia dos tanques de armazenamento de combustíveis, o Terraço Fluvial superou os 3 metros de profundidade, sendo que a perfuração foi interrompida sem ter-se atingido o Membro Alemoa. Percebe-se assim, que na área de estudo existem consideráveis variações na espessura dos Depósitos de Terraços Fluviais. Essa espessura tende a aumentar com a proximidade da Planície Aluvial do Arroio Vacacaí – Mirim.

As litologias areno-siltosas, apresentam cores variegadas, alaranjadas, creme a avermelhadas, são pertencentes aos Terraços Fluviais que ocorrem na camada superficial, apresentam porosidade e permeabilidade variável em função de teores de argila. Já, os materiais de composição silto-argilosos à argila-siltosa do Membro Alemoa da Formação Santa Maria, conferem um caráter de Aquíclude, podendo apresentar elevada porosidade em torno de 50% (Heath, 1983), mas baixíssima permeabilidade. Não foram identificadas camadas de horizontes argilosos com matérias orgânicas (gleissolos) no perfil geológico executado pela Geocentro.

De acordo com Giardin & Faccini (2004), na área em estudo ocorre à maior complexidade hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Guarani (SAG), não se devendo, portanto, considerar a porção investigada do SAG como uma única unidade hidrogeológica contínua. Dessa forma, deve-se considerar a hidroestratigrafia e a compartimentação produzida pela tectônica. A Figura 4.7 ilustra a complexidade hidroestratigráfica do SAG e destaca o Membro Alemoa da Formação Santa Maria que forma o Aquíclude Alemoa presente na área de estudo abaixo dos Depósitos de Terraços Fluviais.

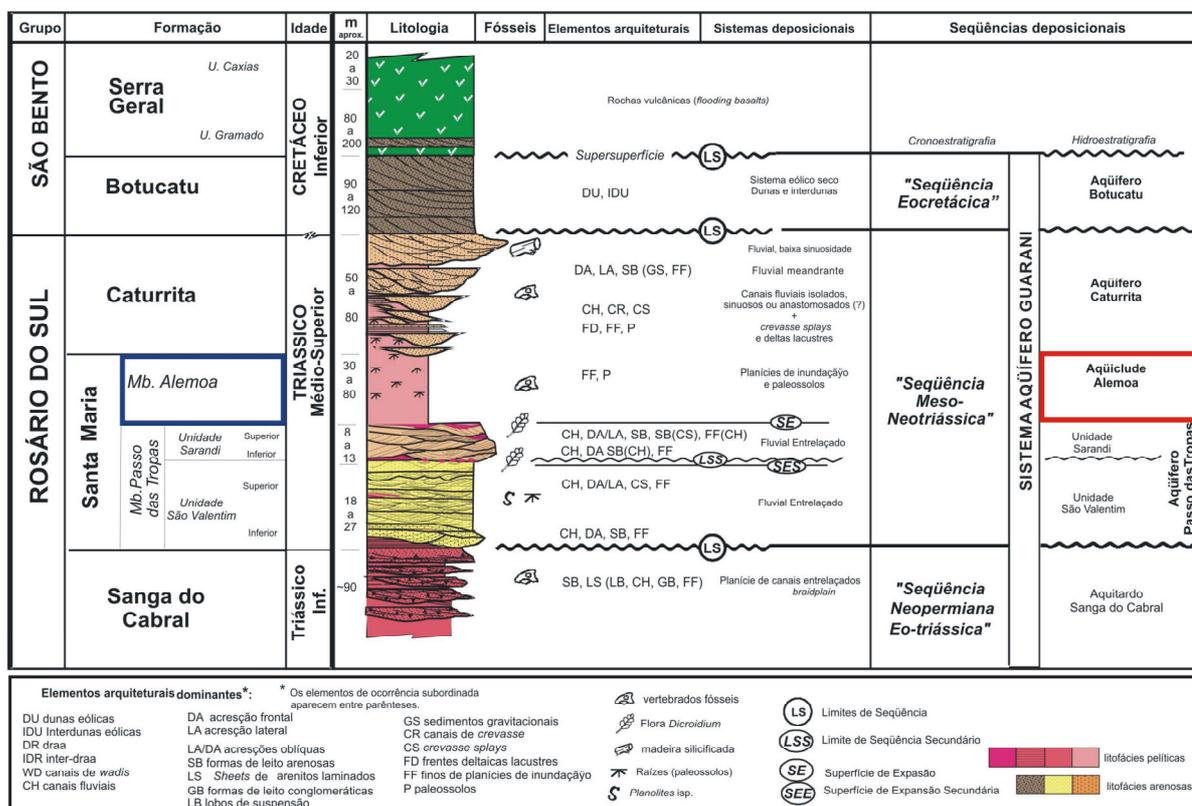


Figura 4.7 – Coluna Estratigráfica e Hidroestratigrafia da área de estudo. Em vermelho é assinalado o Aquíclude Alemoa e em azul o Membro Alemoa da Formação Santa Maria pertencente ao SAG.  
Fonte: Modificado de Wankler et al. (2007).

De acordo com Fachin (2005), a partir do estudo de qualidade físico-química em 13 poços no Bairro de Camobi, a faixa de variação do potencial hidrogeniônico (pH) foi de 5,46 a 8,60; a faixa de oxigênio dissolvido (OD) foi de 3,28 a 8,53 mg/L, a faixa da Condutividade Elétrica (CE) foi de 72 a 882 mg/L, enquanto a faixa de variação dos sólidos totais dissolvidos (STD) foi de 46,8 a 573,3 mg/L, sendo 11 poços com águas doces (STD <500mg/L) e dois poços com águas salobras (STD > 500mg/L), conforme Resolução 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Salienta-se que existe um poço tubular perfurado na área do empreendimento, localizado nas coordenadas UTM 239222m E e 6711268m N, cujo nível estático medido em setembro de 2005 era de 26,90m. Esse poço situa-se a Leste, na área de influência do empreendimento, distando cerca de 28m do poço de monitoramento P1. Uma consideração importante a ser realizada é que esse poço atinge o Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria e, fornece água salobra, não sendo de boa qualidade para consumo. Essa água é utilizada apenas para limpeza e outros fins que não o consumo humano.

Quanto à hidrografia em que está inserida a área de estudo, conforme a SEMA (2008), a Bacia Hidrográfica onde se insere o reservatório é a (G-60) do Vacacaí e Vacacaí-Mirim e de acordo com o SIAGAS/CPRM (2008) a Bacia Hidrográfica Atlântico Sul-Sudeste e a Sub-bacia Hidrográfica 85-Rio Jacuí. Destaca-se que o reservatório está situado na planície aluvial do rio Vacacaí - Mirim, distando em torno de 250 metros do mesmo. Com isso, tem-se na área em estudo uma importante dinâmica do fluxo local das águas superficiais e subterrâneas.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No presente capítulo, apresentam-se os resultados e discussão desta pesquisa, conforme os objetivos propostos. O capítulo divide-se em: ensaios de caracterização de solos, ensaios de campo para determinação da condutividade hidráulica, flutuação do nível freático nos poços de monitoramento, análise de variância sazonal do nível freático nos poços de monitoramento, direção sazonal do fluxo subterrâneo, variação mensal dos parâmetros físico-químicos, análise de correlação entre as variáveis estudadas, variação sazonal e comportamento espacial dos parâmetros físico-químicos, análise de variância sazonal dos parâmetros físico-químicos.

### **5.1 Ensaio de caracterização de solos**

Nessa seção são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização realizados nas amostras coletadas na área de estudo, referentes às litologias dos Depósitos de Terraços Fluviais (TF) e Formação Santa Maria Membro Alemoa (SMA). Foram realizados ensaios para determinação do peso específico real dos grãos, limites de consistência (liquidez e plasticidade) e análise granulométrica (peneiramento e sedimentação com uso de defloculante). As especificações para estes ensaios foram apresentadas no item 3.3.4 (Capítulo III – Materiais e Métodos).

A Tabela 5.1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização e a classificação das amostras segundo os critérios do Sistema Unificado de Classificação de solos (ASTM, 1983).

Tabela 5.1 – Caracterização das formações geológicas estudadas

<i>Fm.</i>	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	<i>LL</i> (%)	<i>LP</i> (%)	<i>IP</i> (%)	<i>Argila</i> (%)	<i>Silte</i> (%)	<i>Areia fina</i> (%)	<i>Areia média</i> (%)	<i>Areia grossa</i> (%)	<i>Pedregulho</i> (%)	<i>SUCS</i> (ASTM, 1983)
TF	2,512	26	19	7	18	17	51	8	2	4	SM-SC areia com finos siltosos e argilosos
SMA	2,628	52	32	20	6	67	23	3	1	-	MH silte elástico com areia

Legenda: Fm. = Formação Geológica; TF = Terraços Fluviais; SMA = Santa Maria Membro Alemoa;  $\gamma_s$  = peso específico real dos grãos; LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade.

A amostra do material pertencente aos Depósitos de Terraços Fluviais apresentou valor de peso específico de 2,512 g/cm<sup>3</sup>, um LL de 26% e LP de 19%, apresentando um IP de 7% (mediamente plástico). Quanto à granulometria, nota-se a presença significativa da fração areia fina (51%). Essa amostra apresentou uma dupla classificação, sendo classificada geotecnicamente como areia com finos siltosos e argilosos (SM-SC).

A amostra da Formação Santa Maria Membro Alemoa apresentou valor de peso específico de 2,628 g/cm<sup>3</sup>. Quanto aos limites de consistência, o LL foi de 52% e LP de 32%, apresentando um IP de 20% (altamente plástico). No tocante a granulometria, a amostra apresentou uma significativa presença de silte (67%). A amostra da Formação Santa Maria Membro Alemoa foi classificada geotecnicamente como silte elástico com areia (MH).

As curvas granulométricas das duas amostras estudadas estão apresentadas na Figura 5.1. Salienta-se que a escala granulométrica adotada é a proposta na NBR 6502/95 (Terminologia – Solos e Rochas).

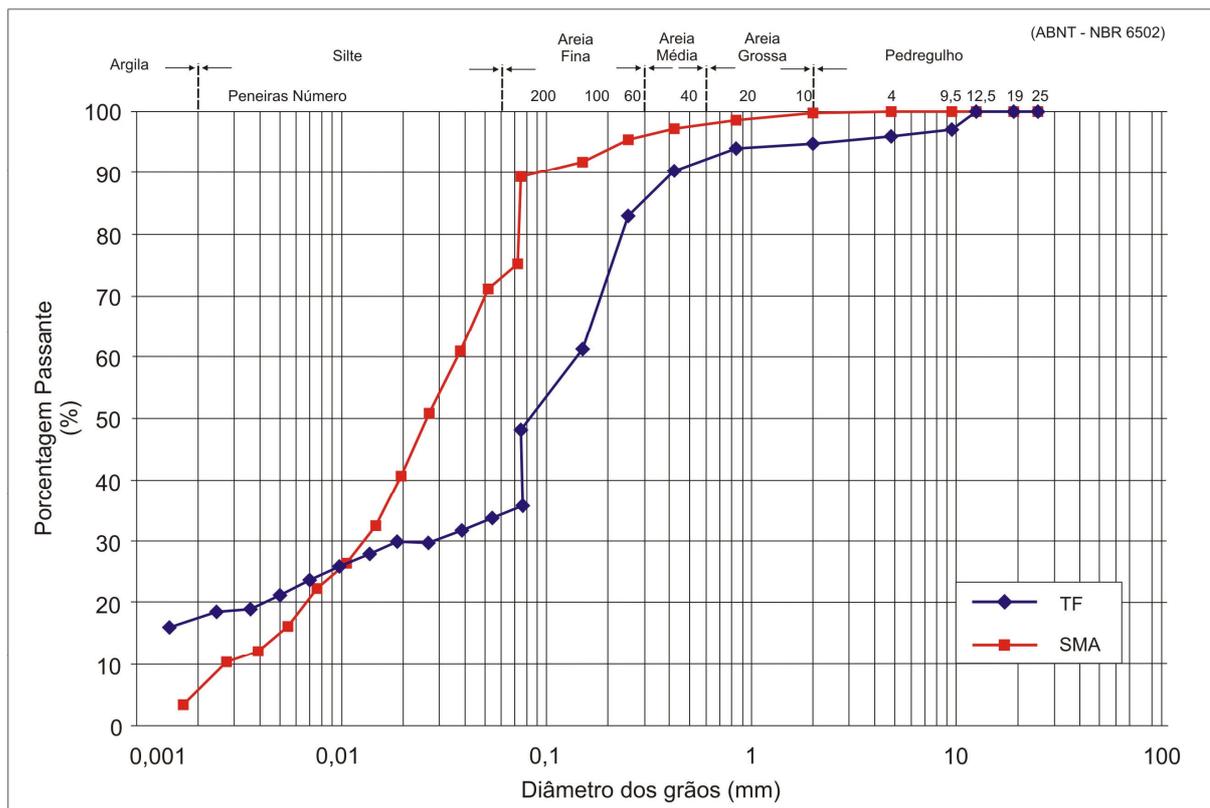


Figura 5.1 – Distribuição granulométrica dos materiais geológicos estudados.

## 5.2 Ensaios de campo para determinação da condutividade hidráulica

Foram realizados na área de estudo dois tipos de ensaios para determinação do coeficiente de condutividade hidráulica: ensaio com piezômetro escavado e ensaios de infiltração realizados diretamente nos poços de monitoramento.

O ensaio com piezômetro escavado foi executado a uma profundidade de 1,05 m, sendo que a altura do filtro granular foi de 0,30 m. Este ensaio teve como objetivo avaliar a condutividade hidráulica da litologia dos Depósitos de Terraços Fluviais. As considerações e fórmulas adotadas para o cálculo da condutividade hidráulica estão apresentadas nos itens 2.11.1.1 (Capítulo II - Fundamentação Teórica) e 3.2.6 (Capítulo III – Materiais e Métodos). Este ensaio avaliou a condutividade hidráulica do solo natural, ou seja, com condições de campo preservadas. O resultado desse ensaio pode ser visualizado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultado do ensaio com piezômetro escavado para determinação do  $k$  (in situ)

Material	Altura do Filtro (cm)	Diâmetro do Furo (cm)	Profundidade (m)	Valor de $k$ (m/s)
Terraços Fluviais	30	6,5	1,05	$4,075 \times 10^{-6}$

Como observado na Tabela 5.2, os materiais geológicos constituintes dos Depósitos de Terraços Fluviais (a uma profundidade de 1,05 m) apresentaram o valor de coeficiente de condutividade hidráulica de  $4,075 \times 10^{-6}$  m/s. Este resultado indica que a litologia é caracterizada como permeável.

Também, determinou-se o coeficiente de condutividade hidráulica por meio de ensaios de infiltração realizados diretamente nos poços de monitoramento. Os ensaios foram realizados nos poços P3 e P5 e, permitiram uma avaliação da permeabilidade média das camadas ao redor do filtro. As considerações e fórmulas adotadas para o cálculo da condutividade hidráulica por meio deste método estão apresentadas nos itens 2.11.1.2 (Capítulo II - Fundamentação Teórica) e 3.2.7 (Capítulo III – Materiais e Métodos). Os resultados dos ensaios de infiltração podem ser observados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Resultado dos ensaios de infiltração para determinação do  $k$  (in situ)

Poços	Vazão Infiltrada ( $m^3/s$ )	Profundidade do Poço (m)	Trecho ensaiado (m)	K (m/s)
P3	0,000007	6,00	5,00	$2,463 \times 10^{-5}$
P5	0,000003	6,00	5,00	$9,448 \times 10^{-6}$

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de infiltração, o coeficiente de condutividade hidráulica foi de  $2,463 \times 10^{-5}$  no poço P3 e de  $9,448 \times 10^{-6}$  no poço P6. Ambos os ensaios indicam que as camadas ao redor do filtro são permeáveis. Esses resultados, relativamente elevados de condutividade hidráulica, podem ser explicados pelo fato de haver na área de estudo uma descontinuidade na espessura dos Depósitos de Terraços Fluviais. Nas sondagens realizadas na área do empreendimento, em locais relativamente próximos, indicaram profundidades dos Depósitos de Terraços Fluviais atingindo 1,00 m, 2,50 m e superiores a 3,00 m. Desta forma, alguns poços têm seus filtros atingindo uma grande parte dessa litologia e, conseqüentemente apresentam um elevado valor de condutividade hidráulica.

Como não foi possível na área de estudo, determinar a condutividade hidráulica da Formação Santa Maria Membro Alemoa, procurou-se na literatura ensaios realizados no município de Santa Maria referentes a esta Formação. Rauber (2008) apresentou em seu trabalho 20 ensaios de condutividade hidráulica realizados em várias unidades geotécnicas no município de Santa Maria. Os menores valores de condutividade hidráulica obtidos nesse trabalho foram referentes ao Membro Alemoa da Formação Santa Maria. A condutividade hidráulica variou de  $6,02 \times 10^{-8}$  a  $7,2 \times 10^{-9}$  m/s, indicando que esta formação é impermeável. Dessa forma, estimam-se para a área de estudo, valores de condutividade hidráulica, muito próximos aos encontrados por Rauber (op. cit.).

Portanto, constatou-se que existem diferenças nas texturas dos materiais geológicos (Depósitos de Terraços Fluviais e Formação Santa Maria Membro Alemoa), onde foram instalados os 7 poços de monitoramento do empreendimento. Comparando-se o resultado de condutividade hidráulica obtido com ensaio de piezômetro escavado nos Depósitos de Terraços Fluviais ( $4,075 \times 10^{-6}$  m/s), observou-se que foi inferior ao valor médio obtido por Rauber (2008) para essa litologia ( $1,549 \times 10^{-5}$  m/s).

### **5.3 Flutuação do nível freático nos poços de monitoramento**

Com o objetivo de monitorar as variações de profundidade do lençol freático, realizaram-se leituras mensais nos 7 poços de monitoramento. A profundidade do nível d'água foi monitorada durante o período de 12 meses, sendo obtida com a utilização de um espelho, uma trena metálica graduada (cinco metros) e, onde o nível estava muito abaixo do solo, impedindo o contato visual com a superfície da coluna d'água, utilizou-se um freatímetro sonoro tipo Jaciri.

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados da variação mensal do nível freático nos 7 poços de monitoramento. Os valores de profundidade mínima, máxima, média e do desvio-padrão comprovam a ocorrência de flutuações do lençol freático.

Tabela 5.4 – Variação mensal do nível freático nos 7 poços de monitoramento

<b>Poço</b>	<b>Nível Freático (m)</b>											
	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07
P1	0,62	0,68	0,64	0,30	0,65	0,68	0,50	0,92	0,53	0,86	0,65	0,65
P2	1,06	2,03	2,32	1,88	1,86	2,15	2,24	1,83	2,22	2,04	0,85	0,69
P3	0,56	0,68	1,09	0,25	0,68	1,26	1,52	1,36	1,70	1,66	0,88	0,87
P4	1,27	1,40	1,52	0,78	1,30	1,50	1,40	1,57	1,72	1,54	1,43	1,35
P5	1,92	2,63	3,14	2,24	1,88	2,55	1,80	2,55	1,42	2,48	2,32	2,13
P6	1,34	2,58	2,92	2,85	2,78	2,73	2,86	2,84	2,24	3,00	2,92	2,74
P7	1,65	1,72	2,03	1,62	1,69	1,77	1,72	1,82	2,92	1,72	1,70	1,68
<b>Média</b>	1,20	1,67	1,95	1,42	1,55	1,81	1,72	1,84	1,82	1,90	1,54	1,44
<b>Máx.</b>	1,92	2,63	3,14	2,85	2,78	2,73	2,86	2,84	2,92	3,00	2,92	2,74
<b>Mín.</b>	0,56	0,68	0,64	0,25	0,65	0,68	0,50	0,92	0,53	0,86	0,65	0,65
<b>DP</b>	0,50	0,81	0,93	1,00	0,75	0,73	0,73	0,67	0,75	0,69	0,84	0,79

Obs.: DP = desvio padrão

O nível freático esteve mais próximo da superfície do solo em janeiro de 2007, quando atingiu 0,25 m no poço P3. Já, a maior profundidade do nível d'água do período monitorado, foi registrada em dezembro de 2006, quando o nível freático foi de 3,14 m no poço P5.

Os poços P1 e P3 apresentaram os menores níveis durante os 12 meses de monitoramento, sendo verificados os maiores níveis nos poços P5 e P6.

A menor variação do nível freático foi no poço P1, onde a diferença entre a máxima e a mínima foi de 0,62 m. No P5, onde se verificou a maior variação do lençol freático durante o período monitorado, a diferença entre a máxima e a mínima foi de 1,72 m.

Os dados de monitoramento do nível d'água mostram que o lençol freático atinge sua maior profundidade nos meses de dezembro de 2006 e julho de 2007, e fica mais próximo da superfície nos meses de outubro de 2006 e janeiro de 2007. Durante o período monitorado houve uma variação média de 0,75 m.

A Figura 5.2 ilustra a flutuação temporal do nível freático nos 7 poços de monitoramento durante os 12 meses estudados.

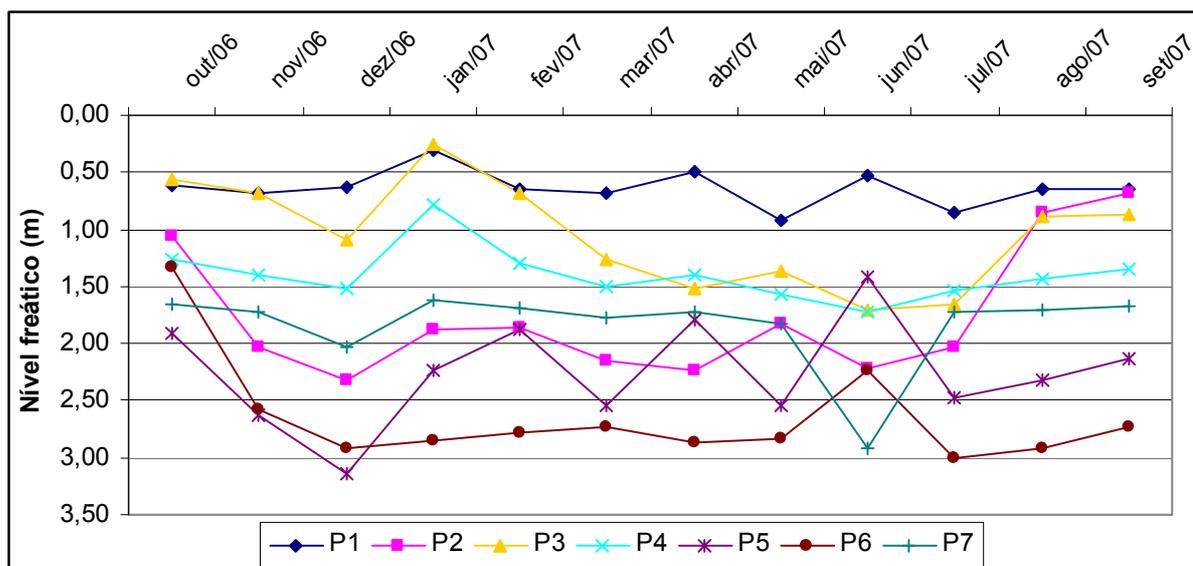


Figura 5. 2 – Variação temporal do nível freático nos 7 poços de monitoramento no período de outubro de 2006 a setembro de 2007.

Os 7 poços monitorados apesar de apresentarem as mesmas profundidades (6 metros), o que pode implicar na locação em unidades litológicas semelhantes, mostram diferentes comportamentos de suas curvas, indicando uma possível descontinuidade lateral e vertical na área, em função das características dos materiais geológicos, sua textura, valores das frações areia (%), silte (%) e argila (%), além do grau de compactação (porosidade/permeabilidade).

A recarga direta de aquífero depende da quantidade de chuvas que ocorrem numa determinada região (Silvério da Silva et al., 2004). Dessa forma, as precipitações pluviométricas foram consideradas, buscando-se subsidiar a identificação de variações do nível de água nos poços, permitindo assim, reconhecer a variabilidade do comportamento de recarga e suas relações com os eventos de chuvas. As medidas de precipitação foram obtidas por meio da Estação Meteorológica da Base Aérea de Santa Maria (BASM). Os índices diários de precipitação durante o período de monitoramento estão apresentados no Anexo 1.

Obtiveram-se também, os dados de precipitação da estação meteorológica da UFSM. Assim, fez-se a comparação entre os dados das duas estações e, verificou-se para o período dos 12 meses de monitoramento, uma diferença de 29,3 mm. A Figura 5.3 ilustra os índices pluviométricos apresentados pelas estações meteorológicas da BASM e da UFSM, durante todo o período de monitoramento.

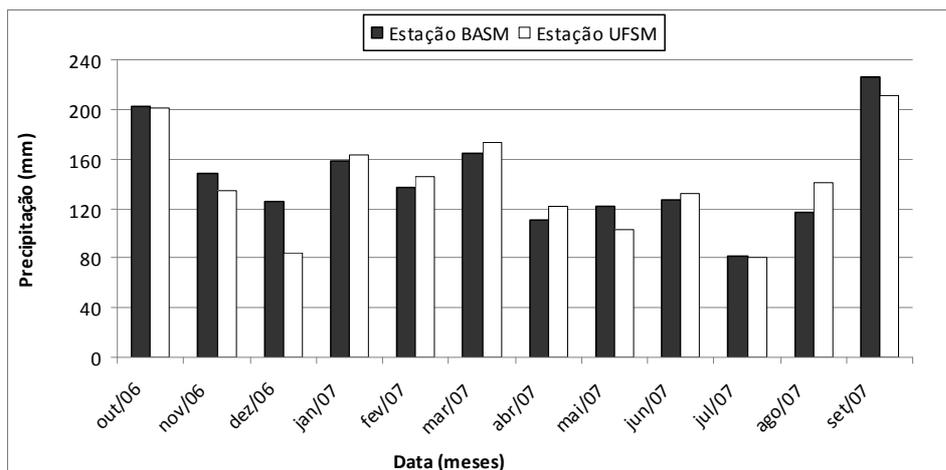


Figura 5.3 – Precipitação pluviométrica média registrada nas estações da BASM e da UFSM. Fonte: Estações meteorológicas da BASM e da UFSM (2006-2007).

Conforme observado na Figura 5.3, a diferença de quase 30 mm, deve-se a chuvas pontuais, constatadas principalmente no mês de dezembro de 2006. Devido a essa variação na precipitação, escolheram-se os resultados da estação meteorológica da BASM para serem apresentados e discutidos nesta pesquisa. Salienta-se que foram considerados os índices registrados desde o primeiro dia de cada mês até a data do monitoramento.

Verificou-se a ocorrência de oscilações entre intervalos de leituras e ascensão do lençol freático em todos os poços durante os períodos de precipitação pluviométrica mais intensa e frequente. A variação do nível freático nos 7 poços de monitoramento em função do regime pluviométrico local, no período de outubro de 2006 a setembro de 2007, é apresentada nas Figuras 5.4 a 5.10.

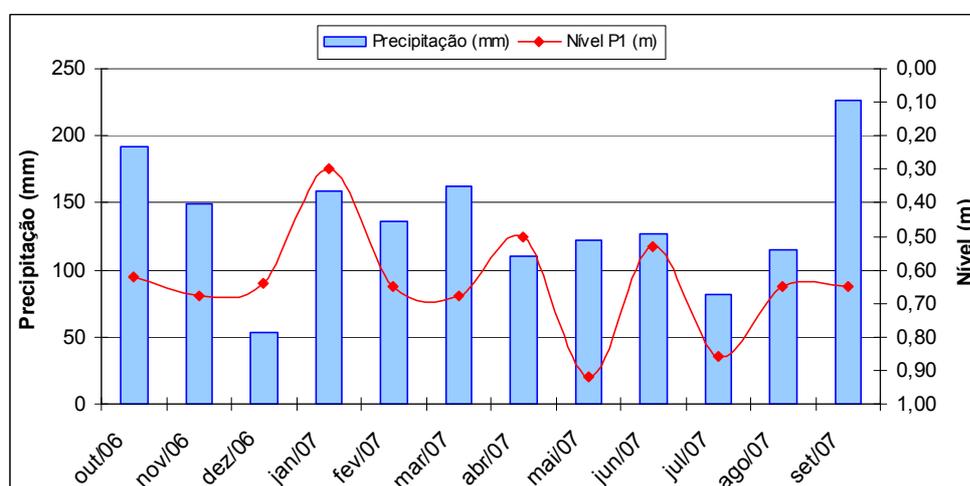


Figura 5.4 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P1.

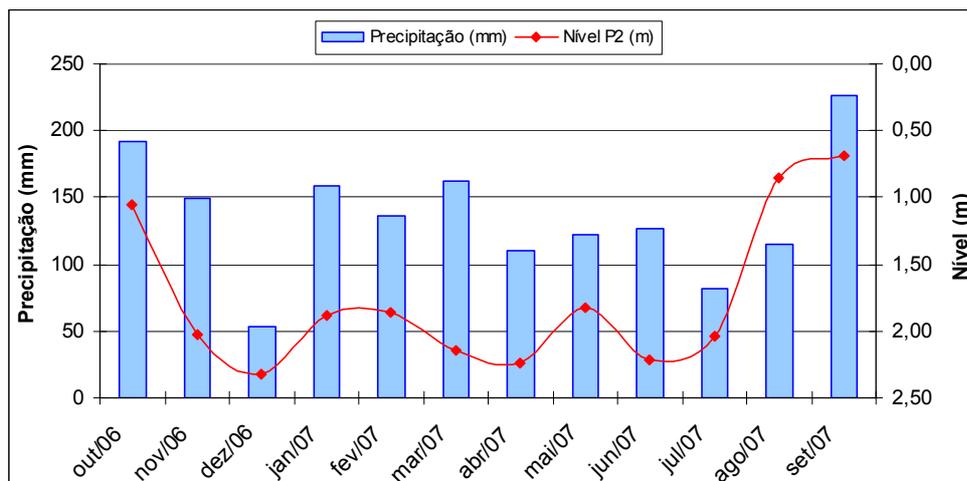


Figura 5.5 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P2.

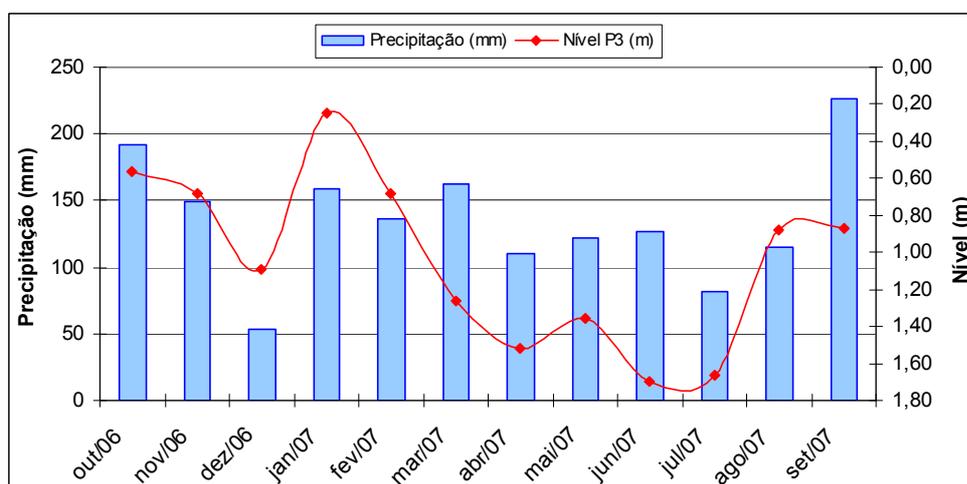


Figura 5.6 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P3.

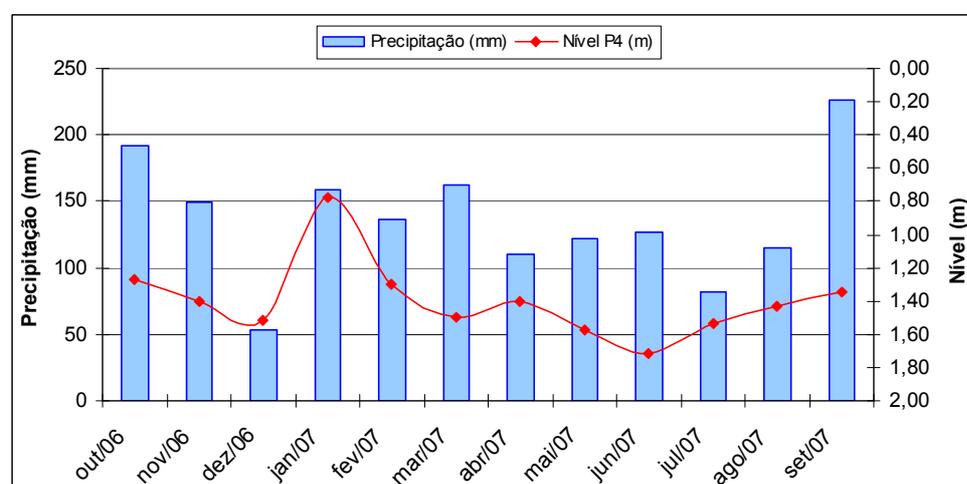


Figura 5.7 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P4.

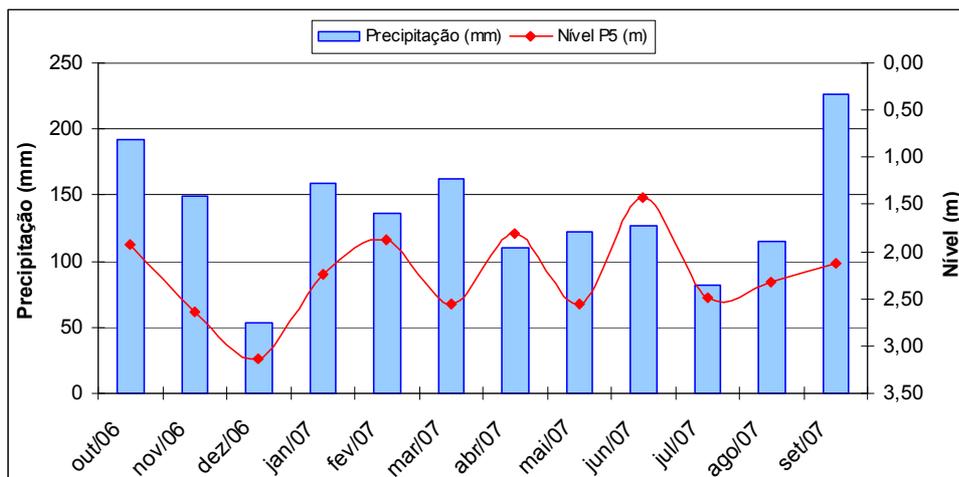


Figura 5.8 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P5.

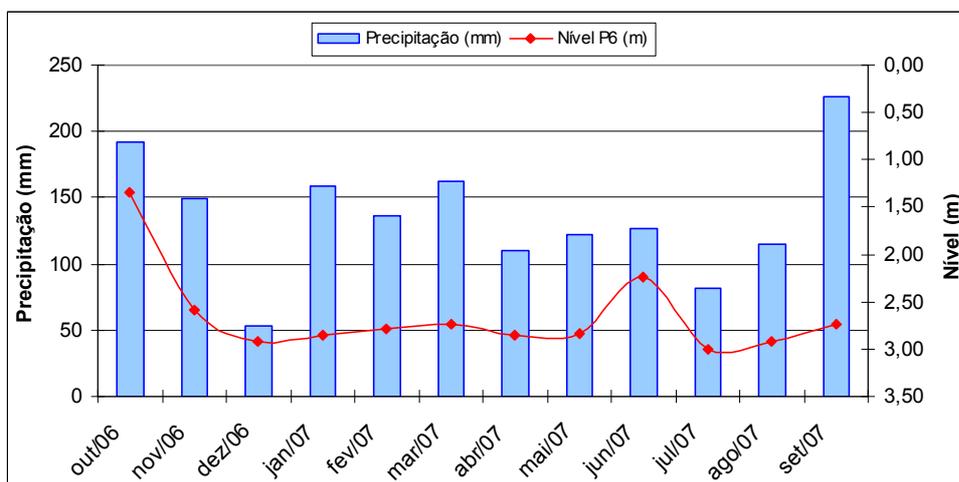


Figura 5.9 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P6.

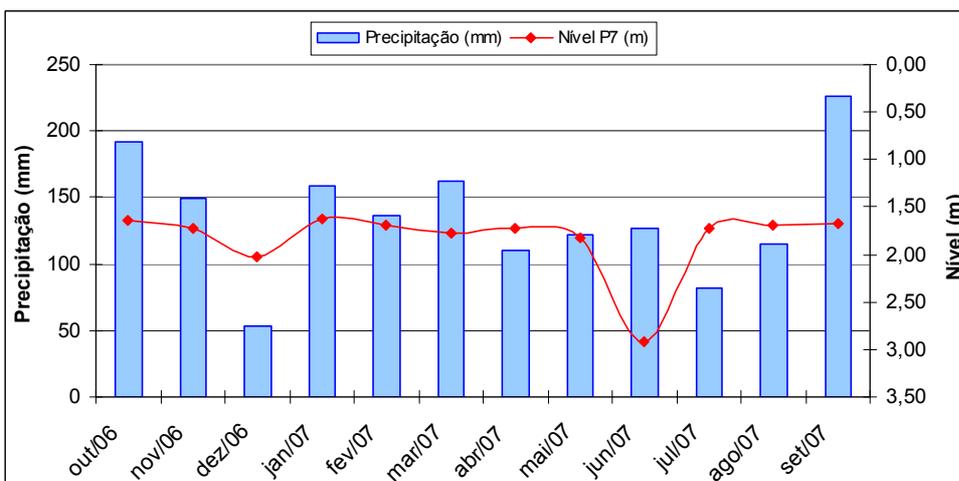


Figura 5.10 – Variação temporal da precipitação e nível freático do poço de monitoramento P7.

Com o objetivo de mensurar o grau de associação linear entre o nível freático médio dos poços de monitoramento e a precipitação pluviométrica, foram realizadas correlações estatísticas entre essas variáveis. A Tabela 5.5 apresenta o resultado da correlação entre os níveis freáticos e a precipitação pluviométrica durante o período monitorado.

Tabela 5.5 – Coeficientes de correlação dos níveis freáticos dos 7 poços de monitoramento e precipitação pluviométrica.

	Precipit.	Nível P1	Nível P2	Nível P3	Nível P4	Nível P5	Nível P6	Nível P7
Precipit.	1	-	-	-	-	-	-	-
Nível P1	-0,22 <sup>ns</sup>	1	-	-	-	-	-	-
Nível P2	-0,62*	-0,06 <sup>ns</sup>	1	-	-	-	-	-
Nível P3	-0,49 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1	-	-	-	-
Nível P4	-0,39 <sup>ns</sup>	0,64*	0,23 <sup>ns</sup>	0,82**	1	-	-	-
Nível P5	-0,38 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	1	-	-
Nível P6	-0,47 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1	-
Nível P7	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	1

\*. Correlação significativa a uma probabilidade de 5% de erro.

\*\* . Correlação é significativa a uma probabilidade de 1% de erro.

<sup>ns</sup> Não significativa

Notou-se que ocorreu correlação inversa entre a precipitação com os níveis freáticos dos 7 poços de monitoramento durante todo o período monitorado. Assim, em meses com crescentes valores de precipitação pluviométrica os valores de nível freático diminuiram, indicando recarga direta do aquífero por meio das precipitações pluviométricas. No entanto, de forma significativa estatisticamente, esta correlação ocorreu apenas no poço P2 ( $r_{P2} = -0,616$ ;  $p < 0,05$ ). Como o método da flutuação do nível d'água é baseado na premissa de que a elevação do nível d'água subterrânea em aquíferos livres é devido à água de recarga que chega ao aquífero (Healy & Cook, 2002), a partir dos resultados obtidos, pode-se considerar a área de estudo como uma zona de recarga direta do aquífero.

Percebeu-se uma correlação direta do poço P1 com o poço P4 ( $r = 0,64$ ;  $p < 0,05$ ) e do poço P3 com o poço P4 ( $r = -0,82$ ;  $p < 0,01$ ), indicando conexão hidráulica e uma possível continuidade lateral das camadas sedimentares entre esses poços.

Quanto a variação sazonal do lençol freático nos 7 poços de monitoramento, obteve-se o comportamento conforme ilustra a Figura 5.11.

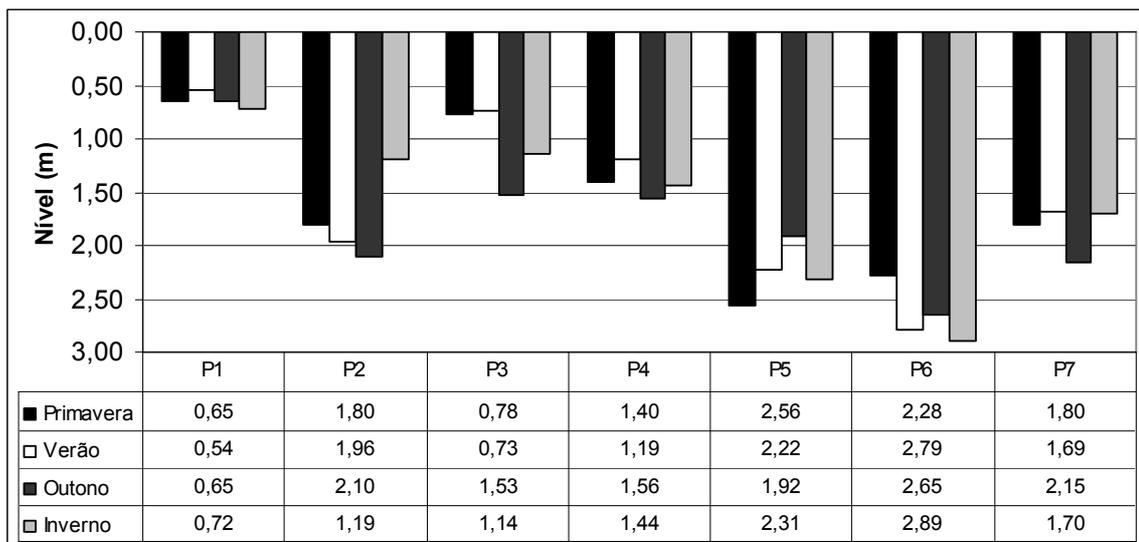


Figura 5.11 – Comparação da variação sazonal da profundidade dos níveis estáticos médios dos 7 poços de monitoramento nas estações de primavera, verão, outono e inverno.

De acordo com a Figura 5.11, em grande parte dos poços, o lençol freático atinge sua maior profundidade nos períodos de outono e inverno, e fica mais próximo da superfície nos períodos de primavera e verão. Durante o período monitorado houve uma variação sazonal média de 0,20 m.

#### 5.4 Análise de variância sazonal do nível freático nos poços de monitoramento

Utilizou-se a análise de variância (ANOVA), para avaliar a existência de diferenças significativas entre os níveis dos poços de monitoramento nas 4 estações estudadas. As médias do nível freático dos 7 poços de monitoramento nas estações de primavera, verão, outono e inverno, são mostradas na Tabela 5.6.

Por meio dos resultados, verificou-se que os valores médios do nível freático dos poços P1, P2, P3, P4 e P7 não diferiram significativamente no período de primavera. Os valores médios dos poços P5 e P6 foram os maiores desse período ( $P5 = 2,56 \text{ m} \pm 0,61$  e  $P6 = 2,28 \text{ m} \pm 0,83$ ) e, diferiram significativamente dos poços P1 e P3, que por sua vez apresentaram as menores médias do período de primavera ( $P1 = 0,65 \text{ m} \pm 0,03$  e  $P3 = 0,78 \text{ m} \pm 0,28$ ).

Tabela 5.6 – Média do nível freático nos 7 poços de monitoramento nas 4 estações estudadas

<i>Poços</i>	<i>Estação</i>			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
P1	0,65 b <sup>1</sup> (±0,03) <sup>2</sup>	0,54 d (±0,21)	0,65 c (±0,23)	0,72 d (±0,12)
P2	1,80 ab (±0,66)	1,96 bc (±0,16)	2,10 ab (±0,23)	1,19 cd (±0,74)
P3	0,78 b (±0,28)	0,73 d (±0,51)	1,53 bc (±0,17)	1,14 cd (±0,45)
P4	1,40 ab (±0,12)	1,19 cd (±0,37)	1,56 abc (±0,16)	1,44 bcd (±0,09)
P5	2,56 a (±0,61)	2,22 ab (±0,33)	1,92 ab (±0,57)	2,31 ab (±0,17)
P6	2,28 a (±0,83)	2,79 a (±0,06)	2,65 a (±0,35)	2,89 a (±0,13)
P7	1,80 ab (±0,20)	1,69 bc (±0,07)	2,15 ab (±0,67)	1,70 bc (±0,02)
<b>Média</b>	1,61	1,59	1,79	1,63
<b>CV%</b>	49,24	50,90	38,13	46,88

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro; <sup>2</sup> Valores entre parênteses, referem-se ao desvio padrão da média; CV = coeficiente de variação.

Quanto ao período de verão, o teste de *Tukey* não detectou diferença significativa nos níveis médios dos poços P1, P3 e P4. Também, não ocorreu diferença significativa nos poços P2, P4, P5 e P7. Já o poço P6 apresentou o maior nível freático médio do período de verão (2,79 m ±0,06) e, diferiu significativamente de todos os demais poços.

No período de outono, os valores médios do nível freático dos poços P1, P3 e P4 não diferiram significativamente, assim como nos poços P2, P3, P4, P5 e P7. Igualmente ao período de verão, o poço P6 apresentou o maior valor médio de nível freático (2,65 m ±0,35) e, diferiu significativamente dos outros poços.

Não houve diferença significativa entre os valores médios de nível freático dos poços P5 e P6 no período de inverno. Notou-se também, que somente neste período as médias dos poços P1 e P2 não apresentaram diferença significativa.

Assim, a partir das diferenças significativas ocorridas nos valores médios de nível freático dos 7 poços de monitoramento durante os 4 períodos estudados, evidenciou-se novamente que há uma possível descontinuidade lateral entre as formações geológicas em que inserem-se os poços, devido as variações paleo deposicionais numa Planície Aluvial.

## 5.5 Direção sazonal do fluxo subterrâneo

O sentido do fluxo subterrâneo é um dos parâmetros mais importantes na avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. Obteve-se o sentido do fluxo através da determinação da superfície potenciométrica de cada poço de monitoramento, medindo-se os níveis de água e correlacionando-os com as cotas altimétricas de cada poço, conforme discutido no item 3.3.2 (Capítulo III – Materiais e Métodos).

Na presente dissertação, procurou-se avaliar as ocorrências de possíveis variações e inversões sazonais do fluxo local da água subterrânea, por meio da análise de quatro períodos, considerando-se a divisão dos 12 meses monitorados nas estações do ano. Alguns resultados preliminares dessa avaliação foram obtidos por Chaves & Silvério da Silva (2008).

As coordenadas UTM, as cotas altimétricas, o nível estático e a superfície potenciométrica de cada poço obtidos nas quatro estações estudadas são apresentados na Tabela 5.7:

Tabela 5.7 – Coordenadas UTM, cotas altimétricas, nível estático e superfície potenciométrica dos 7 poços de monitoramento em cada estação estudada

Poço	Coordenadas		Cotas (m)	Nível Estático (m)				Superfície Potenciométrica (m)			
	UTM N/S	UTM L/O		P	V	O	I	P	V	O	I
P1	6711259	239196	100,53	0,65	0,54	0,65	0,72	99,88	99,99	99,88	99,81
P2	6711256	239192	99,50	1,80	1,96	2,10	1,19	97,70	97,54	97,40	98,31
P3	6711273	239153	99,96	0,78	0,73	1,53	1,14	99,18	99,23	98,43	98,82
P4	6711318	239161	99,86	1,40	1,19	1,56	1,44	98,46	98,67	98,30	98,42
P5	6711338	239158	99,73	2,56	2,22	1,92	2,31	97,17	97,51	97,81	97,42
P6	6711312	239202	99,98	2,28	2,79	2,65	2,89	97,70	97,19	97,33	97,09
P7	6711260	239112	99,62	1,80	1,69	2,15	1,70	97,82	97,93	97,47	97,92

Obs.: P = primavera; V = verão; O = outono; I = inverno.

A partir dos dados da Tabela 5.7, construíram-se modelos tridimensionais de direção de fluxo subterrâneo para os períodos de primavera (2006), verão (2007), outono (2007) e inverno (2007).

Desta forma, para o período de primavera (2006), obteve-se a conformação ilustrada na Figura 5.12:

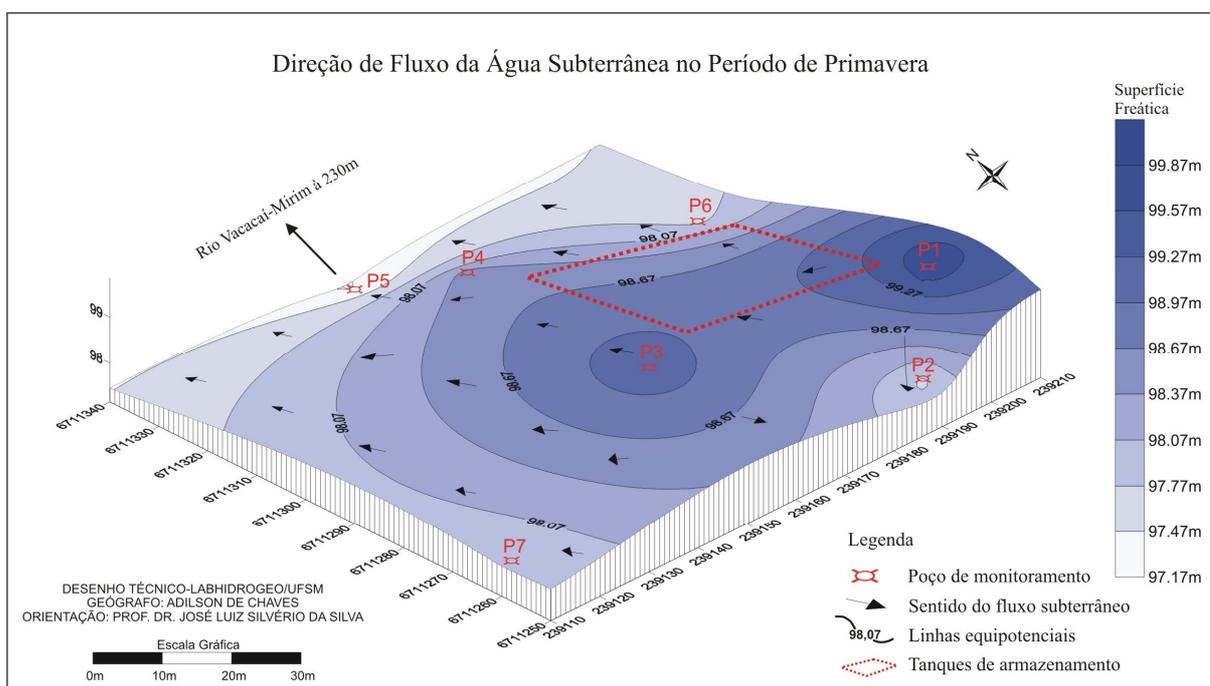


Figura 5.12 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de primavera.

No período de primavera, como observado na Figura 5.12, a direção do fluxo subterrâneo segue em sua maior parte, no sentido Sul – Norte e Sudeste - Noroeste, seguindo de maneira geral com o declive do terreno, em direção ao Rio Vacacaí-Mirim. Assim, o sentido de escoamento da água em subsuperfície ocorre acompanhando a declividade máxima do terreno, isto é, ortogonal às linhas equipotenciais. Supõe-se que em parte esta direção preferencial da água subterrânea, alimenta o fluxo de base do Rio Vacacaí-Mirim, que dista aproximadamente 230 metros do empreendimento, onde estão locados os poços de monitoramento. Desta forma, de acordo com a presente conformação, pode-se considerar o Rio Vacacaí-Mirim como uma área de descarga local das águas subterrâneas.

Supõe-se também, que além do Rio Vacacaí-Mirim, outro corpo hídrico existente na área do empreendimento, esteja sofrendo influência do fluxo subterrâneo local. Trata-se de uma lagoa artificial localizada a Noroeste da área do empreendimento, que serve como corpo receptor dos efluentes tratados provindos da caixa separadora de água – óleo. Esse corpo hídrico dista em torno de 55 metros do poço P5 e, possui uma área total de aproximadamente 10.539 m<sup>2</sup> (ou 1,05ha).

Observa-se também, que existem altos potenciométricos nos poços P1 e P3, direcionando os fluxos subterrâneos principalmente na direção Noroeste e Norte,

respectivamente. Também ocorrem fluxos secundários a partir do poço P3 para Sul. Além disso, verifica-se que os poços P2 e P5 comportam-se como depressões potenciométricas, apresentando um baixo gradiente potenciométrico.

Nota-se neste modelo, que o gradiente hidráulico nas porções Oeste - Noroeste da área são menores do que nas porções Leste - Sudeste, provavelmente associado às diferentes espessuras do aquífero nas porções citadas. A faixa de variação da superfície potenciométrica nesse período foi de 99,88 m no poço P1 a 97,17 no poço P6.

Com a espacialização da área dos tanques de armazenamento de combustíveis (Figura 5.12 - área pontilhada em vermelho), evidencia-se que em caso de ocorrer vazamento, a pluma de contaminação tenderá a deslocar-se nos sentidos Sul - Norte e Sudeste - Noroeste, principalmente em direção ao Rio Vacacaí-Mirim. Nesse sentido, os poços P1 e P3 podem ser considerados como poços de montante no monitoramento em caso de um possível acidente de vazamento. Já, os poços P4, P5 e P6, certamente detectarão a pluma poluente por situarem-se a jusante dos tanques, considerando-se o fluxo subterrâneo simulado.

Para o período de verão (2007), obteve-se a conformação ilustrada na figura 5.13.

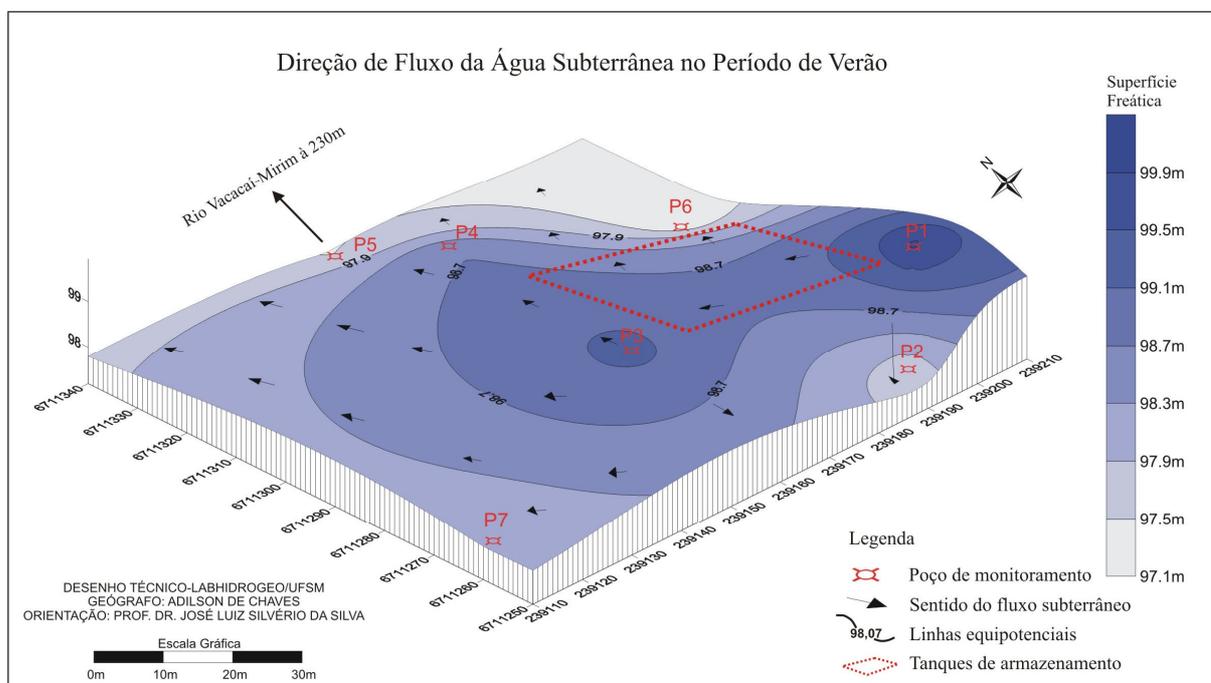


Figura 5.13 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de verão.

No período de verão, evidenciam-se poucas alterações na direção do fluxo subterrâneo, comparando-se com o período de primavera. A direção principal do fluxo apresenta-se novamente no sentido Sul - Norte e Sudeste - Noroeste em direção ao Rio Vacacaí-Mirim e a lagoa artificial, havendo fluxos secundários para Sul e Oeste. Novamente, o Rio Vacacaí-Mirim apresenta-se como uma área de descarga das águas subterrâneas, sendo que o aquífero condiciona um regime efluente neste curso fluvial. Observa-se, assim como no período anterior, que o fluxo subterrâneo é concordante com a morfologia da superfície topográfica do terreno.

Neste período, se evidencia altos potenciométricos nos poços P1 e P3, esse último apresentando um aumento significativo em sua superfície potenciométrica em relação ao período de primavera. Também, igualmente ao período de primavera, os poços P2 e P5, além do poço P6, apresentam-se como depressões potenciométricas, sendo pontos convergentes de fluxo.

Nota-se neste período, em uma grande parte de área no setor Noroeste, um baixo gradiente hidráulico, em relação ao período de primavera (Figura 5.12). Isto se deve à diminuição significativa da inclinação da superfície potenciométrica. A faixa de variação da superfície potenciométrica nesse período foi de 99,99 m no poço P1 a 97,19 no poço P6, apresentando uma faixa de variação levemente superior (0,09 m) em relação à estação de primavera (2006).

Com relação ao fluxo de uma pluma de contaminação em caso de vazamento, como no período de primavera, as direções preferenciais serão Sul – Norte e Sudeste – Noroeste, em direção aos poços P4, P5 e P6.

Para o período de outono (2007), obteve-se a conformação ilustrada na figura 5.14.

No período de outono, notam-se mudanças nas direções de fluxo subterrâneo. Além do sentido Sul – Norte e Sul – Noroeste em direção aos corpos hídricos, evidenciou-se outro fluxo significativo nas direções Oeste e Sudoeste. Nota-se também, fluxo secundário para Sul em direção ao terminal da Estrada de Ferro da América Latina Logística (ALL).

Neste período, diferentemente dos anteriores, aparece um único alto potenciométrico, representado pelo poço P1. Também, obtiveram-se mudanças na localização das depressões potenciométricas, sendo representadas pelos poços P2, P6 e P7, tendo este último contribuído significativamente para as alterações nas direções de fluxo para este período.

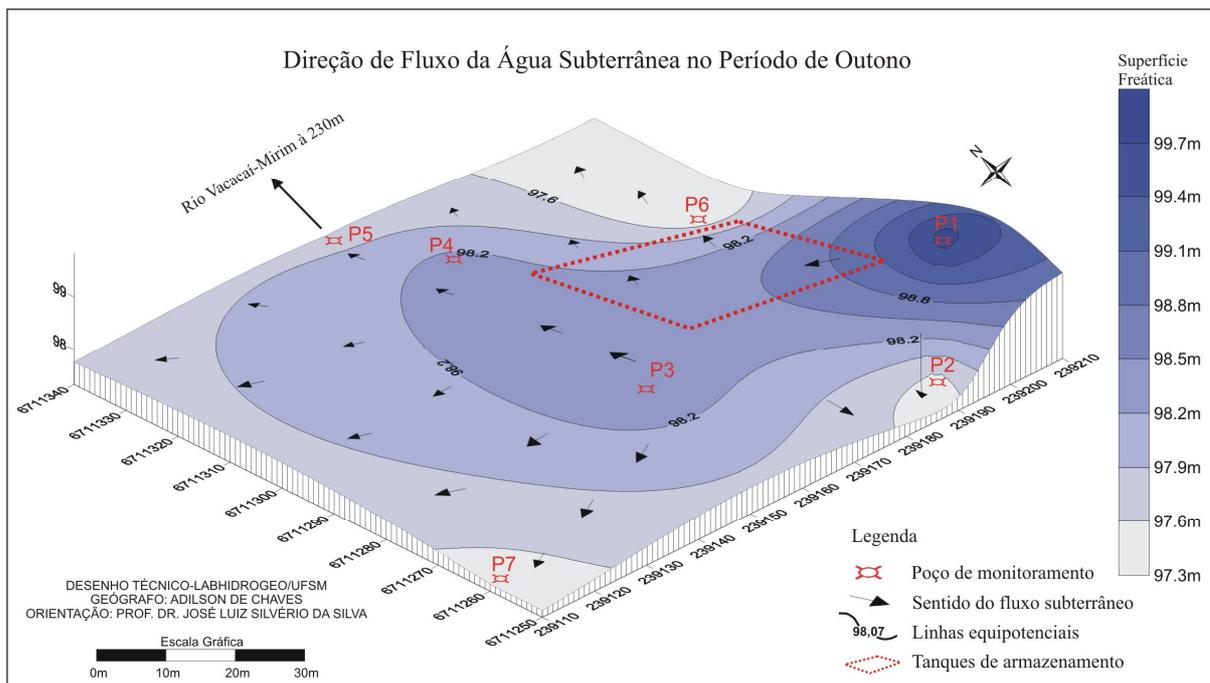


Figura 5.14 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de outono.

Quanto ao gradiente hidráulico apresentado na área, nota-se uma diminuição significativa em relação aos períodos anteriores, observado suavização da superfície potenciométrica. A faixa de variação da superfície potenciométrica nesse período foi de 99,88 m no poço P1 a 97,33 no poço P6, coincidindo os poços em relação aos períodos de verão e outono e, decrescendo a faixa de variação.

Com relação à análise do deslocamento de uma possível pluma de contaminação, não houve mudanças significativas em relação aos períodos anteriores, apresentando direções preferenciais Sul – Norte e Sudeste – Noroeste, em direção aos poços P4, P5 e P6 e ao Rio Vacacaí-Mirim.

Para o período de inverno (2007), obteve-se a conformação ilustrada na figura 5.15.

Neste período não há diferenças significativas na direção do fluxo subterrâneo em comparação ao período de outono. Semelhantemente ao modelo anteriormente analisado, nota-se uma direção preferencial com sentido Sul – Norte e Sudeste – Noroeste, além de outra partindo do centro Sul da área, seguindo para Oeste e Sudoeste em direção ao poço P7.

Quanto aos altos potenciométricos apresentados no modelo, aparecem os poços P1 e P3. Além do poço P6, não aparecem depressões potenciométricas significativas.

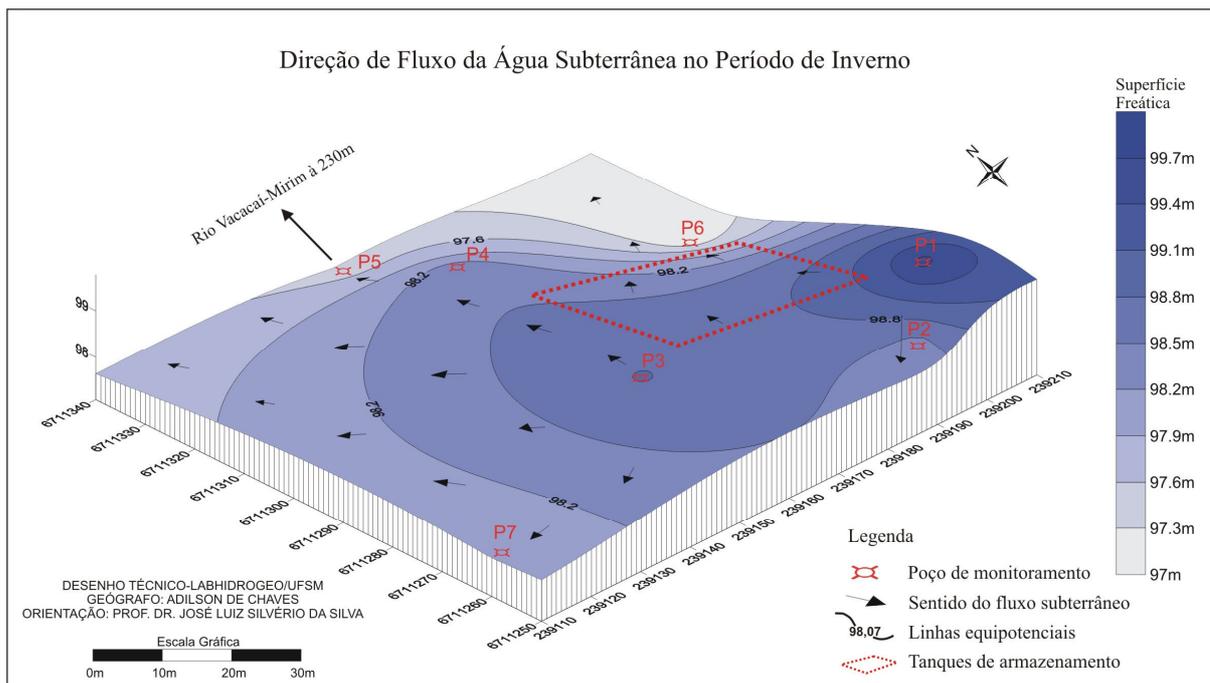


Figura 5.15 – Modelo tridimensional mostrando o fluxo da água subterrânea no período de inverno.

Observando-se o modelo deste período, evidencia-se um pequeno aumento do gradiente hidráulico e pouca mudança na inclinação da superfície potenciométrica em comparação com o período de outono. Já, quanto à espessura da superfície potenciométrica, em relação ao período de outono, evidenciou-se um aumento significativo. A faixa de variação da superfície potenciométrica nesse período foi de 99,81 m no poço P1 a 97,09 no poço P6. Também, os poços P1 e P6 foram aqueles que apresentaram os valores extremos, sendo que a faixa de variação da carga hidráulica foi superior ao período de primavera mas inferior ao de verão.

Semelhante aos períodos anteriores, não houve mudanças significativas na direção do fluxo de uma possível pluma de contaminação a partir dos tanques de armazenamento, com direções preferenciais Sul – Norte e Sudeste – Noroeste.

Em geral, a direção do fluxo subterrâneo nas 4 estações analisadas apresentou poucas variações. Em todos os períodos, houve fluxo preferencial nos sentidos Sul – Norte e Sudeste – Noroeste, sendo em certos pontos, concordante com a morfologia da superfície topográfica que é ilustrada na figura 5.16.

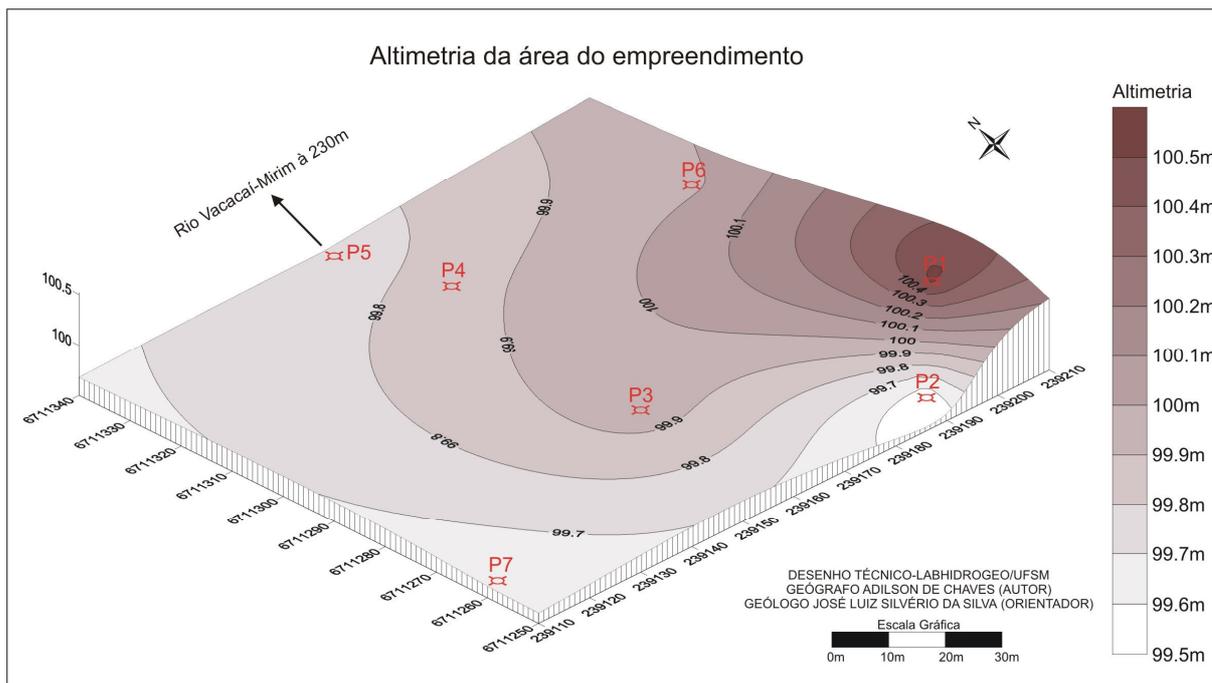


Figura 5.16 – Modelo tridimensional mostrando a altimetria da área de estudo.

Também, supõe-se que este fluxo preferencial, esteja influenciando no nível dos corpos hídricos localizados próximos a área do empreendimento, conforme ilustra a Figura 5.17, mostrando uma estreita relação entre os mananciais subterrâneos e superficiais, sendo que o aquífero nitidamente condiciona um regime efluente na Planície Aluvial do Rio Vacacaí-Mirim e no espelho d'água.

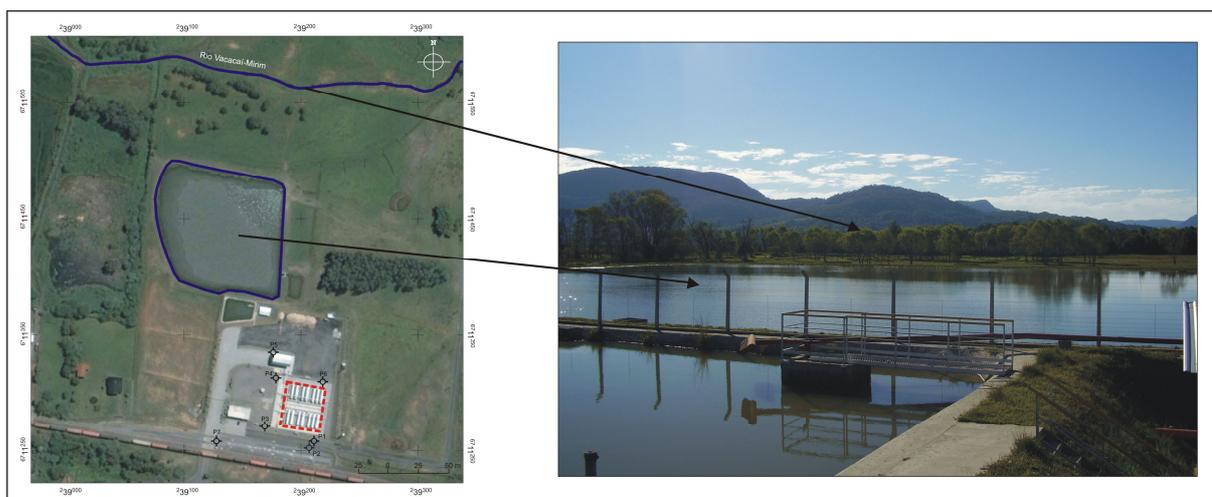


Figura 5.17 – Localização dos corpos hídricos próximos ao empreendimento. Vista da lagoa artificial e ao fundo mata ciliar do Rio Vacacaí-Mirim.

Naturalmente, dependendo da permeabilidade do leito do rio e da diferença de carga potenciométrica entre o rio e o aquífero, a água pode fluir do rio para o aquífero ou vice-versa.

Assim, a presença do Rio Vacacaí-Mirim bem como do espelho d'água artificial, explicariam em parte a disposição das equipotenciais neste local, demonstrando uma superfície potenciométrica inclinada, com caimento para NNO, ocasionando o aspecto de aquífero influente de Sul para Norte - Noroeste, verificado em todas as estações analisadas.

Em todos os períodos avaliados o poço P1 apresentou-se como um alto potenciométrico. Evidencia-se dessa forma, que mesmo próximo (cerca de 25 m) do poço tubular de abastecimento, não está sofrendo interferência do mesmo.

## **5.6 Variação mensal dos parâmetros físico-químicos**

Segundo Heath (1983), o estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico. Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero.

Alguns parâmetros como a condutividade elétrica (C.E.), oxigênio dissolvido (O.D.), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos totais dissolvidos (STD) e temperatura, são extremamente importantes para caracterizar a água subterrânea.

No presente trabalho, procurou-se identificar os valores naturais (background) dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas bem como avaliar a ocorrência de possíveis variações mensais e sazonais desses parâmetros. Nessa pesquisa não foram realizadas avaliações de possíveis variações nos valores naturais por meio do teste *t* de *Student*, visto que o empreendimento não apresentou nenhuma alteração de qualidade da água subterrânea. Isso foi constatado por meio dos resultados das análises de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH), realizadas pela empresa Geoambiental Consultorias e Licenciamentos Ltda., por cromatografia gasosa de alta resolução, conforme o método EPA 8015B. Os relatórios dos resultados analíticos de TPH, estão apresentados no Anexo 2.

Avaliou-se o O.D., a temperatura da água, a C.E., os STD e o pH. Salienta-se que para as análises finais, foram utilizados os valores médios desses parâmetros para cada poço, obtidos por meio das medidas realizadas em diferentes profundidades, de metro em metro,

conforme a altura da coluna d'água no momento da coleta de dados. O Anexo 3 apresenta o banco de dados com os valores dos parâmetros físico-químicos obtidos nas diferentes profundidades em todos os poços durante os 12 meses de monitoramento.

Os resultados da variação mensal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Variação mensal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento

<b>Poço</b>	<b>Oxigênio Dissolvido (mg/L)</b>											
	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07
P1	0,35	0,67	0,77	0,81	0,90	0,38	0,19	0,11	0,15	0,23	0,14	0,08
P2	0,13	0,28	0,11	0,73	0,96	0,51	0,84	0,11	0,39	0,16	0,36	0,22
P3	1,07	1,35	0,95	1,63	1,26	0,99	1,89	2,64	2,42	3,98	4,12	2,72
P4	1,03	0,07	0,19	1,02	0,69	1,12	2,21	2,44	3,84	3,52	2,17	1,22
P5	0,28	0,08	0,56	0,19	0,18	0,18	0,10	0,12	2,84	0,54	0,28	0,08
P6	2,65	1,40	1,62	1,56	1,52	1,59	2,25	2,75	0,18	3,78	4,02	3,06
P7	0,84	1,64	0,86	2,06	1,46	1,62	2,42	0,92	3,27	2,07	2,62	1,27
<b>Média</b>	0,91	0,78	0,72	1,14	1,00	0,91	1,41	1,30	1,87	2,04	1,96	1,24
<b>Máx.</b>	2,65	1,64	1,62	2,06	1,52	1,62	2,42	2,75	3,84	3,98	4,12	3,06
<b>Mín.</b>	0,13	0,07	0,11	0,19	0,18	0,18	0,10	0,11	0,15	0,16	0,14	0,08
<b>DP</b>	0,85	0,67	0,51	0,64	0,47	0,58	1,01	1,26	1,59	1,73	1,74	1,24

Obs.: DP = desvio padrão

Os valores de O.D. obtidos em cada poço de monitoramento variaram de 0,07 mg/L, no poço P4 (novembro de 2006) a 4,12 mg/L no poço P3 (agosto de 2007). Considerando-se a média mensal dos valores de O.D., obteve-se uma variação de 0,72 mg/L no mês de dezembro de 2006 a 2,04 mg/L no mês de julho de 2007.

A maior parte do ar atmosférico dissolvido na água que infiltra no solo é consumida na oxidação da matéria orgânica durante a percolação na zona de aeração. Assim, explicam-se os baixos valores de O.D. obtidos durante os 12 meses de monitoramento, conforme já esperado.

Quanto à faixa de valores mínimos e máximos de O.D., obtidos durante o período de monitoramento, pode-se afirmar que os mesmos estão de acordo com os valores sugeridos por Feitosa & Manoel Filho (1997). Segundo esses autores, as águas subterrâneas possuem uma concentração de O.D. entre 0 e 5 mg/L.

A Figura 5.18 ilustra o comportamento da variação mensal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento durante o período de 12 meses.

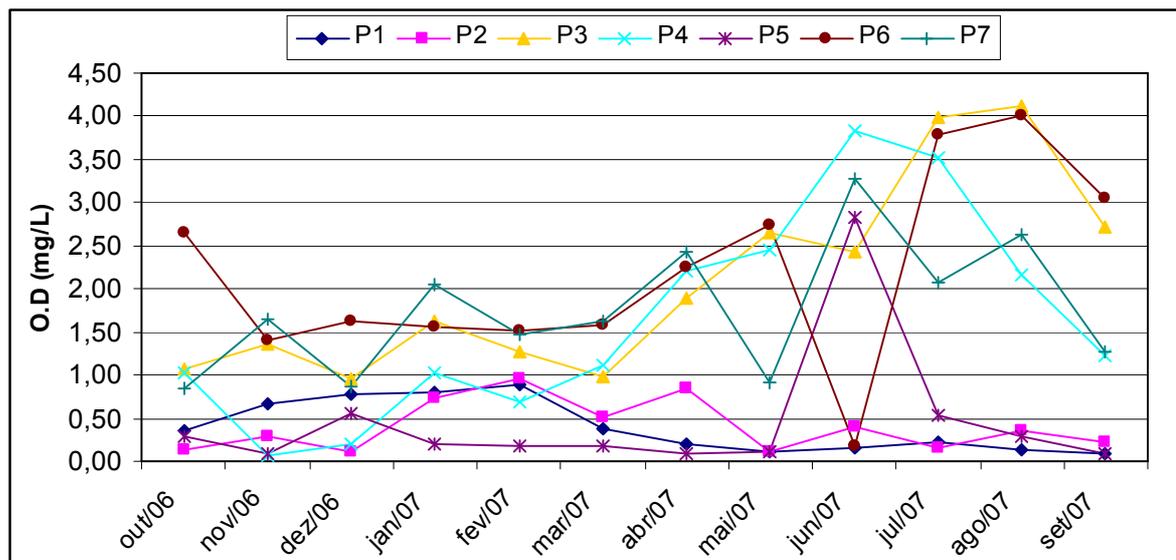


Figura 5.18 – Variação mensal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento.

De acordo com a Figura 5.18, observam-se comportamentos distintos entre os poços, ocorrendo pouca tendência entre os valores de O.D. Verifica-se também, que os poços P1, P2 e P5 (exceto no mês de junho de 2007), apresentaram pouca variação nos valores médios de O.D., mantendo-se na faixa entre 0 e 1 mg/L, durante todo o período monitorado. Já os poços P3, P4, P6 e P7, apresentaram um aumento nos valores médios de O.D., a partir do mês de março de 2007, estendendo-se até os meses de agosto e setembro do mesmo ano, onde os valores voltaram a diminuir.

Outro parâmetro estudado foi a temperatura da água nos poços de monitoramento. Os resultados da variação mensal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.9.

Chaves (2007), estudando as águas subterrâneas no município de São Luiz Gonzaga/RS, identificou que nos aquíferos profundos, a amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa, entre 1 a 2°C, e independe da temperatura atmosférica. No entanto, por localizarem-se próximos a superfície, os aquíferos freáticos pouco profundos, possuem uma maior amplitude térmica anual. Esse é o caso da área em estudo, onde o lençol freático atinge em média a profundidade de 1,65 m.

Os valores de temperatura da água em cada poço variaram de 18,5°C, no poço P7 (agosto de 2007) a 24,8°C no poço P3 (fevereiro e março de 2007). Considerando-se a temperatura média da água em cada mês monitorado, obteve-se uma variação de 19,7°C no mês de agosto de 2007 a 24,1°C nos meses de fevereiro e março de 2007.

Tabela 5.9 – Variação mensal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento

Poço	Temperatura da Água (°C)											
	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07
P1	21,1	23,0	23,2	24,2	24,5	24,7	24,0	22,7	20,8	20,3	19,4	20,5
P2	20,0	21,2	21,7	23,5	24,0	24,0	23,7	22,8	21,3	20,0	18,7	19,9
P3	21,1	22,6	23,2	24,3	24,8	24,8	24,3	22,9	20,1	20,7	19,3	20,5
P4	20,5	21,6	22,2	23,5	23,9	24,0	24,0	22,9	21,6	20,5	19,5	20,4
P5	20,9	21,5	22,4	22,9	24,1	23,7	24,4	23,5	21,0	21,6	21,0	21,1
P6	20,6	21,0	21,5	22,6	23,5	23,6	23,8	23,6	22,3	21,7	21,2	20,8
P7	20,5	21,5	22,3	23,8	24,2	24,1	24,0	22,0	22,3	19,0	18,5	19,9
Média	20,7	21,8	22,4	23,5	24,1	24,1	24,0	22,9	21,3	20,5	19,7	20,4
Máx.	21,1	23,0	23,2	24,3	24,8	24,8	24,4	23,6	22,3	21,7	21,2	21,1
Mín.	20,0	21,0	21,5	22,6	23,5	23,6	23,7	22,0	20,1	19,0	18,5	19,9
DP	0,39	0,74	0,66	0,63	0,42	0,46	0,25	0,53	0,80	0,93	1,05	0,44

Obs.: DP = desvio padrão

A Figura 5.19 ilustra o comportamento da variação mensal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento durante o período de 12 meses.

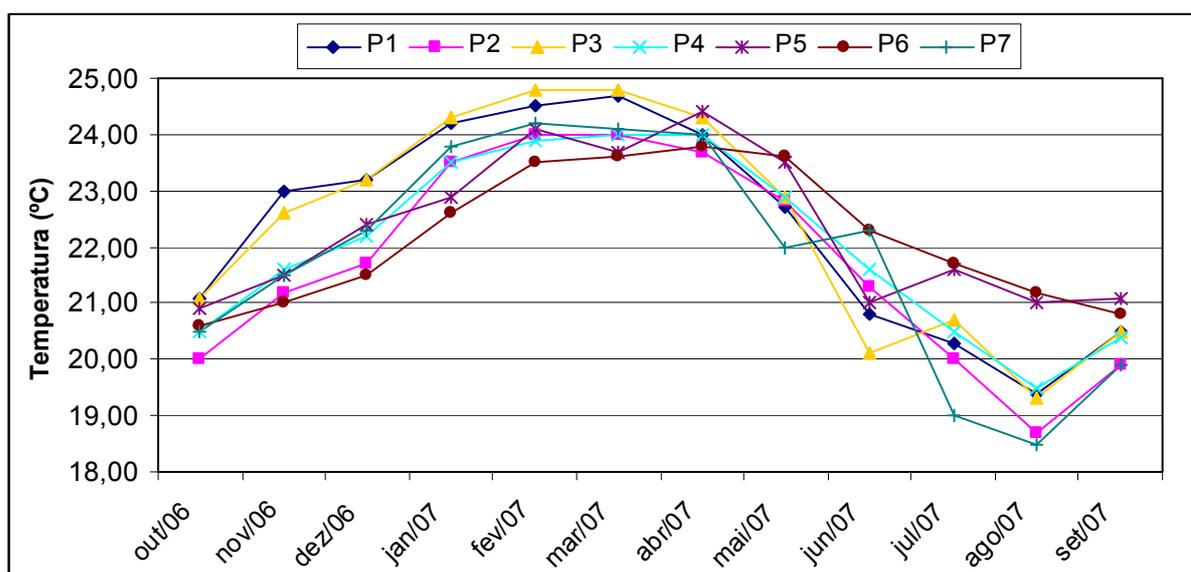


Figura 5.19 – Variação mensal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento.

Conforme a Figura 5.19, existe uma forte tendência no comportamento da variação da temperatura da água nos 7 poços durante o período monitorado. Conforme o gráfico, de outubro de 2006 até março de 2007, há um aumento constante na temperatura da água em todos os poços. A temperatura média da água subterrânea em outubro de 2006 foi de 20,7°C. Essa temperatura elevou-se com o decorrer dos meses, até atingir seu máximo valor, nos meses de fevereiro e março de 2007, onde se observou uma temperatura média de 24,1°C. A

partir do mês de abril, observou-se uma queda constante na temperatura da água subterrânea, até atingir em agosto de 2007, a menor temperatura média de todo período monitorado, com 19,7°C. No mês de setembro, verificou-se que a temperatura voltou a subir, atingindo nesse mês a média de 20,4°C.

Além da análise da variação mensal, fez-se a comparação da temperatura média mensal da água subterrânea, com a temperatura média do ar para os períodos de coleta. Desta forma, foi possível identificar os meses em que ocorreram inversões térmicas entre as temperaturas da água e do ar. Assim, obtiveram-se os resultados ilustrados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Variação mensal da temperatura média da água e do ar

<i>Meses</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	
	<i>Água</i>	<i>Ar</i>
Out/06	20,7	20,6
Nov/06	21,8	29,6
Dez/06	22,3	35,6
Jan/07	23,5	24,0
Fev/07	24,1	29,3
Mar/07	24,1	32,3
Abr/07	24,0	18,2
Mai/07	22,9	18,1
Jun/07	21,3	10,7
Jul/07	20,5	16,6
Ago/07	19,6	16,7
Set/07	20,4	27,5
<b>Média</b>	22,1	23,3
<b>Máximo</b>	24,1	35,6
<b>Mínimo</b>	19,6	10,7
<b>DP</b>	1,61	7,59

Obs.: DP = desvio padrão

A variação média mensal da temperatura da água subterrânea entre 19,6 a 24,1°C, com uma média de 22,1°C foi menor do que a do ar, 10,7 a 35,6°C, com uma média de 23,3°C, sendo que em alguns meses, a temperatura da mesma encontrou-se mais elevada, quando comparada com a do ar, conforme ilustra a Figura 5.20.

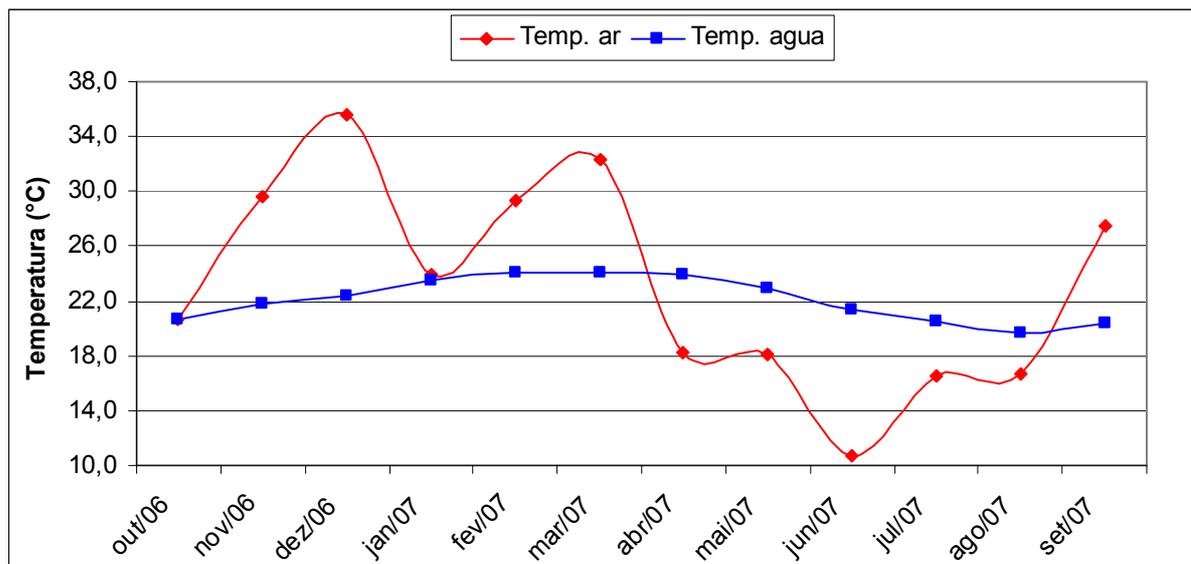


Figura 5.20 – Variação mensal da temperatura média da água e do ar.

De acordo com a Figura 5.20, as temperaturas da água e do ar obtiveram valores semelhantes nos meses de outubro de 2006 e janeiro de 2007. Após este período, a temperatura do ar foi mais elevada do que a da água. Isto ocorreu até o mês de março de 2007, pois a partir do mês de abril de 2007, a temperatura do ar caiu, tornando-se menor que a da água. A temperatura da água manteve-se maior do que a do ar, até o mês de agosto de 2007. Isso ocorre devido à disposição de camadas de solo acima do lençol freático, que protegem a mesma do contato direto com a superfície do ar, resultando numa menor variação da sua temperatura diária e mensal. Já, no mês de setembro de 2007, houve alteração térmica externa, onde a temperatura do ar tornou a ser maior que a da água.

Outro parâmetro estudado foi a C.E. da água subterrânea, sendo esta a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. Os resultados da variação mensal dos valores naturais de C.E. da água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.11.

Os valores de C.E. em cada poço variaram de 83  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no poço P4 (setembro de 2007) a 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no poço P2 (março de 2007). Em grande parte dos meses, o poço P7 apresentou os menores valores de C.E. Já, o poço P2, na maioria dos meses monitorados, apresentou os maiores valores de C.E.

Tabela 5.11 – Variação mensal dos valores naturais de C.E. nos 7 poços de monitoramento

Poço	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )											
	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07
P1	205	210	221	227	221	296	281	250	190	246	197	176
P2	303	396	432	473	399	520	467	445	322	158	250	272
P3	228	215	272	224	209	248	233	177	124	135	138	159
P4	151	261	276	309	249	215	200	131	143	84	100	83
P5	255	343	391	469	508	487	500	367	114	236	259	285
P6	187	262	301	327	318	352	346	262	350	217	249	244
P7	136	185	212	221	176	209	199	156	227	113	121	121
Média	209	267	301	321	297	332	318	255	210	170	188	191
Máx.	303	396	432	473	508	520	500	445	350	246	259	285
Mín.	136	185	212	221	176	209	199	131	114	84	100	83
DP	58,5	76,5	82,7	110,6	119,6	127,1	124,4	115,4	94,8	63,7	67,6	77,5

Obs.: DP = desvio padrão

Considerando-se os valores médios de C.E. em cada mês monitorado, obteve-se uma variação de 170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no mês de julho de 2007 a 332  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no mês de março de 2007.

A Figura 5.21 ilustra o comportamento da variação mensal dos valores naturais da C.E. da água nos 7 poços de monitoramento durante o período de 12 meses (outubro de 2006 a setembro de 2007).

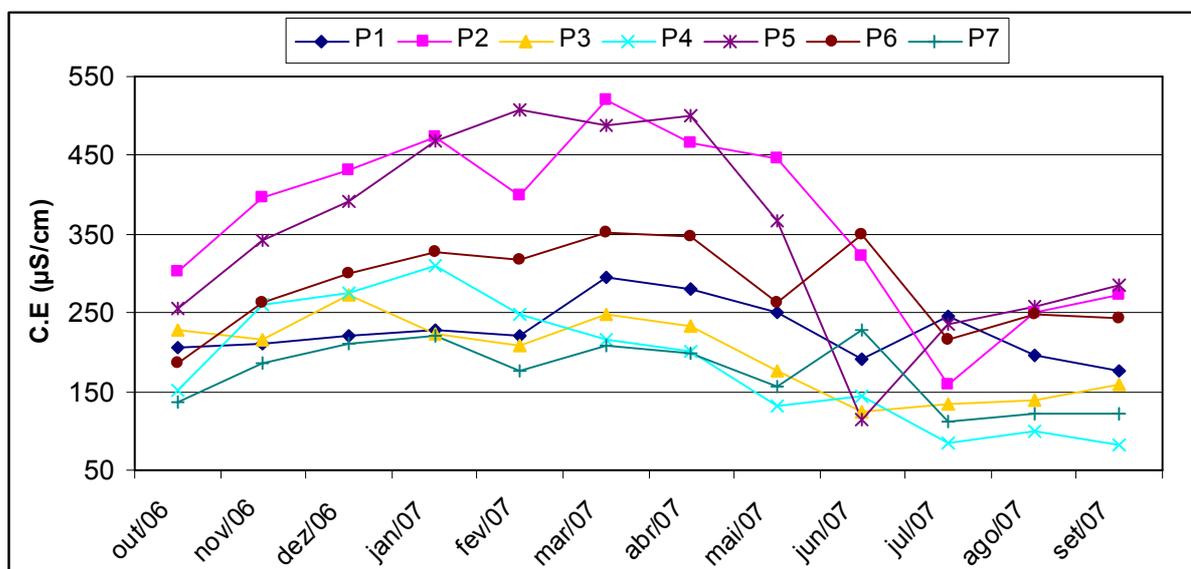


Figura 5.21 – Variação mensal dos valores naturais de C.E. nos 7 poços de monitoramento.

De acordo com a Figura 5.21, existe certa tendência no comportamento da variação mensal da C.E. da água nos 7 poços de monitoramento. Percebe-se que, apesar de

apresentarem valores diferentes, de outubro de 2006 até janeiro de 2007, houve um aumento constante na C.E. de quase todos os poços (exceto poço P3). A partir do mês de fevereiro de 2007, o valor da C.E. oscila consideravelmente entre os poços, chegando a um valor médio máximo no mês de março de 2007 e, a partir daí observa-se uma queda constante nos valores até o mês de julho de 2007.

Além da C.E., buscou-se estimar a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) na água subterrânea, ou seja, o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de STD e a C.E., podem-se estimar os teores de STDs pela medida de condutividade de uma água. Os resultados da variação mensal dos valores naturais dos STD na água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Variação mensal dos valores naturais dos STD nos 7 poços de monitoramento

<i>Poço</i>	<i>Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)</i>											
	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07
P1	133	136	144	147	144	192	183	162	123	160	128	114
P2	197	257	281	307	260	338	304	289	209	103	162	177
P3	148	140	177	146	136	161	152	115	80	88	89	103
P4	98	170	179	201	162	139	130	85	93	55	65	54
P5	166	223	254	305	330	316	325	239	74	153	168	185
P6	121	170	195	212	206	229	225	170	228	141	162	159
P7	88	120	138	144	114	136	130	101	147	73	79	78
<b>Média</b>	136	174	195	209	193	216	207	166	136	110	122	124
<b>Máx.</b>	197	257	281	307	330	338	325	289	228	160	168	185
<b>Mín.</b>	88	120	138	144	114	136	130	85	74	55	65	54
<b>DP</b>	38,2	49,7	53,7	71,8	77,8	82,6	80,7	75,1	61,8	41,3	43,8	50,5

Obs.: DP = desvio padrão

Os valores dos STD em cada poço variaram de 54 mg/L, no poço P4 (setembro de 2007) a 338 mg/L no poço P2 (março de 2007). Em grande parte dos meses, o poço P7 apresentou os menores valores de STD. Já, o poço P2, na maioria dos meses monitorados, apresentou os maiores valores, com o máximo no mês de março de 2007.

Assim, em todos os meses a água foi considerada doce, pois apresentou em todos os períodos nos 7 poços estudados, valores de STD inferiores a 500 mg/L. Salienta-se que no caso de ocorrer valores iguais ou maiores de 500 mg/L, a água seria considerada salobra (Resolução CONAMA, N°. 357/2005).

A Figura 5.22 ilustra o comportamento da variação mensal dos STD na água nos 7 poços de monitoramento durante o período de 12 meses.

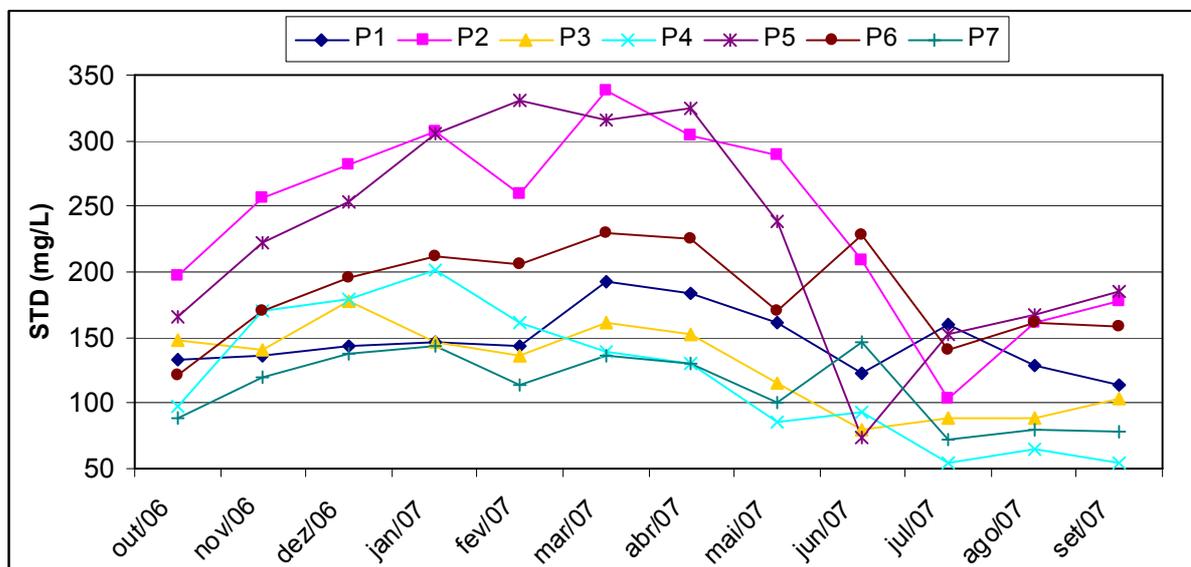


Figura 5.22 – Variação mensal dos valores naturais dos STD nos 7 poços de monitoramento.

Observa-se pela Figura 5.22 que o comportamento dos STD foi semelhante ao da condutividade elétrica. Isto se deve ao fato de que os STD serem estimados a partir do valor da CE. Na presente dissertação, para a estimativa dos STD utilizou-se o fator 0,65 (vide Capítulo III – Materiais e Métodos, Item 3.2.2 - Coleta e análise das amostras de água).

Por fim, foi avaliado a variação do parâmetro pH, que nos diz se a água é neutra, ácida ou básica (alcalina) e em que grau. A escala usada para medir o pH é logarítmica e varia de 0 a 14, sendo 7 o valor da água neutra. Os valores inferiores a 7 são ácidos e os superiores alcalinos ou básicos. Os resultados da variação mensal dos valores naturais do pH da água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.13.

Os valores de pH em cada poço variaram de 5,95, no poço P7 (maio de 2007) a 8,01 no poço P2 (junho de 2007). Somente no mês de junho de 2007, o poço P7 não apresentou o menor valor de pH. Já, o poço P2, na maioria dos meses monitorados, apresentou os maiores valores de pH. Assim, durante todos os meses monitorados a água no poço P7 caracterizou-se como ácida (valores inferiores a 7) e, no poço P2 como neutra a básica ou alcalina.

Tabela 5.13 – Variação mensal dos valores naturais do pH nos 7 poços de monitoramento

Poço	pH (Potencial Hidrogeniônico)											
	Out/06	Nov/06	Dez/06	Jan/07	Fev/07	Mar/07	Abr/07	Mai/07	Jun/07	Jul/07	Ago/07	Set/07
P1	7,51	7,34	7,53	7,67	7,70	7,68	7,91	7,62	7,63	7,95	7,90	7,67
P2	7,53	7,29	7,35	7,76	7,74	7,74	7,93	7,73	8,01	7,91	7,89	7,44
P3	7,10	7,09	6,79	7,19	7,2	7,10	7,28	6,88	6,13	7,15	7,21	6,99
P4	7,18	7,20	6,94	7,49	7,27	7,50	7,70	7,20	6,65	7,85	7,62	7,39
P5	6,43	6,41	6,23	6,64	6,47	6,71	6,92	6,53	7,14	6,67	6,67	6,81
P6	7,47	7,49	7,37	7,63	7,53	7,77	7,82	7,54	6,58	7,83	7,71	7,66
P7	6,05	6,01	6,02	6,23	6,22	6,22	6,42	5,95	7,85	6,26	6,25	6,27
Média	7,04	6,98	6,89	7,23	7,16	7,25	7,43	7,06	7,14	7,37	7,32	7,18
Máx.	7,53	7,49	7,53	7,76	7,74	7,77	7,93	7,73	8,01	7,95	7,90	7,67
Mín.	6,05	6,01	6,02	6,23	6,22	6,22	6,42	5,95	6,13	6,26	6,25	6,27
DP	0,58	0,55	0,58	0,58	0,60	0,60	0,58	0,65	0,72	0,69	0,64	0,51

Obs.: DP = desvio padrão

Considerando-se a média do pH em cada mês monitorado, obteve-se uma variação de 6,89 no mês de dezembro de 2006 a 7,43 no mês de abril de 2007, evidenciando-se no mínimo que ocorrem flutuações.

Quanto à faixa de valores mínimos e máximos de pH, obtidos durante o período de monitoramento, pode-se afirmar que os mesmos estão de acordo com os valores sugeridos por Feitosa & Manoel Filho (1997). Segundo esses autores, a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5.

A Figura 5.23 ilustra o comportamento da variação mensal dos valores naturais do pH da água nos 7 poços de monitoramento durante o período de 12 meses.

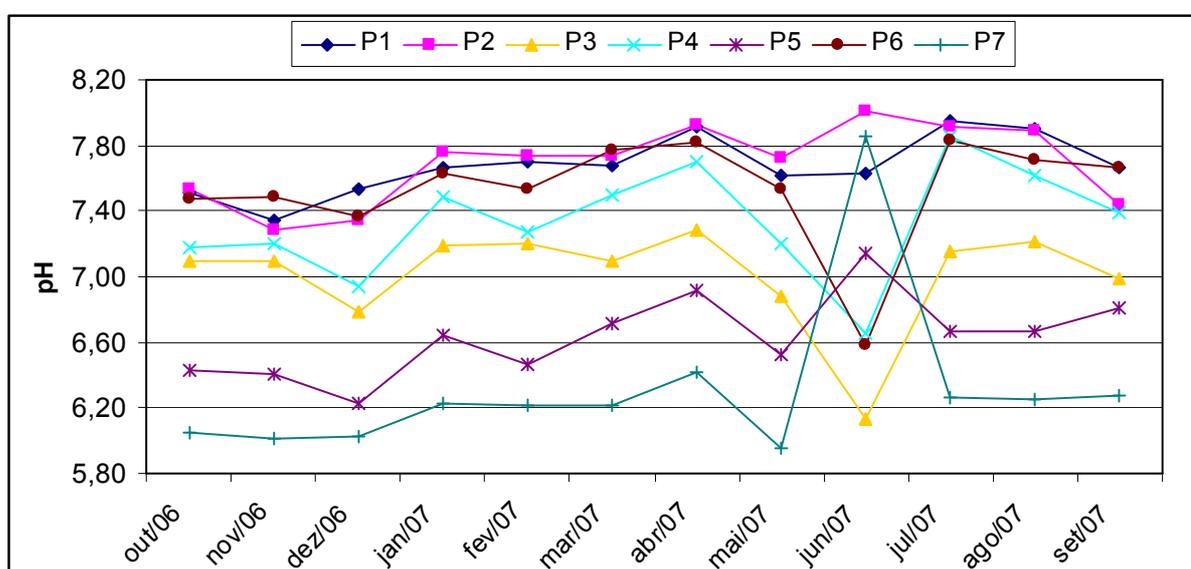


Figura 5.23 – Variação mensal dos valores naturais do pH nos 7 poços de monitoramento.

De acordo com a Figura 5.23, ocorreram tendências similares entre alguns poços. Os poços P1 e P2 apresentaram pouca variação mensal e, um comportamento semelhante na maioria dos meses monitorados. Os poços P3 e P4 apresentaram uma maior faixa de variação mensal e comportamento semelhante, assim como, os poços P5 e P7. As maiores flutuações ocorreram entre junho e julho de 2007, em período de estação chuvosa e fria no sul do país.

### 5.7 Análise de correlação entre as variáveis estudadas

Foram realizadas análises de correlação estatística entre os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, a precipitação pluviométrica e a temperatura do ar. Teve-se por objetivo, verificar e mensurar o grau de associação linear entre essas variáveis. As correlações foram determinadas por meio do coeficiente produto-momento (*product moment correlation coefficient*) de Karl Pearson, conhecido como  $r$  (Sokal & Rohlf, 1981). Esse coeficiente pode variar entre -1 e +1, expressando desde um comportamento inverso até um comportamento totalmente direto entre duas variáveis. Quando  $r = 0$  significa que não há correlação linear entre as variáveis. A Tabela 5.14 apresenta os resultados da análise de correlação, com níveis de significância  $p < 0,05$  e  $p < 0,01$ .

Tabela 5.14 – Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos, precipitação pluviométrica e temperatura do ar.

	Precipitação	Temp. ar	OD	Temp. água	CE	STD	pH
Precipitação	1	-	-	-	-	-	-
Temp. ar	0,10 <sup>ns</sup>	1	-	-	-	-	-
OD	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,83 <sup>**</sup>	1	-	-	-	-
Temp. água	-0,10 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	-0,48 <sup>ns</sup>	1	-	-	-
CE	-0,12 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>	0,93 <sup>**</sup>	1	-	-
STD	-0,11 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>*</sup>	0,93 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	1	
pH	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>*</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	1

\*. Correlação significativa a uma probabilidade de 5% de erro ( $p < 0,05$ ).

\*\* . Correlação é significativa a uma probabilidade de 1% de erro ( $p < 0,01$ ).

<sup>ns</sup> Não significativa

Obs.: para as análises de correlação utilizaram-se os valores médios mensais das variáveis estudadas.

Foram encontrados alguns valores estatisticamente significativos de correlação entre as variáveis estudadas.

Ocorreu correlação inversa do OD com a temperatura do ar ( $r = -0,83$ ;  $p < 0,01$ ).

A CE correlacionou-se inversamente com o OD ( $r = -0,64$ ;  $p < 0,05$ ) e, positivamente com a temperatura da água ( $r = 0,93$ ;  $p < 0,01$ ). Como citado outrora, os STD são estimados a partir dos valores de CE (multiplicando-se pelo fator 0,65). Dessa forma, existe uma perfeita associação positiva entre esses parâmetros ( $r = 1,00$ ;  $p < 0,01$ ) e com isso, os STD apresentaram as mesmas correlações ocorridas com a CE. Assim, de acordo com as correlações encontradas, a CE é uma grandeza diretamente proporcional à concentração iônica na água e varia em função da temperatura, para águas doces, isto é, com baixa concentração em STD (STD < 500 mg/L, Resolução N<sup>o</sup>. 357/2005). Além disso, a concentração de OD na água subterrânea é função da temperatura e do total de sais dissolvidos na água. Essas relações também são citadas por Feitosa & Manoel Filho (1997).

O pH correlacionou-se positivamente com o OD ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,05$ ). Procurou-se na literatura a explicação para tal fato ocorrido, sendo que nenhum relato da associação desses dois parâmetros foi encontrado.

## **5.8 Variação sazonal e comportamento espacial dos parâmetros físico-químicos**

Além da identificação de variações mensais, procurou-se identificar variações sazonais dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas. Também, fez-se a espacialização desses parâmetros para cada estação do ano. Assim, construíram-se cartogramas de espacialização para os períodos de primavera, verão, outono e inverno.

Os resultados da variação sazonal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.15.

Conforme observado na Tabela 5.15, os valores médios de O.D. apresentaram variação sazonal, sendo que o menor valor de concentração foi encontrado na primavera (0,80 mg/L) e o maior no inverno (1,74 mg/L), onde as temperaturas externas aos poços tendem a ser mais baixas. Percebe-se também, que existem diferenças significativas de valores de O.D. entre os poços para cada estação do ano.

Tabela 5.15 – Variação sazonal dos valores naturais de O.D. nos 7 poços de monitoramento

Poços	Oxigênio Dissolvido (mg/L)			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
P1	0,60	0,70	0,15	0,15
P2	0,17	0,73	0,45	0,25
P3	1,12	1,29	2,31	3,60
P4	0,43	0,94	2,83	2,30
P5	0,31	0,18	1,02	0,30
P6	1,89	1,56	1,73	3,62
P7	1,11	1,71	2,2	1,99
<b>Média</b>	0,80	1,02	1,53	1,74
<b>Máximo</b>	1,89	1,71	2,83	3,62
<b>Mínimo</b>	0,17	0,18	0,15	0,15
<b>DP</b>	0,60	0,54	1,01	1,54

Obs.: DP = desvio padrão

A sazonalidade dos valores naturais do parâmetro O.D. nos 7 poços de monitoramento, pode ser observada na Figura 5.24.

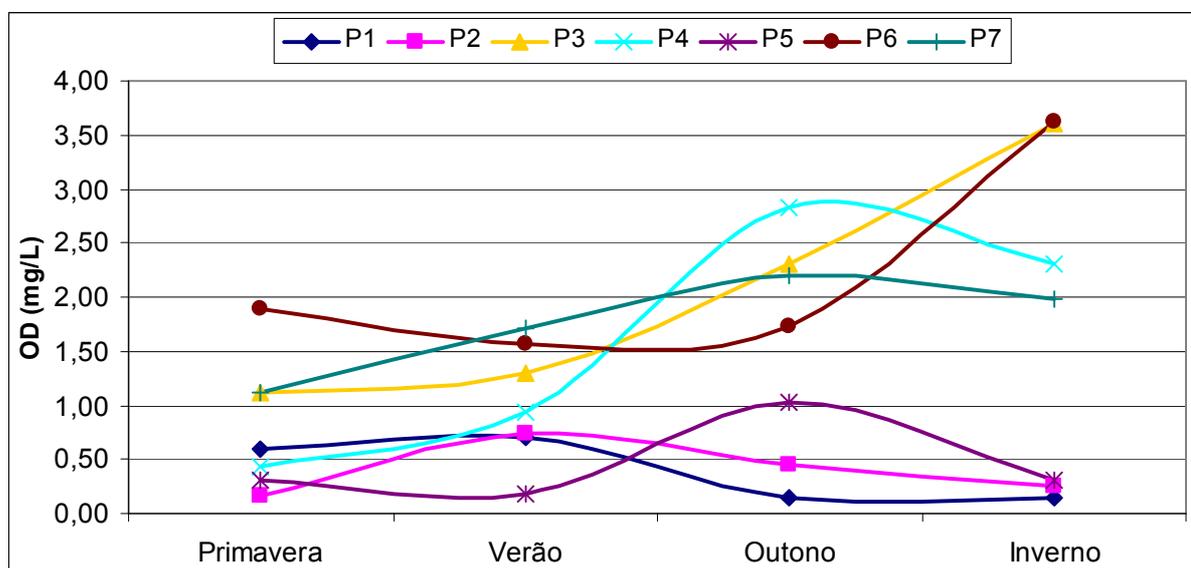


Figura 5.24 – Variação sazonal dos valores naturais do O.D. nos 7 poços de monitoramento.

De acordo com a Figura 5.24, observam-se comportamentos distintos entre os poços, sem um padrão definido. Os poços P1, P2 e P5, apresentaram os menores valores de O.D., com pouca variação sazonal. As maiores variações ocorreram nos poços P3, P4 e P6, assim como os maiores valores.

Foram realizadas espacializações do O.D. nas águas subterrâneas em cada estação do ano. Objetivou-se assim, identificar a variação espacial e temporal da concentração desse parâmetro na área estudada durante os períodos analisados.

As Figuras 5.25 a 5.28 apresentam o comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea, para as estações primavera, verão, outono e inverno.

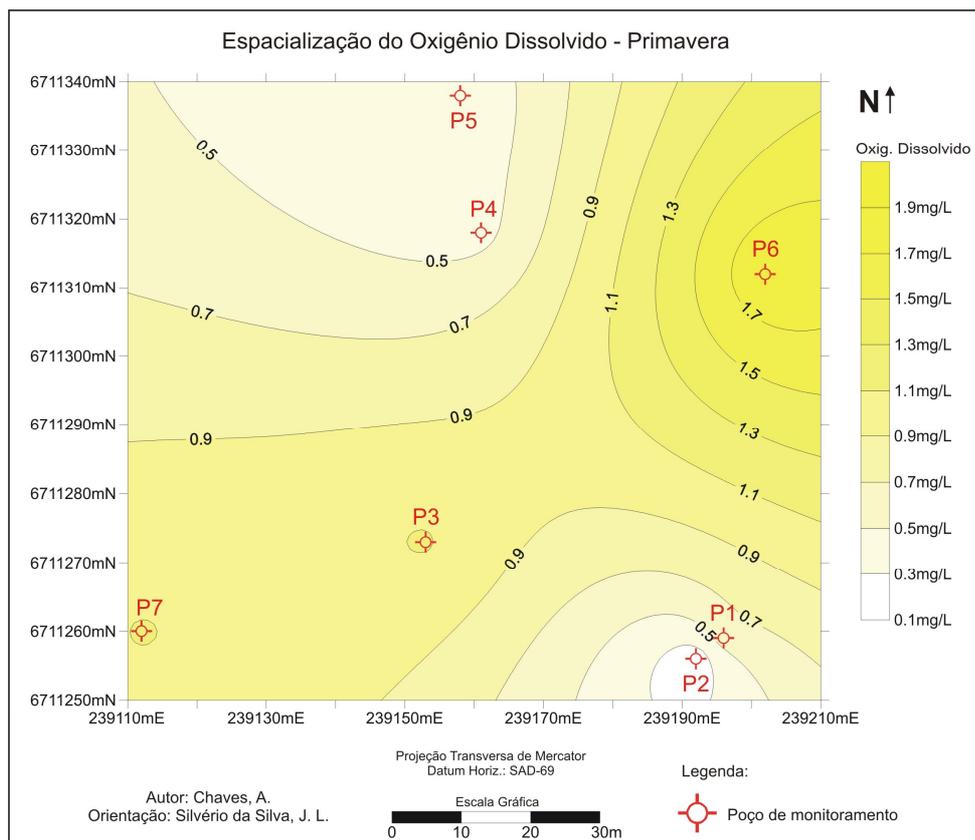


Figura 5.25 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada na primavera.

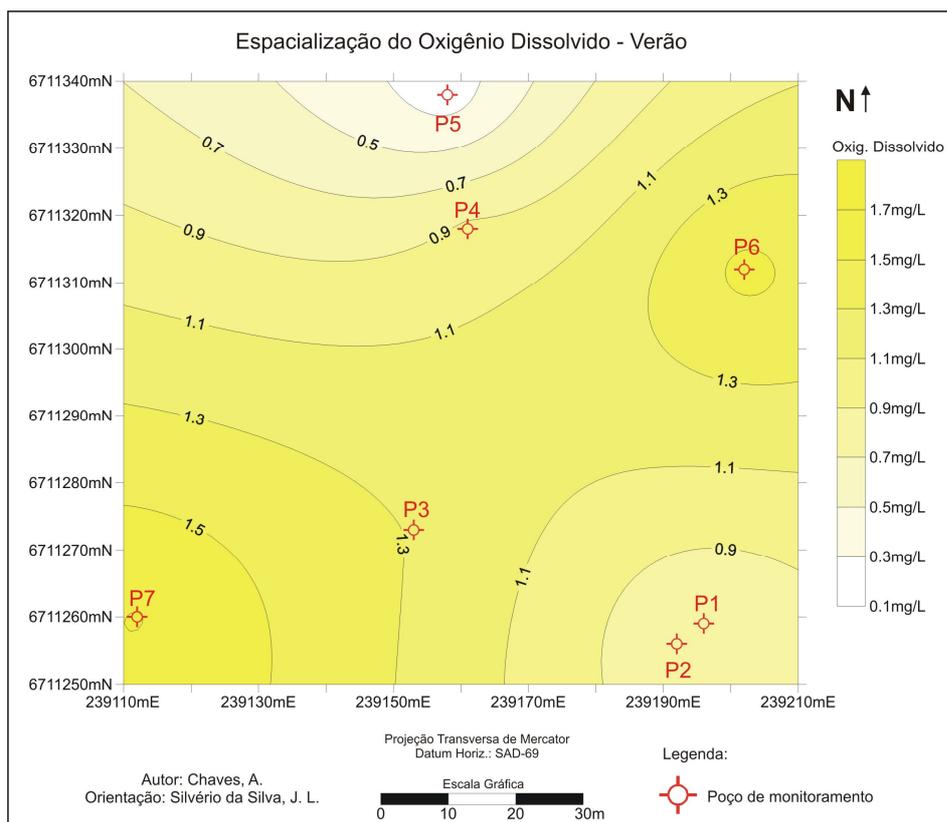


Figura 5.26 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada no verão.

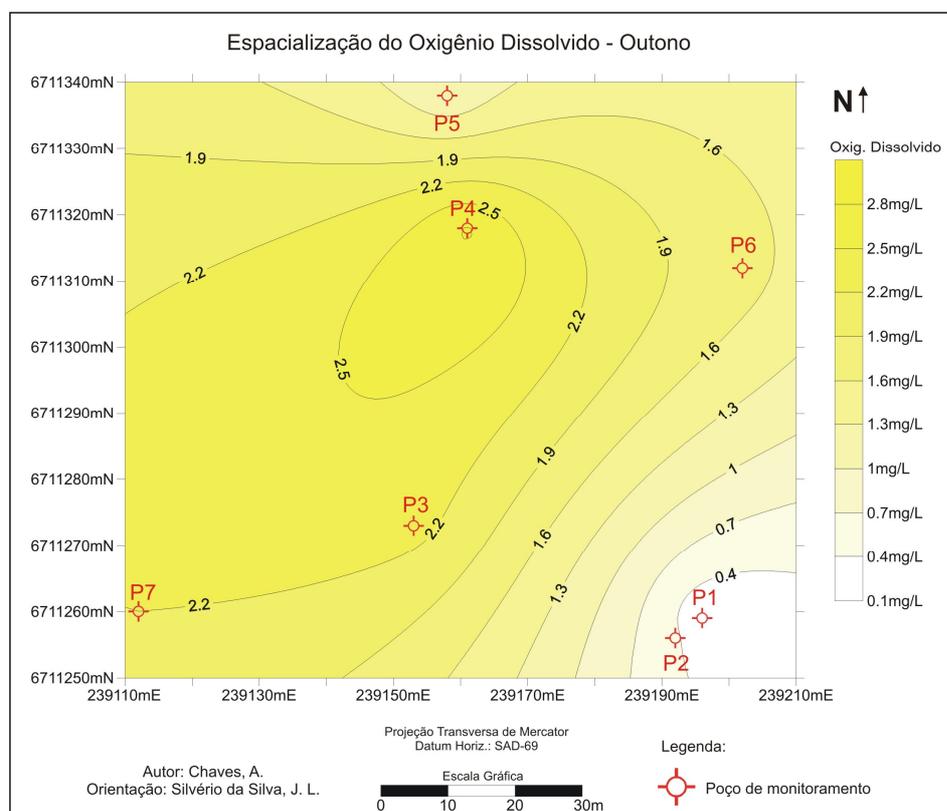


Figura 5.27 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada no outono.

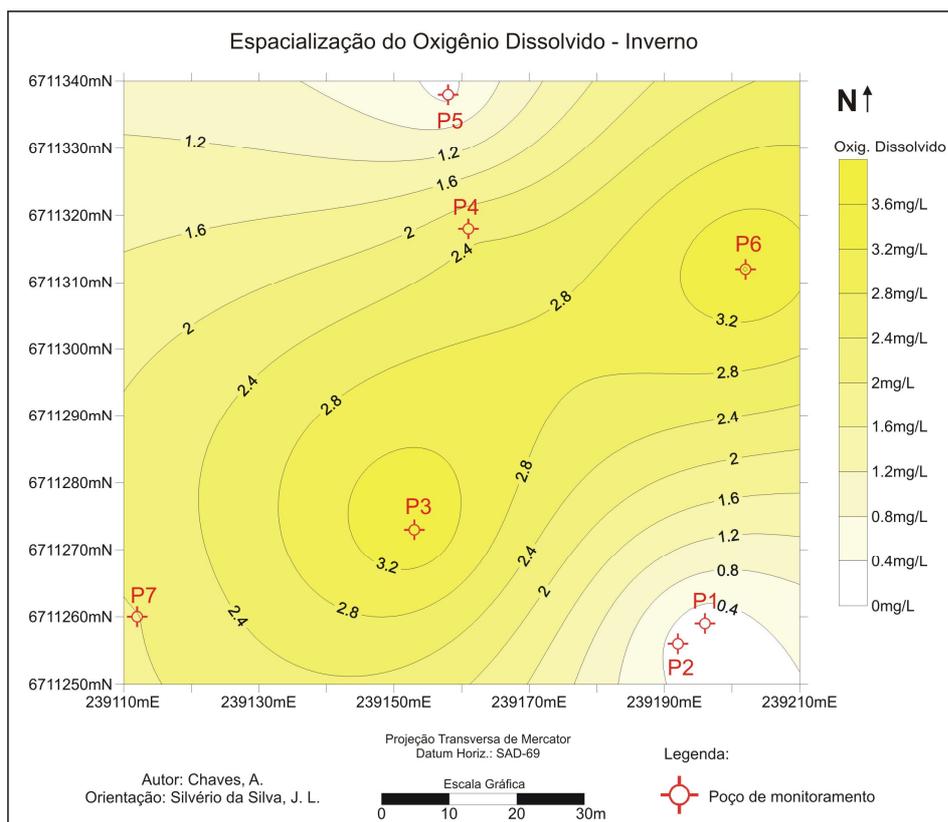


Figura 5.28 – Cartograma do comportamento espacial da concentração natural de O.D. na água subterrânea da área estudada no inverno.

Notou-se pouca variação na espacialização do O.D. nas estações de primavera e verão. Nesses períodos os valores extremos da concentração de O.D., encontram-se nos setores Sudeste e Noroeste para os mais baixos e, nos setores Nordeste e Sudoeste da área de estudo, para os mais altos. Nas estações de outono e inverno, houve alterações na espacialização dos valores de concentração de O.D. Em ambos os períodos, os menores valores encontraram-se nos setores extremo Sudeste e Norte. Quanto aos maiores valores, no outono houve uma área de maior valor que se iniciou no poço P4 e estendeu-se no sentido Norte, Nordeste e Sudeste. Já no inverno, ocorreram duas áreas com altos valores nos poços P3 e P6, onde se formou uma faixa no centro da área de estudo, delimitada pela isolinha de valor 2,8 mg/L. Os cartogramas indicam flutuações na distribuição espacial do O.D.

Avaliou-se também, a sazonalidade da temperatura da água. Os resultados da variação sazonal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Variação sazonal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento

<i>Poços</i>	<i>Temperatura da Água (°C)</i>			
	<b>Primavera</b>	<b>Verão</b>	<b>Outono</b>	<b>Inverno</b>
P1	22,4	24,5	22,5	20,1
P2	21,0	23,8	22,6	19,5
P3	22,3	24,6	22,4	20,2
P4	21,4	23,8	22,8	20,1
P5	21,6	23,6	23,0	21,2
P6	21,0	23,2	23,2	21,3
P7	21,4	24,0	22,8	19,1
<b>Média</b>	21,6	23,9	22,8	20,2
<b>Máximo</b>	22,4	24,6	23,2	21,3
<b>Mínimo</b>	21	23,2	22,4	19,1
<b>DP</b>	0,57	0,49	0,28	0,81

Obs.: DP = desvio padrão

Segundo Chaves (2007), em aquíferos profundos as águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Este fato foi constatado em estudos de aquíferos confinados profundos, em poços com faixa de profundidade de 86 a 180 metros, no município de São Luiz Gonzaga/ RS.

No entanto, em aquíferos freáticos pouco profundos, como o que se encontra na área de estudo (poços de monitoramento com seis metros de profundidade), existe influências das mudanças da temperatura atmosférica. Desta forma, em aquíferos freáticos, a temperatura da água subterrânea é o parâmetro mais influenciado pela sazonalidade.

Os valores médios da temperatura da água apresentaram uma variação sazonal de 3,7°C, sendo que o menor valor foi registrado no inverno (20,2°C) e o maior no verão (23,9°C). Percebe-se assim, uma sazonalidade na temperatura da água, devido a pouca profundidade do lençol freático na área de estudo, em aquífero semiconfinado (camada de argila da Formação Santa Maria Membro Alemoa)

A sazonalidade do parâmetro temperatura da água nos 7 poços de monitoramento, pode ser observada na Figura 5.29.

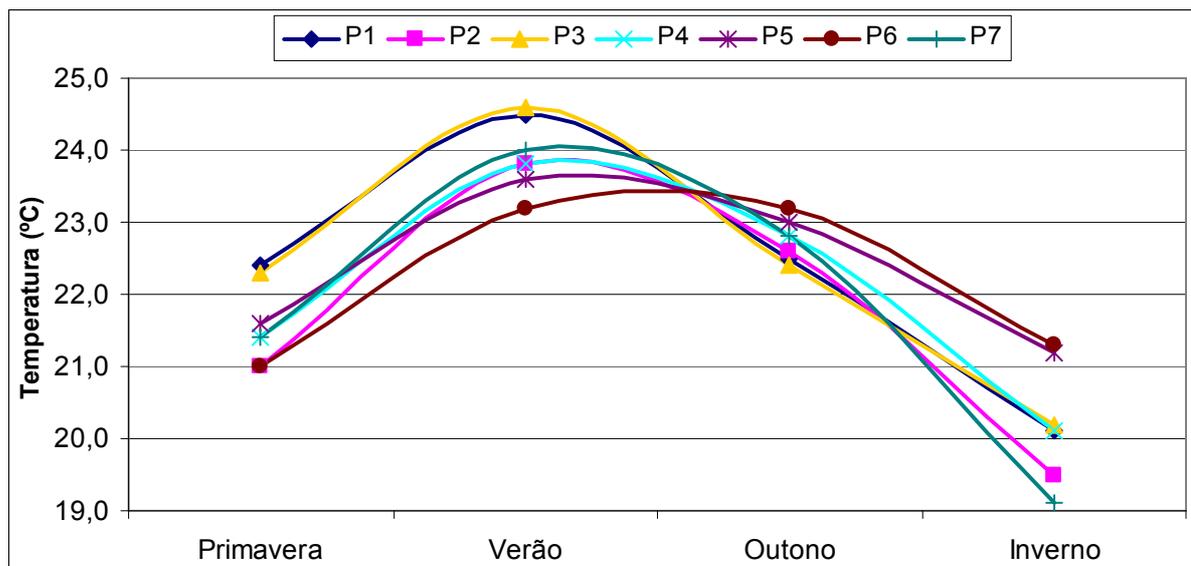


Figura 5.29 – Variação sazonal da temperatura da água nos 7 poços de monitoramento.

Observa-se pelo gráfico, que há uma variação nos valores de temperatura da água, registrando um claro padrão sazonal, onde os maiores valores são encontrados no verão e os menores no inverno. Percebe-se que não ocorre grande diferença nos valores de temperatura entre os 7 poços, uma vez que encontram-se a poucos metros de distância uns dos outros. No entanto, há certa tendência de inversão dos valores de alguns poços do período de verão para o de inverno. Notou-se que no verão os poços P5 e P6 apresentaram as menores temperaturas. Já no inverno, os mesmos poços registraram as maiores temperaturas. O que explica este fato, é o nível d'água destes poços, que foi o maior entre os 7 poços. Assim, eles recebem uma menor influência da temperatura atmosférica quando comparados aos outros poços que apresentaram níveis mais rasos.

Também foram realizadas espacializações da temperatura da água em cada estação do ano. As Figuras 5.30 a 5.33 apresentam o comportamento espacial da temperatura da água para as estações primavera, verão, outono e inverno.

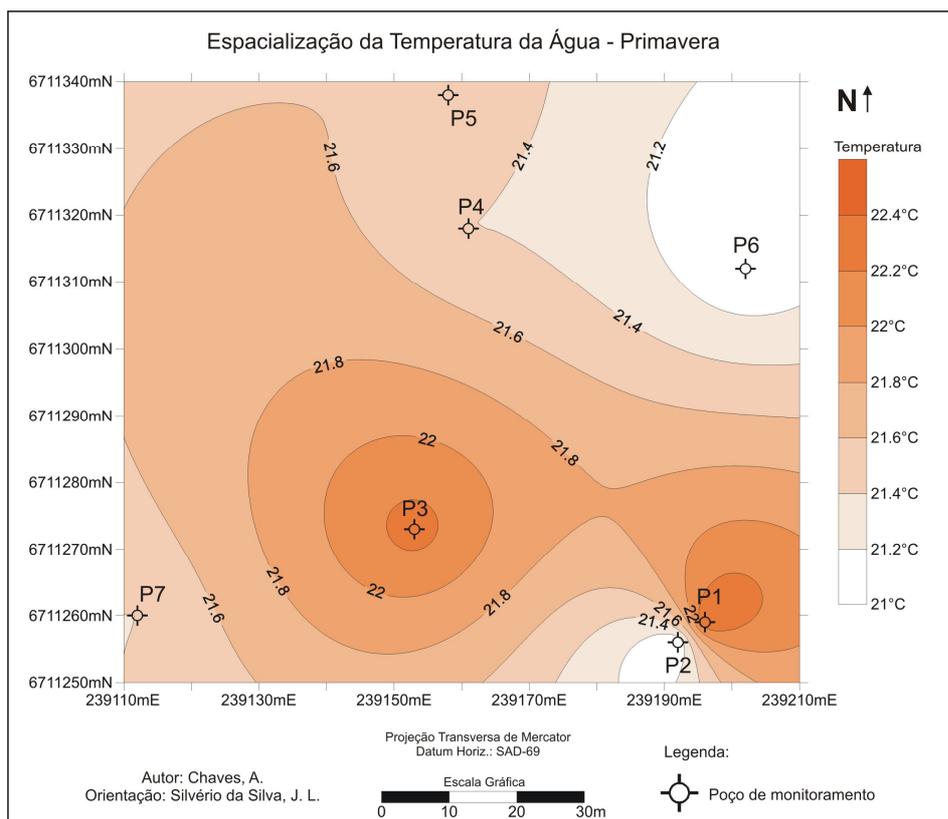


Figura 5.30 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo na primavera.

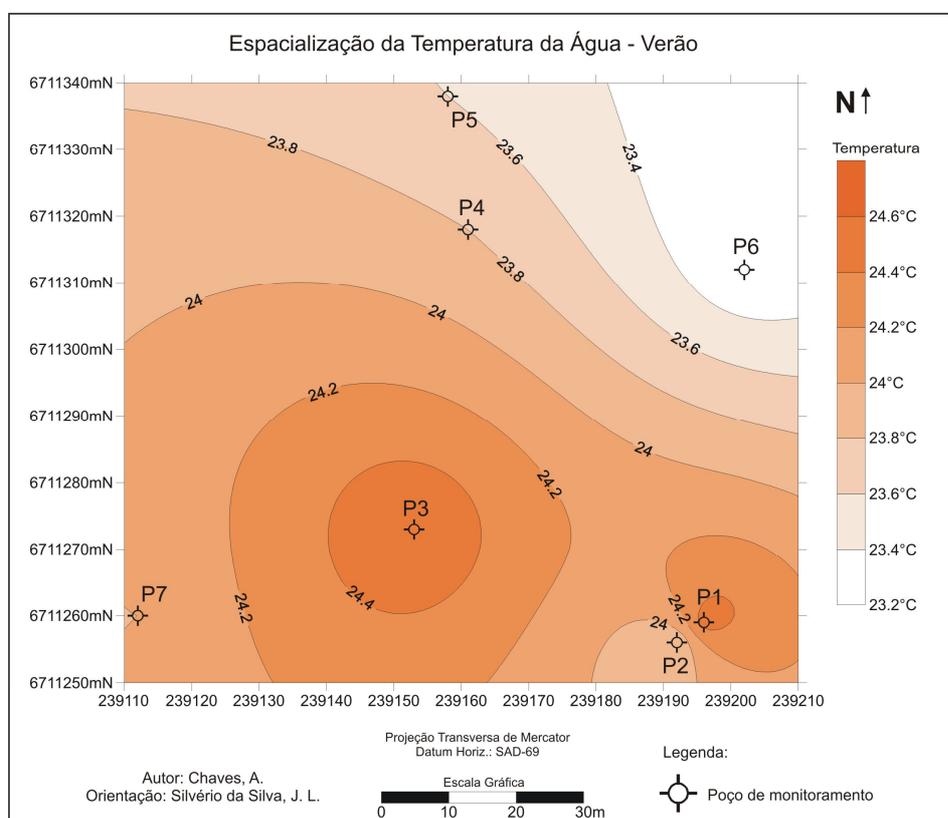


Figura 5.31 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo no verão.

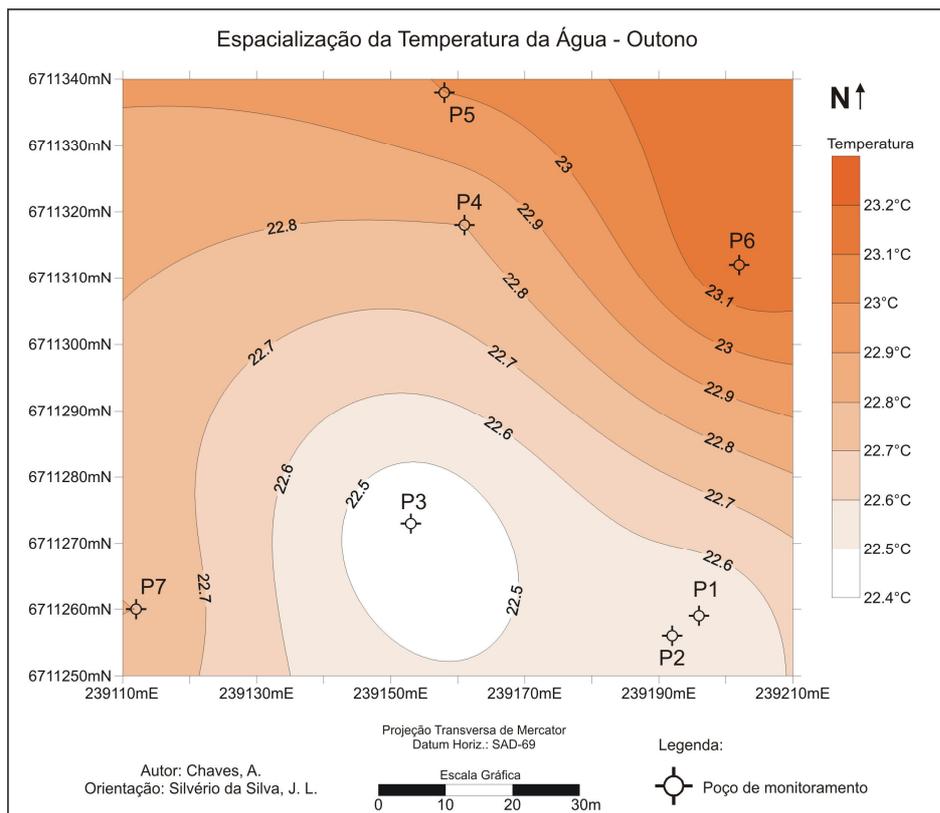


Figura 5.32 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo no outono.

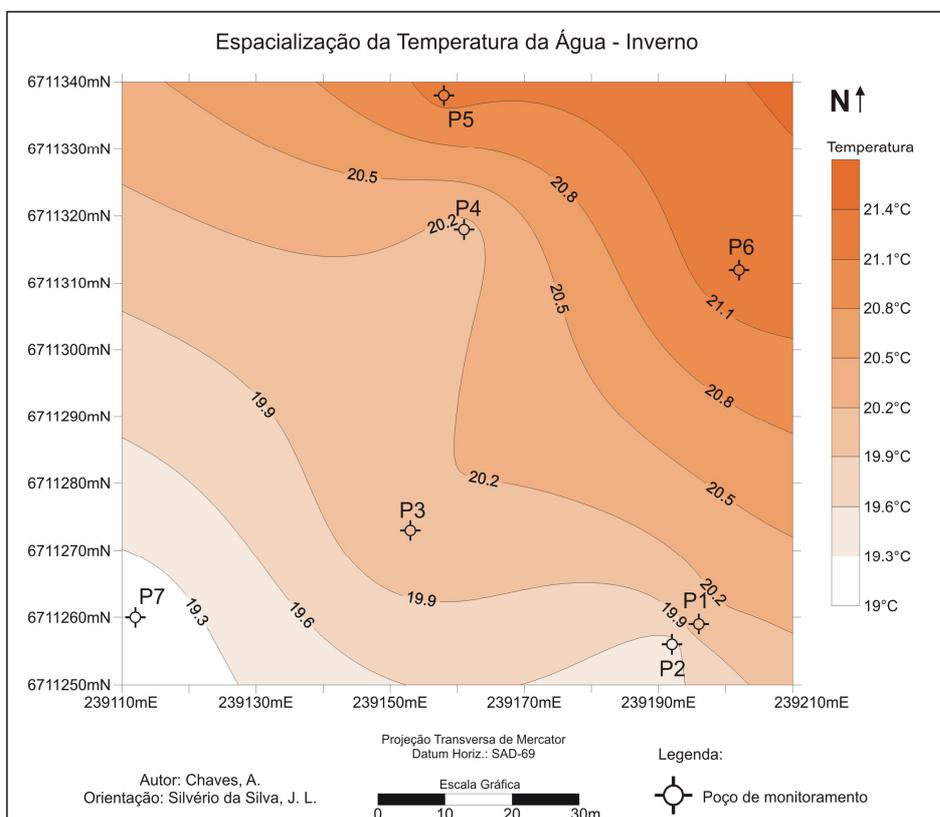


Figura 5.33 – Cartograma do comportamento espacial da temperatura da água subterrânea na área de estudo no inverno.

Quanto à espacialização dos valores de temperatura da água, notou-se pouca variação entre as estações primavera e verão. Os setores de maior temperatura neste período correspondem à área de influência dos poços com menor profundidade do lençol freático, e os setores de menor temperatura às áreas de influência dos poços com nível d'água mais profundos. Assim, as áreas de menor temperatura ocorreram no extremo Nordeste e, em uma pequena área de influência do poço P2, que nestes períodos apresentou-se com nível d'água mais profundo. As áreas de maior temperatura corresponderam a uma faixa entre os poços P1 e P3.

Nos períodos de outono e inverno houve uma mudança na espacialização da temperatura da água. As maiores temperaturas encontraram-se no extremo Nordeste da área de estudo, sob influência do poço P6. As menores temperaturas ocorreram nos setores Sul e Sudeste. No outono houve inversão térmica na temperatura da água no setor Nordeste.

Outro parâmetro avaliado quanto a sua sazonalidade foi a C.E. Os resultados da variação sazonal dos valores naturais de C.E. da água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Variação sazonal dos valores naturais de C.E. da água nos 7 poços de monitoramento

<i>Poços</i>	<i>Condutividade Elétrica (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</i>			
	<b>Primavera</b>	<b>Verão</b>	<b>Outono</b>	<b>Inverno</b>
P1	212	248	271	206
P2	377	464	411	227
P3	238	227	178	144
P4	229	258	158	89
P5	330	488	327	260
P6	250	332	319	237
P7	178	202	194	118
<b>Média</b>	259	317	265	183
<b>Máximo</b>	377	488	411	260
<b>Mínimo</b>	178	202	158	89
<b>DP</b>	69,71	115,93	93,25	65,69

Obs.: DP = desvio padrão

Observando-se a Tabela 5.17, nota-se que houve sazonalidade nos valores médios de condutividade elétrica, sendo que o menor valor foi no inverno (183  $\mu\text{S/cm}$ ) e o maior no verão (317  $\mu\text{S/cm}$ ), estando esta variação diretamente relacionada ao comportamento sazonal da temperatura da água ( $r = 0,93$ ;  $p < 0,01$ ).

A sazonalidade dos valores naturais do parâmetro C.E. nos 7 poços de monitoramento, pode ser observada na Figura 5.34.

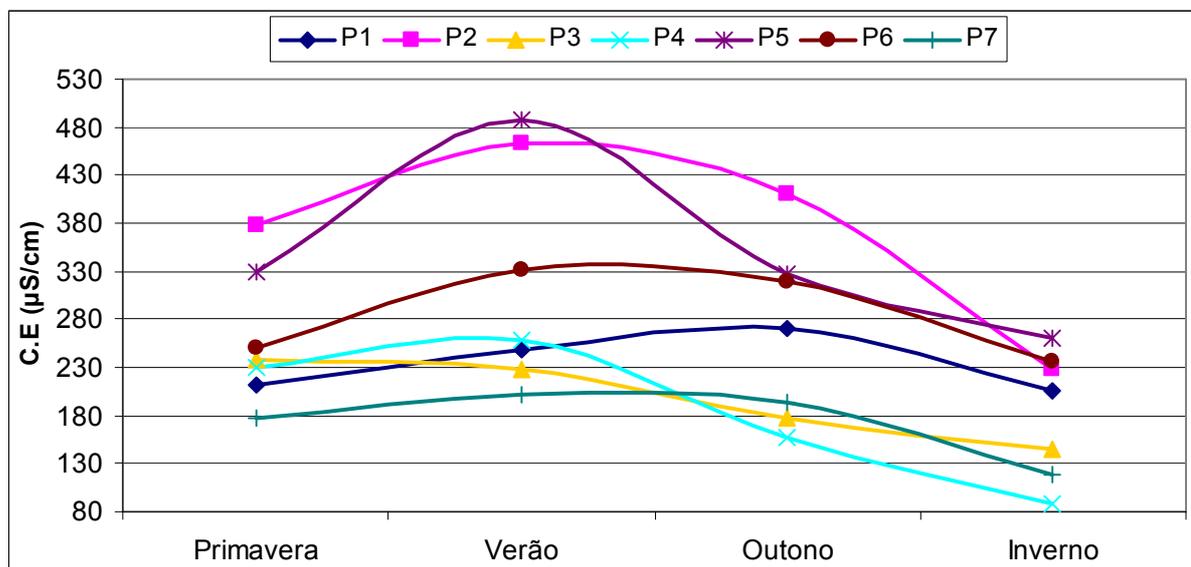


Figura 5.34 – Variação sazonal dos valores naturais da C.E. da água nos 7 poços de monitoramento.

Como ocorreu correlação direta da C.E. com temperatura da água, observa-se que houve também uma variação nos valores de C.E., registrando um claro padrão sazonal, onde os maiores valores são encontrados no verão e os menores no inverno (vide Figura 5.29).

Analisando-se o comportamento sazonal dos poços, nota-se que a maioria apresentou uma variação constante, com exceção dos poços P4 e P5.

O menor valor médio de C.E. foi no poço P4, no período de inverno ( $89 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), sendo que o maior valor médio foi no poço P5, no período de verão ( $488 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Fez-se também, as espacializações da C.E. da água em cada estação do ano. As Figuras 5.35 a 5.38 apresentam o comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea para as estações primavera, verão, outono e inverno.

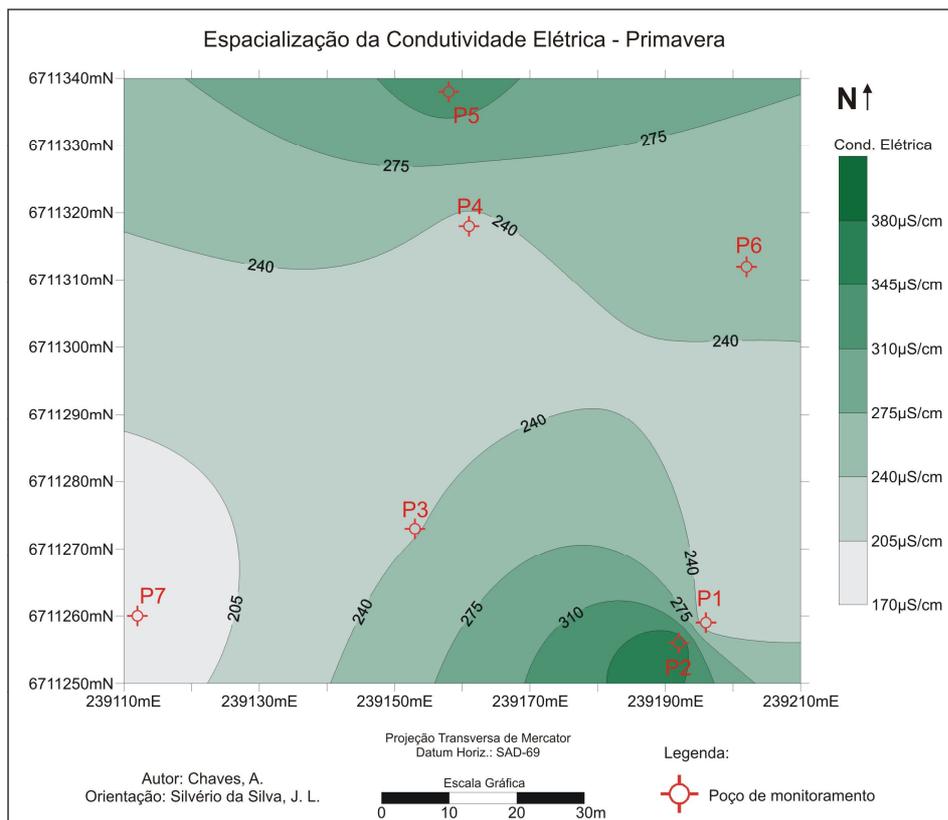


Figura 5.35 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada na primavera.

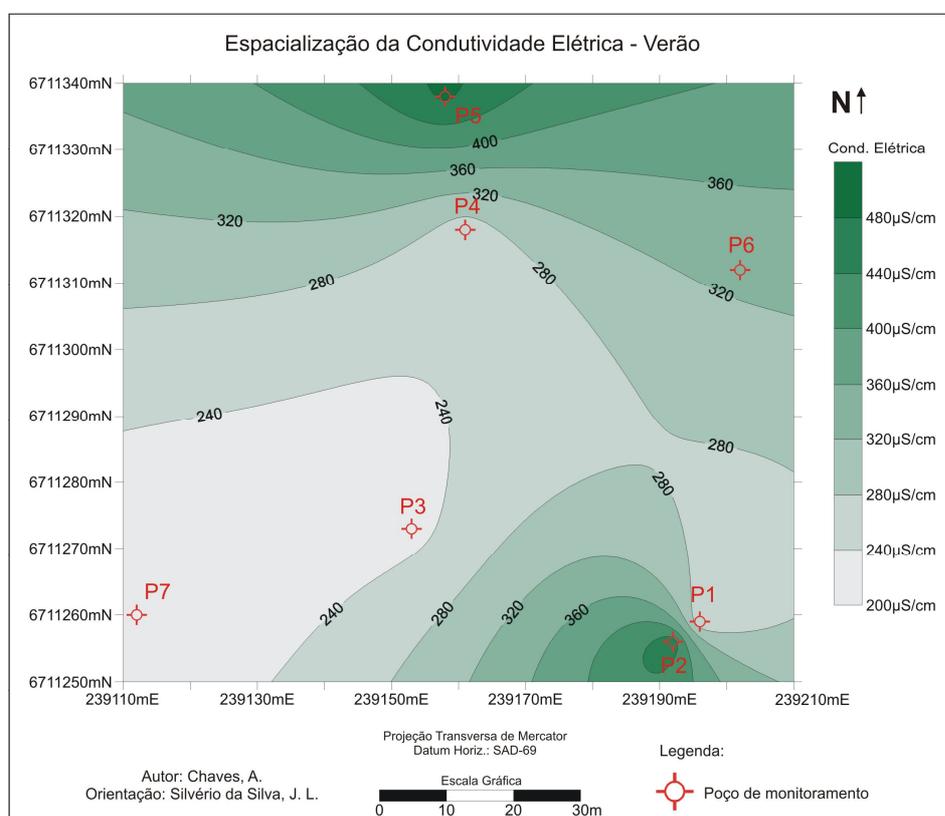


Figura 5.36 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada no verão.

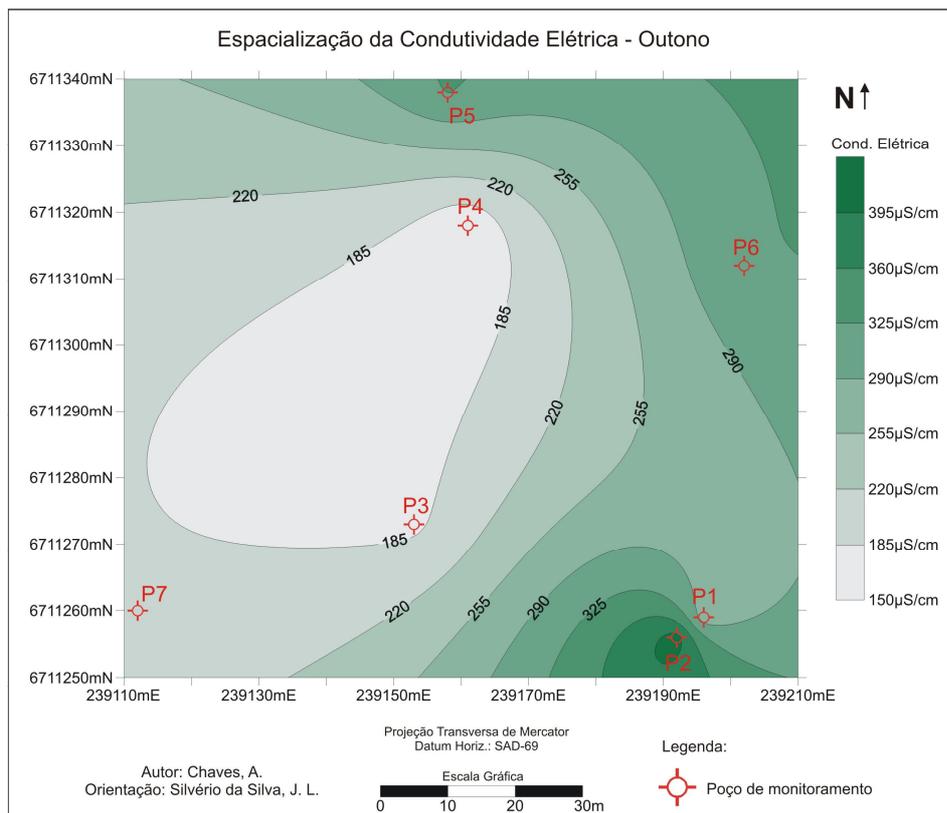


Figura 5.37 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada no outono.

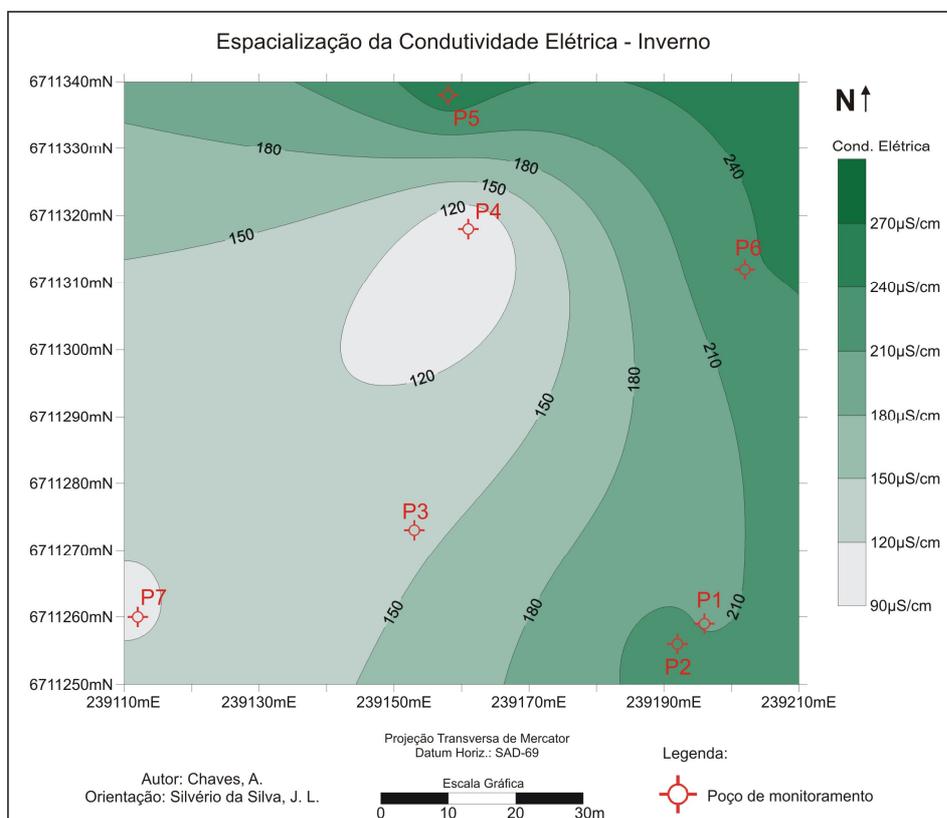


Figura 5.38 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais de C.E. na água subterrânea da área estudada no inverno.

Quanto à distribuição espacial da C.E., percebeu-se que não há grande variação entre as estações primavera e verão. Nesses dois períodos, as áreas de maior concentração desse parâmetro foram os setores Sul - Sudeste e Norte e, a área de menor concentração o setor Sudoeste da área de estudo. No outono e inverno, as áreas de maior concentração de C.E. estenderam-se do centro para o lado Leste da área, observando-se alguns pontos de alta concentração nos poços P2 e P5. As áreas de menor concentração estenderam-se da área de influência do poço P4, ao Norte, para Sudoeste em direção ao poço P7. Por meio da observação dos valores das isolinhas dos 4 cartogramas dos períodos avaliados, percebe-se um aumento geral da concentração de C.E. da primavera para o verão e, uma diminuição dessa concentração do outono para o inverno. Nota-se assim, uma sazonalidade espacial da C.E., influenciada pela variação da temperatura da água nesses períodos, já que houve correlação direta significativa entre esses parâmetros em todo o ano de monitoramento.

Salienta-se que ao comparar os cartogramas, simularam-se diferentes amplitudes de variação entre valores máximos e mínimos, evidenciados pelo maior desvio padrão no verão e menor no inverno.

A partir dos valores de C.E., estimaram-se os valores dos STD nas águas subterrâneas. Os resultados da variação sazonal dos valores naturais dos STD na água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Variação sazonal dos valores naturais dos STD nos 7 poços de monitoramento

<i>Poços</i>	<i>Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)</i>			
	<b>Primavera</b>	<b>Verão</b>	<b>Outono</b>	<b>Inverno</b>
P1	138	161	156	134
P2	245	302	267	147
P3	155	147	116	93
P4	149	167	103	58
P5	214	317	213	169
P6	162	216	208	154
P7	115	131	126	77
<b>Média</b>	168	206	170	119
<b>Máximo</b>	245	317	267	169
<b>Mínimo</b>	115	131	103	58
<b>DP</b>	45,31	75,60	60,88	42,61

Obs.: DP = desvio padrão

Nota-se que houve sazonalidade nos valores médios dos STD, sendo que o menor valor foi no inverno (119 mg/L) e o maior no verão (206 mg/L).

A sazonalidade dos valores naturais do parâmetro STD nos 7 poços de monitoramento, pode ser observada na Figura 5.39.

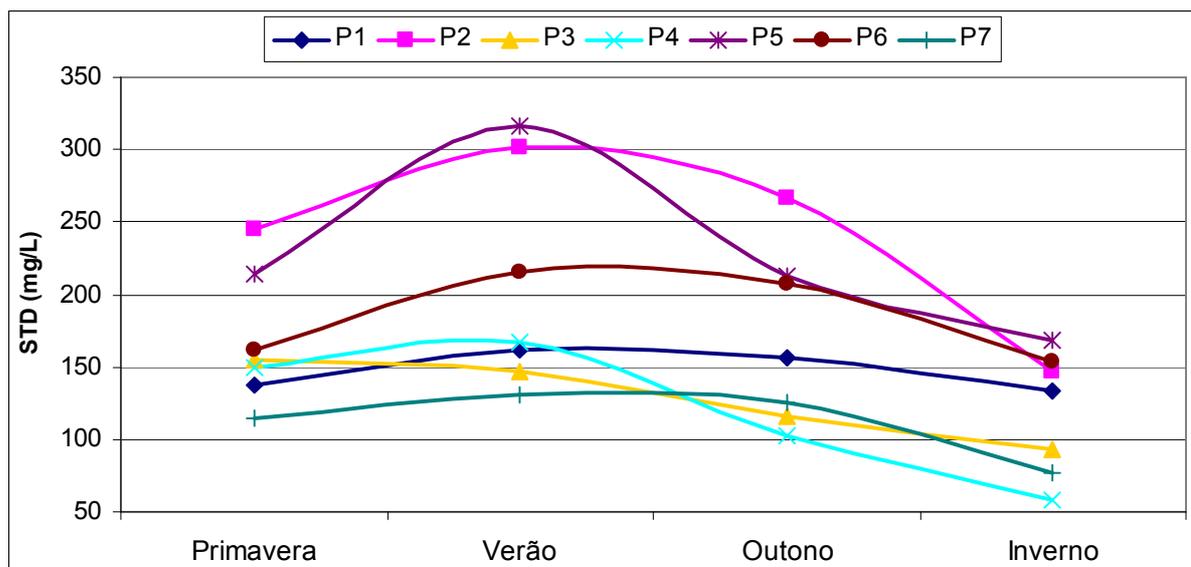


Figura 5.39 – Variação sazonal dos valores naturais dos STD na água nos 7 poços de monitoramento.

Uma vez que os STD representam a concentração de todo o material dissolvido na água, cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) e ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ) é comum que o comportamento desse parâmetro seja semelhante ao comportamento da C.E.

As Figuras 5.40 a 5.43 apresentam o comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água para as estações primavera, verão, outono e inverno.

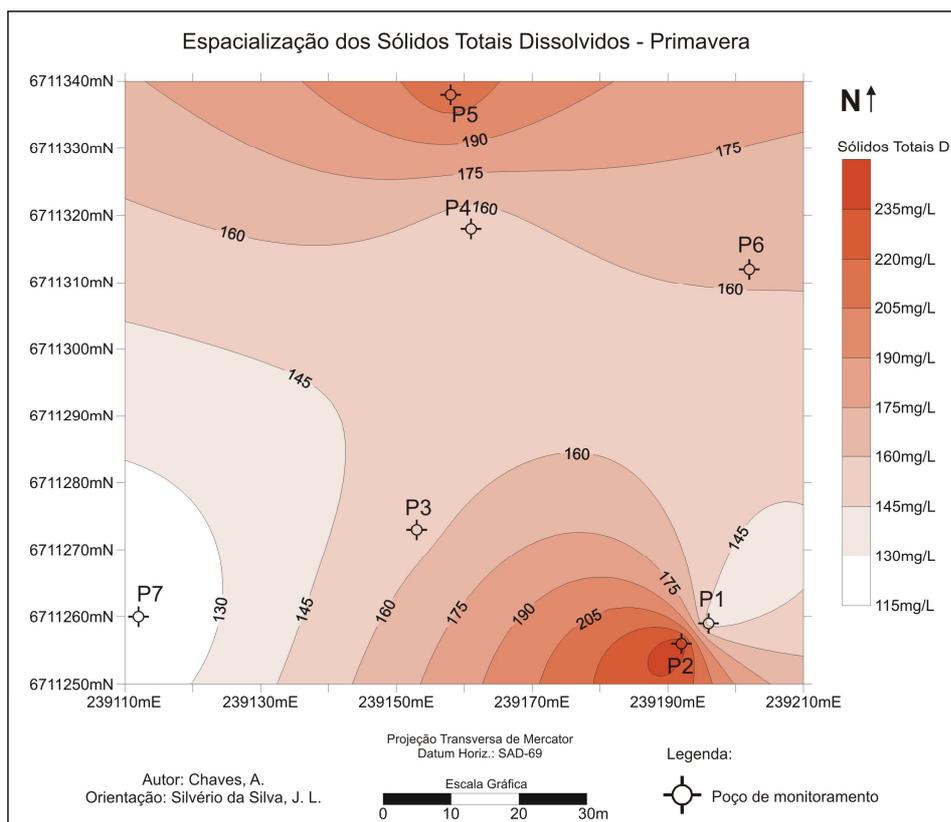


Figura 5.40 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada na primavera.

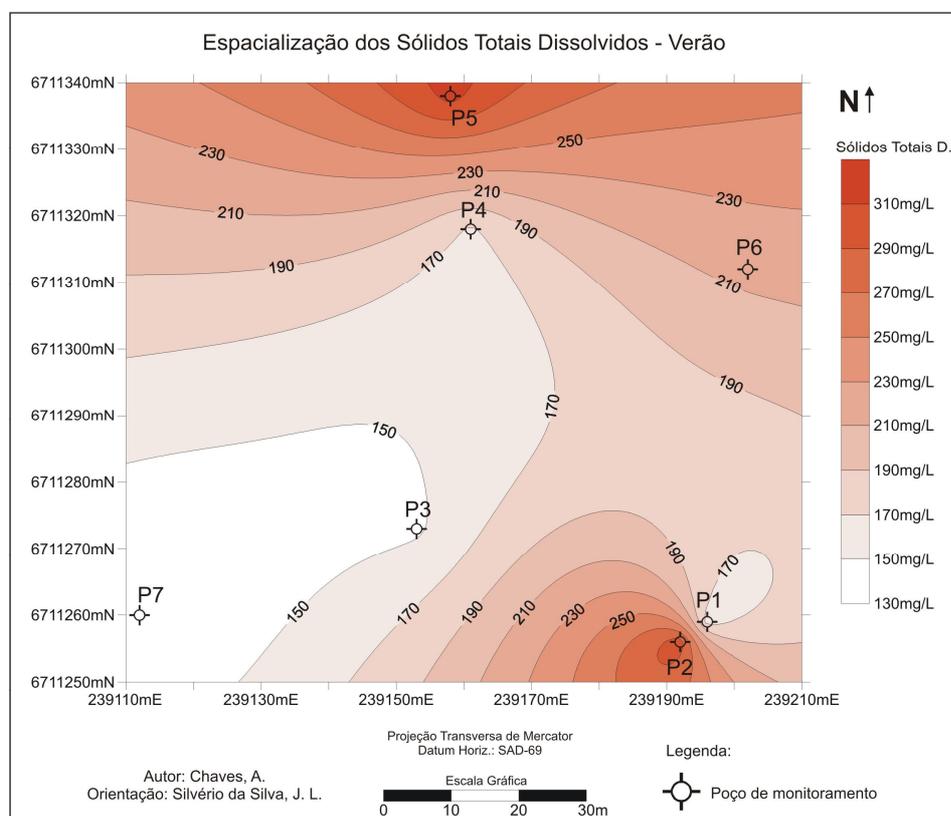


Figura 5.41 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada no verão.

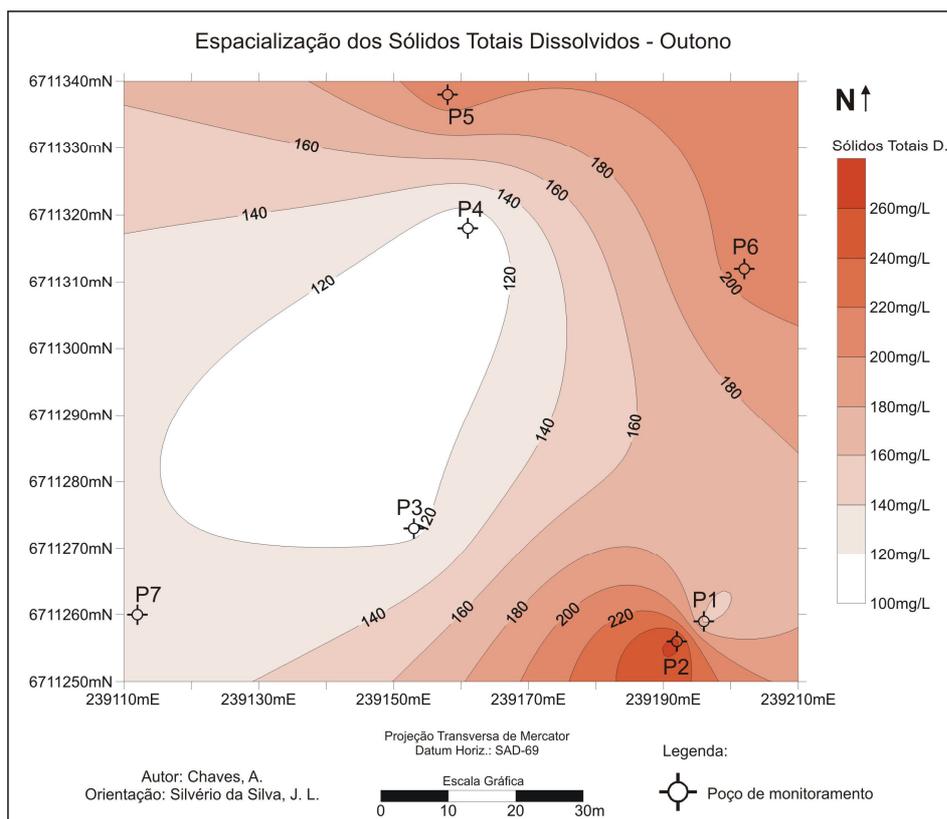


Figura 5.42 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada no outono.

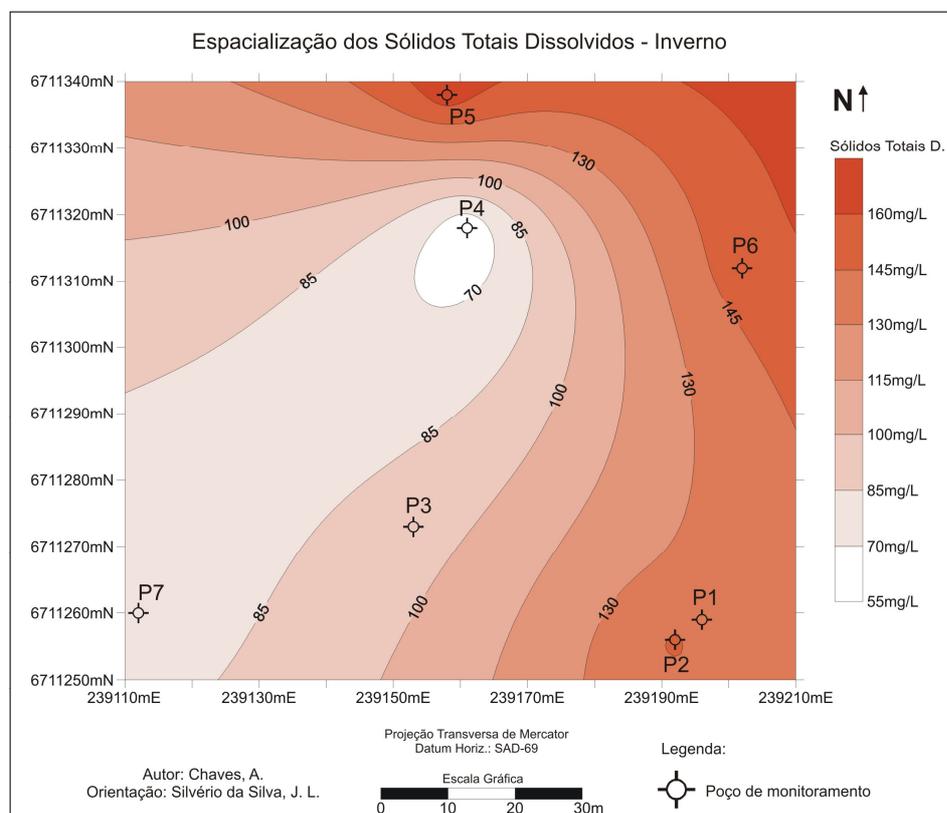


Figura 5.43 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais dos STD na água subterrânea da área estudada no inverno.

Observando-se os cartogramas da espacialização dos STD, nota-se um comportamento idêntico ao da C.E., conforme esperado.

Por fim, avaliou-se o comportamento sazonal do pH da água. Os resultados da variação sazonal dos valores naturais do pH da água nos 7 poços de monitoramento são apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 – Variação sazonal dos valores naturais de pH nos 7 poços de monitoramento

Poços	Potencial Hidrogeniônico (pH)			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
P1	7,46	7,69	7,72	7,84
P2	7,39	7,75	7,89	7,75
P3	6,99	7,16	6,76	7,12
P4	7,11	7,42	7,19	7,62
P5	6,36	6,61	6,86	6,71
P6	7,44	7,64	7,32	7,73
P7	6,03	6,22	6,74	6,26
<b>Média</b>	6,97	7,21	7,21	7,29
<b>Máximo</b>	7,46	7,75	7,89	7,84
<b>Mínimo</b>	6,03	6,22	6,74	6,26
<b>DP</b>	0,56	0,59	0,46	0,61

Obs.: DP = desvio padrão

Nota-se que houve pouca variação sazonal nos valores médios de pH. O valor médio mínimo foi na primavera (6,97) e o médio máximo no inverno (7,29). A sazonalidade do pH nos 7 poços de monitoramento, pode ser observada na Figura 5.44.

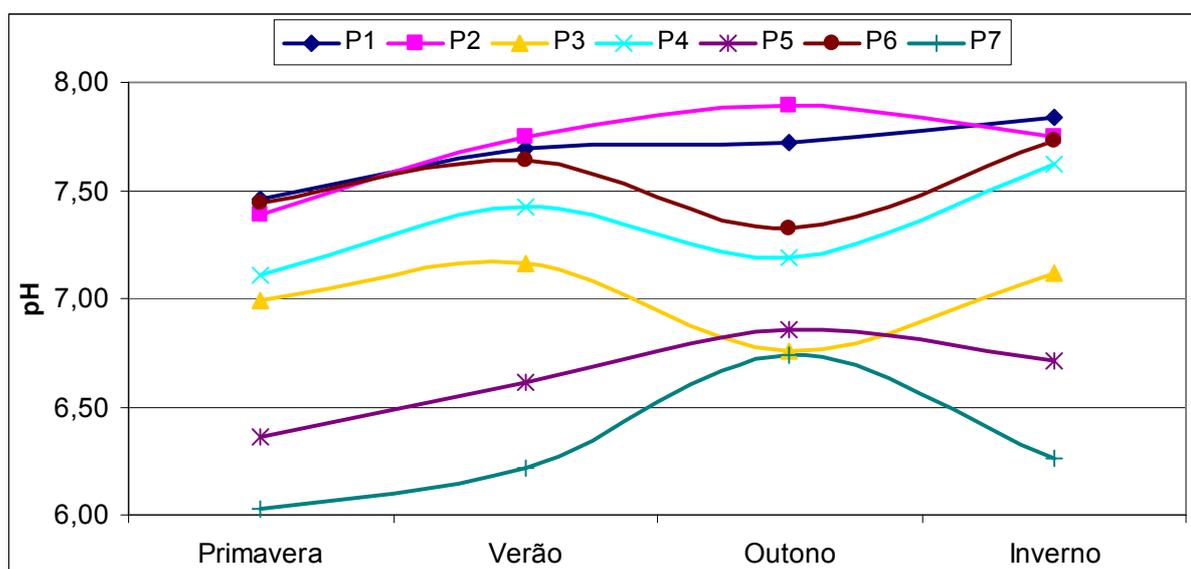


Figura 5.44 – Variação sazonal dos valores naturais do pH da água nos 7 poços de monitoramento.

Analisando-se o comportamento do pH nos 7 poços de monitoramento, percebe-se a ocorrência de pouca variação entre os valores, sem a observação de nenhum padrão sazonal evidente. O pH nos diz se a água é neutra, ácida ou básica (alcalina) e em que grau. Nota-se, que durante todas as estações estudadas, os poços P5 e P7, apresentaram pH abaixo de 7, revelando águas ácidas. Todos os outros poços (com exceção do poço P3 nos período de primavera e outono), apresentaram valores de pH maiores que 7, revelando águas neutras ( $\approx 7,0$ ) e com uma pequena tendência a um aumento de alcalinidade.

O menor valor médio de pH foi no poço P7, no período de primavera (6,03), sendo que o maior valor médio foi no poço P2, no período de outono (7,89).

As Figuras 5.45 a 5.48 apresentam o comportamento espacial dos valores naturais do pH da água para as estações primavera, verão, outono e inverno.

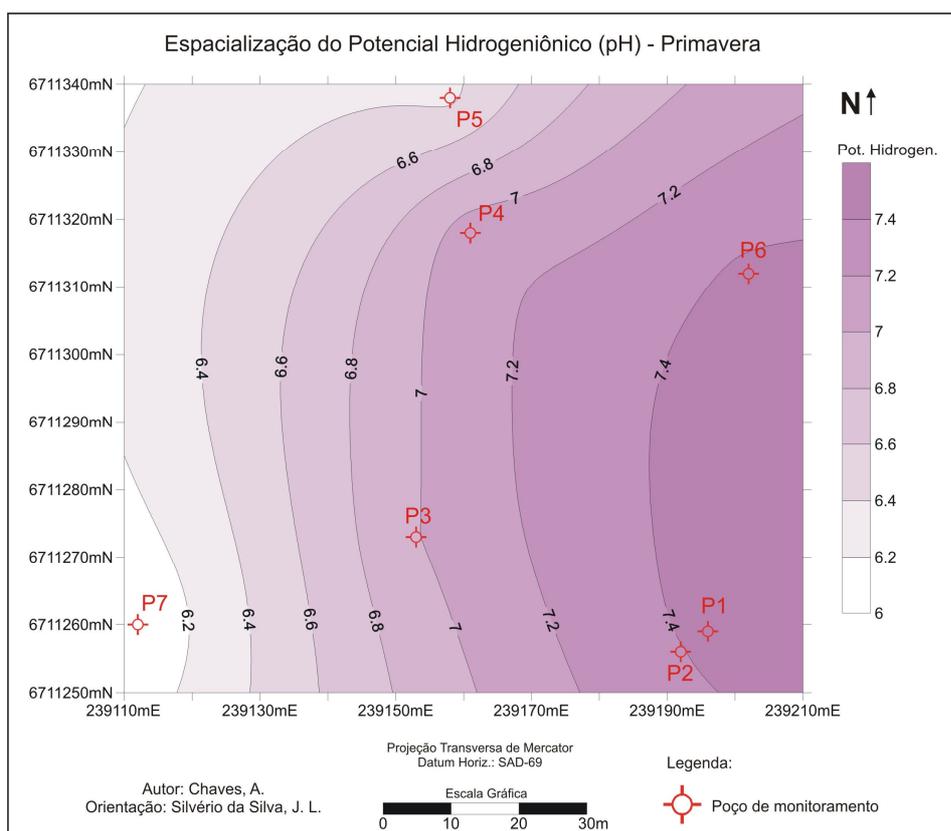


Figura 5.45 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada na primavera.

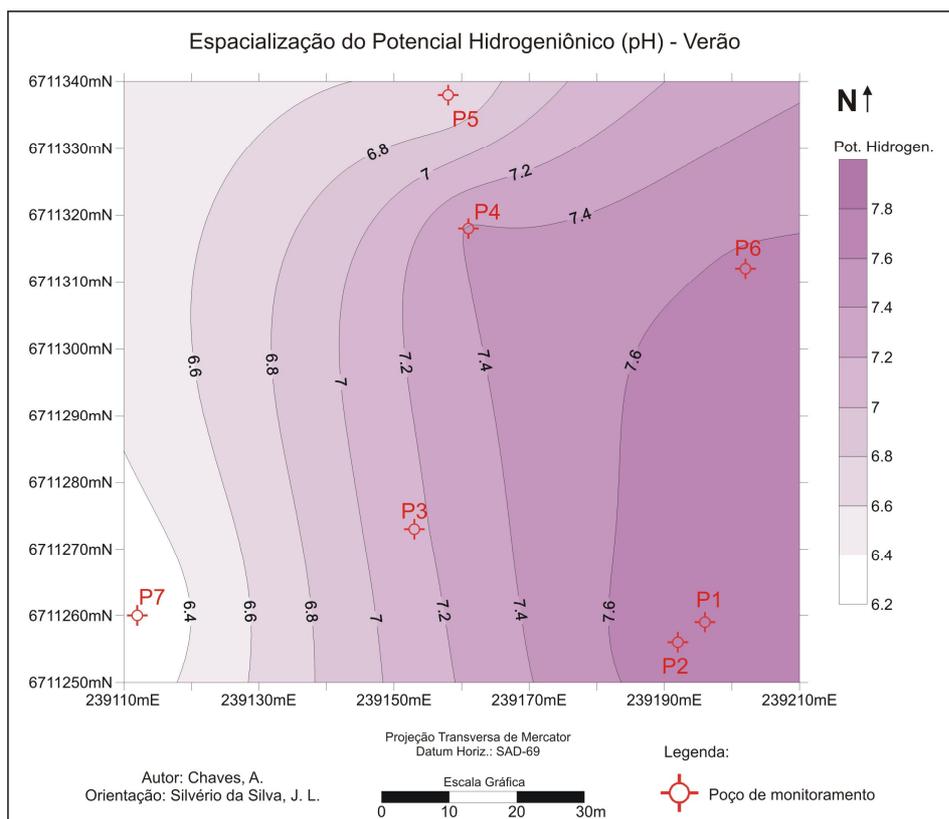


Figura 5.46 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada no verão.

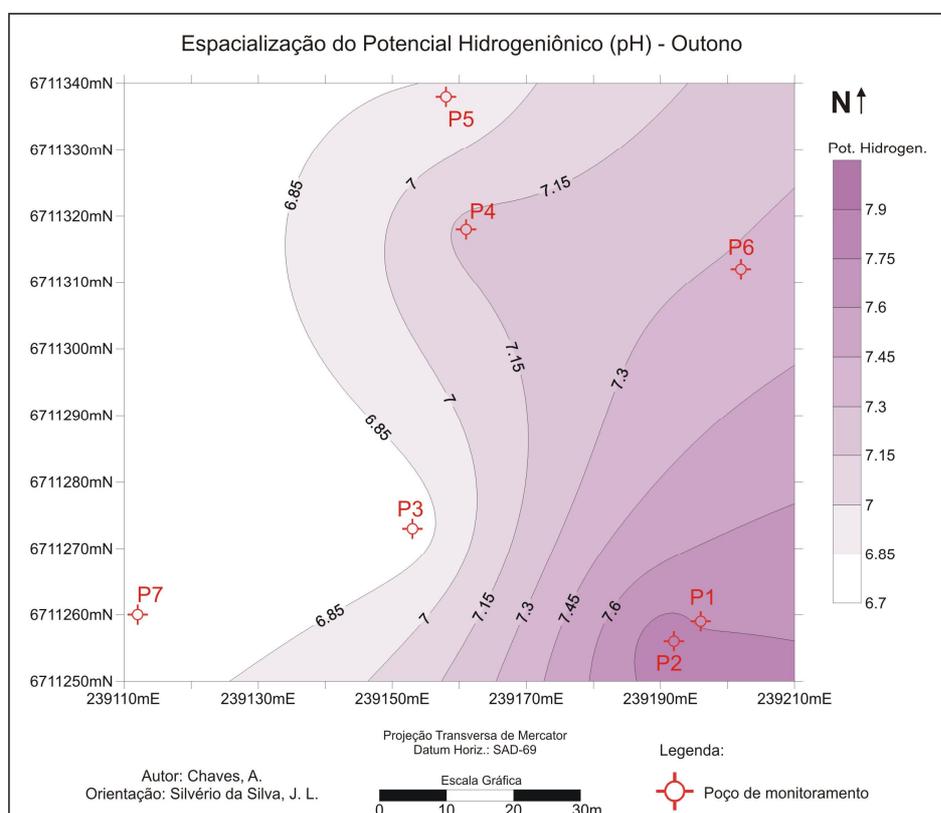


Figura 5.47 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada no outono.

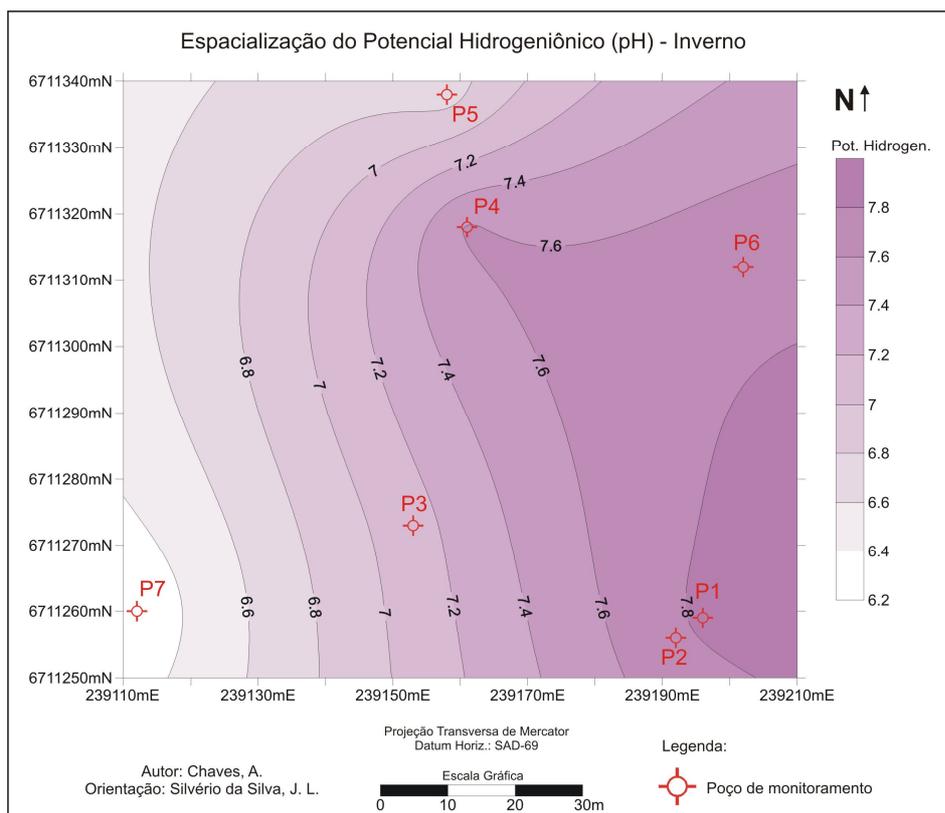


Figura 5.48 – Cartograma do comportamento espacial dos valores naturais do pH da água subterrânea da área estudada no outono.

Pela análise dos cartogramas, percebe-se que não houve grande variação da distribuição espacial do pH durante as 4 estações avaliadas.

As áreas com águas alcalinas localizaram-se no lado Leste da área de estudo, em especial no setor Sudeste. Já, as áreas com águas de maior acidez localizaram-se na porção Oeste, principalmente no setor extremo Sudoeste.

A distribuição espacial do pH durante as 4 estações, demonstrou que as concentrações desse parâmetro comportam-se sazonalmente de acordo com os níveis potenciométricos e a direção do fluxo da água subterrânea. Comparando-se os cartogramas da distribuição espacial do pH (Figuras 5.45 a 5.48), com os modelos tridimensionais da direção do fluxo subterrâneo (Figuras 5.12 a 5.15), percebe-se que há uma relação direta em todos os períodos avaliados.

## 5.9 Análise de variância sazonal dos parâmetros físico-químicos

A análise de variância (ANOVA), foi utilizada para avaliar a existência de diferenças significativas entre as médias dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas nas 4

estações estudadas, sendo utilizando o software estatístico *SPSS® 13.0 for Windows* (2004). Tendo sido detectadas diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ), as mesmas foram submetidas ao teste de *Tukey* para a separação dos contrastes. As médias dos parâmetros físico-químicos podem ser verificadas na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Média dos parâmetros físico-químicos nas 4 estações estudadas

<i>Estação</i>	<i>Parâmetros</i>				
	O.D.	Temp. água	C.E.	STD	pH
Primavera	0,80 b <sup>1</sup> (±0,60) <sup>2</sup>	21,6 bc (±0,57)	259 ab (±69,71)	168 ab (±45,31)	6,97 b (±0,56)
Verão	1,02 b (±0,54)	23,9 a (±0,49)	317 a (±115,93)	206 a (±75,60)	7,21 ab (±0,59)
Outono	1,53 ab (±1,01)	22,8 ab (±0,28)	261 ab (±93,25)	170 ab (±60,88)	7,21 ab (±0,46)
Inverno	1,75 a (±1,54)	20,2 c (±0,81)	183 b (±65,69)	119 b (±42,61)	7,29 a (±0,61)
<b>Média</b>	1,27	22,1	255	166	7,17
<b>CV%</b>	80,55	6,80	37,88	37,84	7,56

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro; <sup>2</sup> Valores entre parênteses, referem-se ao desvio padrão da média; CV = coeficiente de variação.

Através dos resultados, verificou-se que os valores médios de O.D. são iguais estatisticamente durante as estações de primavera, verão e outono, com exceção do período de inverno (1,75 mg/L ±1,54), o qual foi superior as demais estações.

Quanto à temperatura da água subterrânea, a mesma foi superior estatisticamente no verão em relação ao inverno. Já no outono e primavera, apresentaram temperaturas intermediárias e sem diferença estatística.

Os valores de C.E. e STD dos períodos de verão e inverno diferiram estatisticamente entre si. Sendo que no verão ocorreram os maiores valores médios desses dois parâmetros (C.E. = 317  $\mu$ S/cm ±115,93 e STD = 206 mg/L ±75,60) e, no inverno os menores (C.E. = 183  $\mu$ S/cm ±65,69 e STD = 119 mg/L ±42,61). Esse fato é explicado pela forte correlação direta entre C.E. e STD com temperatura da água ( $r = 0,93$ ;  $p < 0,01$ ).

Em relação ao parâmetro pH, verificou-se que os valores médios foram superiores nos períodos de verão, outono, inverno e inferior na primavera, havendo diferença estatística apenas entre o período de inverno e primavera.

## 6 CONCLUSÕES

As águas subterrâneas constituem reservas estratégicas vitais para o abastecimento público e privado. Portanto, o estudo de aquíferos, por meio do monitoramento hidrogeológico, revela-se de suma importância para o entendimento do comportamento hidrodinâmico e para a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas.

Esta pesquisa objetivou estabelecer os valores naturais e, a faixa de variabilidade temporal de parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos das águas subterrâneas, na área de um empreendimento potencialmente poluidor. Para tanto, realizou-se um monitoramento hidrogeológico durante o período de 12 meses, em sete poços de observação localizados em um reservatório de combustíveis no município de Santa Maria/RS, em uma zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

As seguintes faixas de “background” foram encontradas para os parâmetros físico-químicos da água subterrânea do aquífero local durante o período monitorado: Oxigênio Dissolvido (O.D.) = 0,07 a 4,12 mg/L; Temperatura da Água = 18,5 a 24,8°C; Condutividade Elétrica (C.E.) = 83 a 520  $\mu$ S/cm; Sólidos Totais Dissolvidos (STD) = 54 a 338 mg/L e, Potencial Hidrognônico (pH) = 5,95 a 8,01. Salienta-se que os valores encontrados servirão como base para outras campanhas de monitoramento, a fim de verificar possíveis variações ou mudanças nas condições naturais do aquífero em virtude de um possível vazamento de combustíveis, aplicando-se a estatística *t* de *Student*, conforme a NBR 10157/87.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que as concentrações naturais de todos os parâmetros físico-químicos estudados, sofreram flutuações temporais mensais e sazonais, além de variações na distribuição espacial, o que pode estar relacionado com diferenças de entradas de água na coluna dos poços, ocorridas possivelmente devido à alimentação desses por diferentes camadas. Esse comportamento indicou que as águas subterrâneas nesse local, não apresentaram ao longo do período de monitoramento, uma composição estável, uma vez que os equipamentos e os analistas foram sempre os mesmos.

Dessa forma, conclui-se que as variações do “background” refletem a diversidade geológica do local, que é marcada pela presença de Depósitos de Terraços Fluviais e da Formação Santa Maria Membro Alemoa.

Durante o período de monitoramento, alguns parâmetros estudados apresentaram relações diretas entre seus valores, o que foi comprovado por meio de correlações estatísticas (coeficiente  $r$  de Pearson). A análise de variância (ANOVA) detectou a existência de algumas diferenças significativas entre as médias dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas entre as quatro estações estudadas.

No que se refere à diversidade geológica local, observou-se que na área de estudo existem consideráveis variações na espessura dos Depósitos de Terraços Fluviais, que tende a aumentar com a proximidade da Planície Aluvial do Arroio Vacacaí - Mirim. Na área do empreendimento monitorado, o comportamento hidrogeológico do Membro Alemoa da Formação Santa Maria, corresponde a um aquíclode (Aquíclode Alemoa), determinado por suas litologias predominantemente pelíticas, interpretadas como finos de planícies de inundação (composição silto-argilosa), com condutividade hidráulica estimada na ordem de  $10^{-8}$  m/s (Rauber, 2008), sendo considerada impermeável. Dessa forma, conclui-se que o Membro Alemoa da Formação Santa Maria corresponde aos melhores materiais geológicos para “filtrarem” possíveis contaminantes oriundos da superfície, sejam eles de natureza inorgânica, orgânica ou mista. Já, os Depósitos de Terraços Fluviais na área de estudo, são considerados aquíferos irregulares livres, permeáveis ( $10^{-6}$  m/s) e, portanto, mais vulneráveis a contaminação.

Quanto à caracterização das amostras de solos coletadas na área de estudo, no que diz respeito à classificação geotécnica, a amostra dos Depósitos de Terraços Fluviais apresentou uma dupla classificação: areia com finos siltosos e argilosos (SM-SC). Já a amostra da Formação Santa Maria Membro Alemoa foi classificada geotecnicaamente como silte elástico com areia (MH), apresentando uma significativa presença de silte (67%). Assim, pode-se dizer pelos resultados obtidos que existem diferenças texturais: fração areia, fração silte e fração argila, que influenciam nos valores de porosidade/permeabilidade e podem apresentar faixas de variação tanto em relação à distribuição lateral quanto vertical. Estas condições intrínsecas do meio devem resultar em flutuações nos parâmetros químicos avaliados e na conformação da superfície potenciométrica.

Com base nos resultados apresentados comprovou-se a existência de recarga direta do aquífero relacionada com as precipitações pluviométricas. Dessa forma, evidenciou-se que ocorreram variações espaço - temporais do nível da água nos sete poços de monitoramento a

partir das precipitações pluviométricas, comprovado pelos resultados de correlação inversa entre a precipitação pluviométrica com os níveis freáticos dos poços de monitoramento durante todo o período monitorado. Apesar de apresentarem as mesmas profundidades (seis metros), o que pode implicar na locação em unidades litológicas semelhantes, os poços mostraram comportamentos distintos em seus níveis, indicando uma possível descontinuidade geológica lateral e vertical na área de estudo.

A direção do fluxo subterrâneo apresentou variação nos períodos estudados, com direções preferenciais nos sentidos Sul – Norte e Sudeste – Noroeste, sendo em certos pontos, concordante com a morfologia da superfície topográfica, em direção ao espelho d'água artificial e a Planície Aluvial do Rio Vacacaí-Mirim. Portanto, a presença desses corpos hídricos, explicariam em parte a disposição das equipotenciais neste local, demonstrando uma superfície potenciométrica inclinada, com caimento para NNO, ocasionando o aspecto de aquífero influente de sul para Norte - Noroeste, verificado em todas as estações analisadas. A principal observação indicou que em caso de vazamento de combustíveis os fluxos subterrâneos mostram que o Rio Vacacaí-Mirim será afetado.

Sugere-se para trabalhos futuros na área de estudo, um detalhamento maior da dinâmica entre rio e aquífero. Faz-se necessário que além do acompanhamento da variação do nível dos poços de observação, seja realizado o monitoramento do nível da água do Rio Vacacaí-Mirim, em seu trecho próximo ao empreendimento, por meio de uma régua linimétrica e um linígrafo. Também, sugere-se o acompanhamento da cota topográfica do lago, com o objetivo de verificar a existência de contribuição desse na superfície piezométrica dos poços. Além disso, outra sugestão é o monitoramento físico-químico das águas superficiais do Rio Vacacaí-Mirim, em seu trecho próximo ao empreendimento, em épocas que possam influenciar as águas subterrâneas.

A partir dos relatórios dos resultados analíticos de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH) nos poços de monitoramento, verificou-se que não existe nenhum tipo de contaminação da água subterrânea por influência dos combustíveis armazenados no empreendimento, sendo que o aquífero local mantém suas condições naturais.

O Laboratório de Hidrogeologia (LABHIDROGEO/UFSM) vem desenvolvendo uma série de estudos no município de Santa Maria/RS, visando ampliar os conhecimentos sobre as potencialidades, a qualidade e a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. O presente estudo visou dar continuidade as ações de monitoramento ambiental do SAG, em suas áreas de afloramentos e em subsuperfície, fazendo parte de um projeto maior da implantação da Rede Guarani/ Serra Geral para estudos das relações entre os aquíferos.

Tendo em vista que o município de Santa Maria está localizado em uma porção complexa do SAG faz-se necessários estudos individualizados que contemplem as heterogeneidades faciológicas e hidroestratigráficas. Nesse sentido, o monitoramento hidrogeológico em escala local realizado nessa pesquisa foi uma contribuição significativa, subsidiando séries históricas de coletas de dados com amostragem mensal no período entre outubro de 2006 a setembro de 2007.

Por fim, conclui-se que além de uma caracterização hidrogeológica da área de estudo, essa pesquisa forneceu valores de referência do aquífero local (valores naturais ou “background”), os quais servirão de subsídios aos órgãos gestores ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

AQUÍFERO GUARANI. Disponível em: <<http://www.oaquiferoguarani.com.br>>. Acesso em: 12 de fev. 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (ABGE). **Ensaio de Permeabilidade em solos**: orientações para sua execução no campo. São Paulo. 1996. 3ª edição, Boletim nº. 4. 30 p.

**Água Subterrânea e Poços Tubulares**; trad. Da primeira edição original norte-americano publicado pela JOHNSON DIVISION, UPO, INC., SAINT PAUL, Minnesota. 3. Ed. Ver. São Paulo, CETESB, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/ABNT. **NBR 6508**: Solo: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180**: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459**: Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10157**: Aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987. 21p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12244**: Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13895**: Construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro, 1997. 21 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7505**: Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Armazenagem em tanques estacionários. Rio de Janeiro, 2000. 16 p.

BALEK, J. (1988). **Groundwater recharge concepts**. In Simmers (ed.), Estimation of natural groundwater recharge. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, p. 3-9.

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aqüífero Guarani**. A verdadeira integração dos países do Mercosul: Curitiba. 2004.

BORTOLI, C. R. **Estudo Numérico-experimental da condutividade hidráulica saturada e não saturada de um solo estruturado**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999, 121p.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. 8. Ed. São Paulo: Moderna, 1993.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

\_\_\_\_\_. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). Disponível em : <<http://www.anp.gov.br/postos/consulta.asp>>. Acesso em: 13 set. 2008.

CABRAL, J. Movimento das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coords) Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. Capítulo 3. p. 35 – 51.

CABRAL, J.; KOIDE, S.; SIMÕES, S. J. C; MONTENEGRO, S. **Recursos Hídricos Subterrâneos**. In: Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. (Org.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 237-277.

CAICEDO, N. O. L. **Treinamento de Técnicos em Recursos Hídricos e Meio Ambiente: Águas Subterrâneas**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1999.

CAPUCCI, E. et al. **Poços Tubulares e outras Captações de Águas Subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001.

CARRARO, C. C. et al. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul** (Escala 1: 1000000). Porto Alegre: Instituto de Geociências UFRGS, 1974.

CARVALHO, J. T.; PINTO, J. dos S.; PINHEIRO, R. J. B. Caracterização de uma Área para Disposição de Resíduos Sólidos: Determinação da Condutividade Hidráulica e Capacidade de Infiltração in Situ. In: II GeoJovem, 6., 2006, Nova Friburgo. **Anais...** Nova Friburgo, 2006. 1 CD-ROM.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI : IPH-UFRGS, 1986. 216 p.

CHAVES, A. de. **Análise dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de São Luiz Gonzaga/ RS**. 121f. Monografia (Graduação em Geografia Bacharelado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CHAVES, A. de.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Comportamento do fluxo das águas subterrâneas na área de um empreendimento potencialmente poluidor no município de Santa Maria/ RS. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA, 16., **Anais...** Natal: ABAS, 2008, CD-ROM.

CHRISTOFIDIS, D. Conflitos e uso sustentável dos recursos hídricos. In. **Conflito e uso dos recursos naturais**. Theodoro, S. H. (org.). Rio de Janeiro: Garamond. 2002

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução n. 15 de 11 de janeiro de 2001. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, poder executivo, Brasília, DF, 2001. 03p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução nº 357 de 13 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água... Substitui a Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo Brasília, DF, 2005.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 273 (20 de novembro de 2000). Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 2001. 4p.

CONTIN NETO, D. **Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica Situada em Região de Recarga do Aquífero Botucatu**. 1987. sn/f. Tese (Tese de Doutorado) – SHS-EESC-USP, São Carlos, 1987.

CETESB, Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas, norma 1988.

DANIEL, D. E. **In situ hydraulic tests for compacted clays**. Hydraulic Conductivity and Wast Contaminant Transport in Soil, ASTM STP 1142. Philadelphia, 1994, p. 30-78.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO (DSG). Porto Alegre: **Folha Camobi – SO** (SH.22-V-C-IV/2-SO). Porto Alegre, 1980. (Carta Topográfica: Escala 1: 25.000).

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. **How to effectively recover free product at leaking underground storage tank sites**. EPA/510-R-96-001, 1996.

FACHIN, E. F. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos em Santa Maria - RS**. 2005. 91 p. Monografia (Especialização em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM/LABHID. Fortaleza, 1997. 412 p.

FENZEL, N. J. **Introdução à Hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1986.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L. V. Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os compostos do meio físico. **Geociências**, v. 17(2), p. 527-557, 1998.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim n.º 10).

FOSTER, et al. **Protección de la calidad Del Agua Subterránea: guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Madri: Ediciones Mundi - Prensa, 2003.

GIARDIN, A.; Faccini, U. Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do sistema aquífero Guarani: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil. **Revista da ABAS, ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, N°18, p. 39-54, 2004.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GUIGUER, N. **Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento**. 2000. Waterloo Hydrogeologic, Inc. p. 356.

HEALY, R.W.; COOK, P.G. **Using groundwater levels to estimate recharge**. Hydrogeology Journal, v. 10: DOI 10.1007/s10040-001-0178-0. 2002.

HEATH, R, C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: 1983. 86 p. USGS Paper n°20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al (orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

HIRATA, R. C. A.; FERREIRA, L. M. R. Os aquíferos da bacia hidrográfica do alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 43-50, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 de out. 2008.

KAMINSKI, D. B. **Ground Water Sampling**. Pollution Engineering, 2003.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo da cultura econômica. 1948.

LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário Geológico**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1970.

MACHADO, J. L. F. A Verdadeira Face do “Aquífero Guarani”: Mitos e Fatos. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços; II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. 10., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2005. 1 CD-ROM.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Imprensa Universitária, FINEP/ UFSM, Santa Maria, 1990. 21 p.

MACIEL FILHO, C. L. **Mapa Geológico da Folha de Camobi**. Escala 1:50.000, SH.22-V-C-IV-2I. Imprensa Universitária/ UFSM, UFSM, Santa Maria, 1990.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. Santa Maria: UFSM e CPRM, 1997.

MACIEL FILHO, C. L. **Caracterização geológica das formações sedimentares de Santa Maria, RS**. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1997, 123p.

MANOEL FILHO, J. Contaminação da água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrologia - conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, UFPE, 1997, p. 109-114.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n. 518, de 25 de março de 2004**. Atualiza as disposições da Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000. Brasília, 2004.

MME-DNC - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico de 1995**, 1995.

MOREIRA, I. A.; COSTA, R. H. da. **Espaço e Sociedade no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1995. 96p.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM, Santa Maria - RS**. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PARALTA, E. A. et al. Avaliação da Recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos: Disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais. In: 6º SILUSBA-Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, **Anais...** Cabo Verde, Portugal, 2003, CD-ROM.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D. **Notas de aula: Mecânica dos Solos**. Santa Maria: 2002. 253 p.

PINHEIRO, R. J. B. **Estudo da Condutividade Hidráulica de Solos para a Disposição de Resíduos Sólidos da Região de Santa Maria – RS**. RELATÓRIO TÉCNICO. UFSM. Santa Maria: 2004. 45p.

PINTO, J. dos S. **Estudo da condutividade hidráulica de solos para a disposição de resíduos sólidos na região de Santa Maria**. 2005.154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

RAUBER, A. C. C. **Diagnóstico Ambiental Urbano do Meio Físico de Santa Maria - RS**. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

REBOUÇAS, A. C. et al. **Águas Subterrâneas**. In: **Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 1999. cap. 4. P. 117 – 151.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei n. 10.350 de 30 de dezembro de 1994**. Política Estadual dos Recursos Hídricos. 1994. 30 p.

ROBAINA, L. E. S.; OLIVEIRA, E. L. A.; PIRES, C. A. F. Estudo para instalação de aterro sanitário no município de Santa Maria – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10º CGBE, Ouro Preto, MG. 2002.12p.

ROCHA, G. A. **O grande manancial do cone sul**. São Paulo: Estudos Avançados, 1997.

SANTOS, I. dos. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SARTORI, M. B. G. **O Clima de Santa Maria: do regional ao urbano**. São Paulo/SP. 1979. Dissertação de Mestrado (Geografia) - Universidade de São Paulo, 1979.

SOUZA PINTO, C. de. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2002.355 p.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em 06 out. 2008.

SECRETARIA GERAL DO PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI. PSAG. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org>>. Acesso em 15 fev. 2007.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Estudo dos processos de silicificação e calcificação em Rochas sedimentares Mesozóicas do Estado do Rio Grande do Sul**. 1997. 156 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ UFRGS, Porto Alegre, 1997.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L., FLORES E. M. M., BERTAZZO, V. M., Estudo hidroquímico das Águas Subterrâneas da Região de Santa Maria, no RS. In: XXVII CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, 10p.

SILVÉRIO DA SILVA et al. Novas Hipóteses sobre a origem do flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Central Gaúcha, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEA, 12., **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002, CD-ROM.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. et al. Impactos da atividade humana sobre o solo: Aquíferos. In: Solos & Ambiente. AZEVEDO, A. C. Santa Maria: PALLOTTI, 145-163, 2004.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**. New York: W. H. Freeman, 1981.

SPRING: Integrating remot sensing and GIS by object-oriented data modeling. CÂMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., GARRIDO, J. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun, 1996.

STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES (SPSS): **Programa estatístico**. Chicago, 2004. Versão 13.0. Sistema operacional Windows.

SURFER. **Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers**. User's Guide. Golden Software Inc. 2004. Versão 8. Colorado - U.S.A.

TAVENAS, F.; TREMBLAY, M.; LAROUCHE, G.; LEROUEIL, S. In situ measurement of soil permeability in soft clays. Conference on Use of In Situ Tests. In: **Geotechnical Engineering**, ASCE, 1986, p. 1034-1048.

TODD, D. K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1959.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993.

VIANA, P. C. G. **Aspectos da Gestão do Aquífero Guarani no âmbito do Mercosul**. Universidade Tuiuti do Paraná [S. l.]: Núcleo de Pesquisa em Geografia Aplicada - NPGA. 2003.

VRIES, J. J.; SIMMERS, I. **Groundwater recharge**: na overview of processes and challenges. Hydrogeology Journal, v. 10, p. 5-17. 2002.

WANKLER, F. L.; FACCINI, U. F.; SILVA, P. L. Contribuição ao Estudo do Aquífero Passo das Tropas, na Região de Santa Maria, RS: Compartimentação Estrutural e sua Influência no Comportamento Hidrogeológico. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços; I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 11., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: ABAS, 2007. 1 CD-ROM.

YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; MONTRIGAUD, R. de. **Poços Profundos**: Manual Técnico. São Paulo: Faculdade de Higiene e Saúde Pública, 1965.

## **ANEXOS**

**Anexo 1 – Índices pluviométricos diários da Estação Meteorológica da BASM no período de outubro de 2006 a setembro de 2007**



MINISTÉRIO DA DEFESA  
 COMANDO DA AERONÁUTICA  
 BASE AÉREA DE SANTA MARIA  
 DESTACAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO DE SANTA MARIA  
 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SANTA MARIA  
 Índice pluviométrico da Estação Meteorológica da BASM no período de out/06 a set/07  
 Obs.: "T" = precipitação menor que 0,1 mm

2006				2007								
Precipitação em mm												
DIA	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
1		0,6							0,1			1,2
2						46,4		32,9			18,6	
3	0,5			21,0		2,4	T				7,6	0,1
4	34,8				2,7		T				14,9	
5	11,6	21,6			2,1							
6		26,3	0,8	0,4		58,6		16,9			6,1	0,4
7					2,8	0,1	46,6	0,8		21,4	0,3	
8							2,4			6,9		
9						43,8			39,2	7,5		
10	24,2			35,3		0,3			38,3	4,4	9,4	
11				22,6				0,3	0,5	0,1		
12				3,3			2,6					
13								16,2	3,4	1,5		
14	95,0		4,5		0,2		10,6		0,3			2,9
15	25,8					0,8	0,1		21,6			2,3
16		1,3						46,3				0,1
17		50,4		16,5	24,2	0,3				0,2	12,7	4,6
18		13,8	15,5	0,4					2,1	0,2	7,2	62,5
19		3,1		1,7		2,9			0,1		4,0	0,5
20			11,5	18,5	0,1						1,1	17,3
21								2,0		17,7		3,3
22					26,0			4,0		21,7		53,9
23			3,1		34,4			2,9	1,3			71,2
24		21,0	T		34,5		25,7				10,9	1,3
25	1,2	10,6	18,5	1,0		0,3	13,8				19,7	
26				16,6		6,2	8,2		17,1		0,9	4,4
27									1,9		1,1	
28				20,9	9,5				0,6			
29	8,3			0,3								
30			71,8						0,2			
31	0,7					2,9					2,3	
<b>Média</b>												
<b>Total</b>	<b>202,1</b>	<b>148,7</b>	<b>125,7</b>	<b>158,5</b>	<b>136,5</b>	<b>165,0</b>	<b>110,0</b>	<b>122,3</b>	<b>126,7</b>	<b>81,6</b>	<b>116,8</b>	<b>226,0</b>

Santa Maria, 21 de agosto de 2008

Paulo Gilberto Corrêa Estivaleta  
1º Ten. Esp. Met. Chefe da SMMT

**Anexo 2 – Relatórios dos resultados analíticos de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo  
nos poços de monitoramento**



ECONSULTING

## RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº: 24517/21.08

Page 1 of 1

Cliente: SUL COMBUSTÍVEIS LTDA  
 ROD. BR 287 - KM 240,6  
 SANTA MARIA RS CAMOBI  
 ID Cliente: 3716

## Dados de Identificação da Amostra

Identificação: PM 01 Tipo da Amostra: Líquido  
 Coletador: Geoambiental - Consultoria, Projetos Licencia Data de Coleta: 13/05/2008  
 Local de Coleta: Rodovia BR 287, Km 203,7 s/nº - Santa Maria/RS

## Resultados Analíticos

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	LD
hidrocarb. Totais de Petróleo	µg/L	< 1,0	Cromatog. Gasosa - Head Space	1,0

**Legenda:** LD = Limite de Detecção  
 Finsável pela coleta: Geoambiental Consultorias e Licenciamento Ltda.  
 Tipo de Amostra: Água  
 Profundidade da coleta: 2,50 metros  
 Equipamento utilizado na coleta: Bayer  
 Med. do Campo: Temperatura do Ar: 17 °C  
 Tempo no dia: Sol  
 Tempo 24 horas antes: Sol  
 Interferência de metano : (x) sem interferência  
 Fone: (55) 3221-6333  
 Hora da Coleta: 15:00 horas

Certificado de Cadastro na FEPAM nº 24/2007-DL

*Edu Ricardo Beltrame*  
 Eng.º Edu Ricardo Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05301723

*Charles Beltrame*  
 Eng.º Charles Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05302222

CQ  
 ECONSULTING

Liberado e Assinado Eletronicamente 361778D2  
 Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente à amostra ensaiada e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

Viamão, 28/05/2008





# ECONSULTING

## RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº: 24518/21.08

Page 1 of 1

Cliente: SUL COMBUSTÍVEIS LTDA  
 ROD. BR 287 - KM 240,6  
 SANTA MARIA

RS

CAMOBI  
 ID Cliente: 3716

### Dados de Identificação da Amostra

Identificação: PM 02  
 Coletador: Geoambiental - Consultoria, Projetos Licencia  
 Local de Coleta: Rodovia BR 287, Km 203,7 s/nº - Santa Maria/RS

Tipo da Amostra: Líquido  
 Data de Coleta: 13/05/2008

### Resultados Analíticos

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	LD
Hidrocarb. Totais de Petróleo	µg/L	< 1,0	Cromatog. Gasosa - Head Space	1,0

Certificado de Cadastro na FEPAM nº 24/2007-DL

**Legenda:** LD = Limite de Detecção

Fornecedor responsável pela coleta: Geoambiental Consultorias e Licenciamento Ltda.

Tipo de Amostra: Água

Profundidade da coleta: 2,50 metros

Equipamento utilizado na coleta: Bayler

Med. do Campo: Temperatura do Ar: 17 °C

Tempo no dia: Sol

Tempo 24 horas antes: Sol

Interferência de metano : (x) sem interferência

Fone: (55) 3221-6333

Hora da Coleta: 15:15 horas

  
 Eng.º Edu Ricardo Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05301723

  
 Eng.º Charles Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05302222

CQ  
 ECONSULTING

Liberação e Assinatura Eletrônica

8C76A0AA

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente à amostra ensaiada e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

Viamão, 28/05/2008





# ECONSULTING

## RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº: 24519/21.08

Page 1 of 1

Ciente: SUL COMBUSTÍVEIS LTDA  
 ROD. BR 287 - KM 240,6  
 SANTA MARIA

RS

CAMOBI  
 ID Cliente: 3716

### Dados de Identificação da Amostra

Identificação: PM 03      Tipo da Amostra: Líquido  
 Coletador: Geoambiental - Consultoria, Projetos Licencia      Data de Coleta: 13/05/2008  
 Local de Coleta: Rodovia BR 287, Km 203,7 s/nº - Santa Maria/RS

### Resultados Analíticos

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	LD
Hidrocarb. Totais de Petróleo	µg/L	< 1,0	Cromatog. Gasosa - Head Space	1,0

**Legenda:** LD = Limite de Detecção

Fornecedor responsável pela coleta: Geoambiental Consultorias e Licenciamento Ltda.

Certificado de Cadastro na FEPAM nº 24/2007-DL

Tipo de Amostra: Água

Profundidade da coleta: 2,50 metros

Equipamento utilizado na coleta: Bayler

Med. do Campo: Temperatura do Ar: 17 °C

Tempo no dia: Sol

Tempo 24 horas antes: Sol

Interferência de metano : (x) sem Interferência

Fone: (55) 3221-6333

Hora da Coleta: 15:30 horas

Eng.º Edu Ricardo Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05301723

Eng.º Charles Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05302222

CQ  
 ECONSULTING

Liberado e Assinado Eletronicamente 13BB5746

Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente à amostra analisada e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

Viamão, 28/05/2008



# ECONSULTING

## RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº: 24520/21.08

Page 1 of 1

Cliente: SUL COMBUSTÍVEIS LTDA  
 ROD. BR 287 - KM 240,6  
 SANTA MARIA

RS

CAMOBI  
 ID Cliente: 3716

### Dados de Identificação da Amostra

Identificação: PM 04 Tipo da Amostra: Líquido  
 Coletador: Geoambiental - Consultoria, Projetos Licencia Data de Coleta: 13/05/2008  
 Local de Coleta: Rodovia BR 287, Km 203,7 s/nº - Santa Maria/RS

### Resultados Analíticos

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	LD
Hidrocarb. Totais de Petróleo	µg/L	< 1,0	Cromatog. Gasosa - Head Space	1,0

Certificado de Cadastro na FEPAM nº 24/2007-DL

**Legenda:** LD = Limite de Detecção  
 Responsável pela coleta: Geoambiental Consultorias e Licenciamento Ltda.  
 Tipo de Amostra: Água  
 Profundidade da coleta: 2,50 metros  
 Equipamento utilizado na coleta: Bayler  
 Med. do Campo: Temperatura do Ar: 17 °C  
 Tempo no dia: Sol  
 Tempo 24 horas antes: Sol  
 Interferência de metano: (x) sem interferência  
 Fone: (55) 3221-6333  
 Hora da Coleta: 15:45 horas

*Edu Ricardo Beltrame*  
 Eng.º Edu Ricardo Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05301723

*Charles Beltrame*  
 Eng.º Charles Beltrame  
 Signatário Autorizado  
 CRQ - 05302222

CQ  
 ECONSULTING

Liberado e Assinado Eletronicamente C32E9A52  
 Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente à amostra ensaiada e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

Viamão, 28/05/2008







# ECONSULTING

## RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº: 24526/21.08

Page 1 of 1

Ciente: SUL COMBUSTÍVEIS LTDA  
ROD. BR 287 - KM 240,6  
SANTA MARIA

RS

CAMOBI  
ID Cliente: 3716

### Dados de Identificação da Amostra

Identificação: PM 06      Tipo da Amostra: Líquido  
Coletador: Geoambiental - Consultoria, Projetos Licencia      Data de Coleta: 13/05/2008  
Local de Coleta: Rodovia BR 287, Km 203,7 s/nº - Santa Maria/RS

### Resultados Analíticos

Parâmetro	Unidade	Resultado	Metodologia	LD
hidrocarb. Totais de Petróleo	µg/L	< 1,0	Cromatog. Gasosa - Head Space	1,0

**Legenda:** LD = Limite de Detecção

Responsável pela coleta: Geoambiental Consultorias e Licenciamento Ltda.

Tipo de Amostra: Água

Profundidade da coleta: 2,50 metros

Equipamento utilizado na coleta: Bayler

Med. do Campo: Temperatura do Ar: 17 °C

Tempo no dia: Sol

Tempo 24 horas antes: Sol

Interferência de metano : (x) sem interferência

Fone: (55) 3221-6333

Hora da Coleta: 16:15 horas

Certificado de Cadastro na FEPAM nº 24/2007-DL

*Eng.º Edu Ricardo Beltrame*  
Eng.º Edu Ricardo Beltrame  
Signatário Autorizado  
CRQ - 05301723

*Eng.º Charles Beltrame*  
Eng.º Charles Beltrame  
Signatário Autorizado  
CRQ - 05302222

CQ  
ECONSULTING

Liberação e Assinada Eletronicamente F47C3ED0  
Os resultados contidos neste documento tem significação restrita, aplicam-se exclusivamente à amostra ensaiada e somente poderão ser reproduzidos na íntegra.

Viamão, 28/05/2008



**Anexo 3 – Banco de dados dos 12 meses de monitoramento de água subterrânea**

Data da coleta: 19/10/2006

Poço	Nível estático (m)
P1	0,62
P2	1,06
P3	0,56
P4	1,27
P5	1,92
P6	1,34
P7	1,65
<b>Variação</b>	0,56 a 1,92

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	1,71	21,9	19,0	181	118	7,67	Alta
2	0,18	21,2	19,0	197	128	7,42	Alta
3	0,06	20,9	19,0	198	129	7,52	Alta
4	0,05	20,8	19,0	198	129	7,62	Alta
5	0,05	20,9	19,0	216	140	7,35	Alta
6	0,04	20,9	19,0	242	157	7,46	Alta
<b>Variação</b>	0,04 a 1,71	20,8 a 21,9	-	181 a 242	118 a 157	7,35 a 7,67	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	20,0	20,0	282	183	7,68	Baixa
2	0,09	20,2	20,0	308	200	7,51	Baixa
3	0,05	20,0	20,0	309	201	7,45	Baixa
4	0,05	20,0	20,0	300	195	7,44	Média
5	0,06	20,0	20,0	306	199	7,62	Média
6	0,40	20,0	20,0	311	202	7,51	Média
<b>Variação</b>	0,05 a 0,40	20,0 a 20,2	-	282 a 311	183 a 202	7,44 a 7,68	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	4,12	22,3	22,0	223	145	6,91	Baixa
2	2,03	21,1	22,0	161	105	7,05	Média
3	0,06	20,6	22,0	185	120	7,25	Média
4	0,05	20,7	22,0	251	163	6,97	Média
5	0,06	20,9	22,0	260	169	7,12	Média
6	0,08	21,1	22,0	286	186	7,31	Média
<b>Variação</b>	0,05 a 4,12	20,6 a 22,3	-	161 a 286	105 a 186	6,91 a 7,31	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,71	20,4	22,0	107	70	7,04	Alta
3	0,56	20,4	22,0	169	110	7,27	Alta
4	0,61	20,5	22,0	147	96	7,10	Alta
5	0,64	20,7	22,0	163	106	7,26	Alta
6	0,63	20,7	22,0	167	109	7,25	Alta
<b>Variação</b>	0,56 a 2,71	20,4 a 20,7	-	107 a 169	70 a 110	7,04 a 7,27	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,94	20,9	19,0	238	155	6,40	Alta
3	0,11	20,8	19,0	255	166	6,42	Alta
4	0,10	20,9	19,0	261	170	6,50	Alta
5	0,12	20,9	19,0	262	170	6,44	Alta
6	0,15	21,0	19,0	261	170	6,41	Alta
<b>Variação</b>	0,10 a 0,94	20,8 a 21,0	-	238 a 262	155 a 170	6,40 a 6,50	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	4,06	20,8	20,8	102	66	7,64	Média
3	2,46	20,4	20,8	217	141	7,43	Baixa
4	2,11	20,5	20,8	176	114	7,50	Média
5	1,98	20,5	20,8	210	136	7,36	Média
6	2,62	20,6	20,8	228	148	7,44	Média
<b>Variação</b>	1,98 a 4,06	20,4 a 20,8	-	102 a 228	66 a 148	7,36 a 7,64	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	1,71	21,1	21,5	141	92	6,18	Alta
3	1,03	20,3	21,5	138	90	6,16	Alta
4	0,75	20,2	21,5	129	84	6,07	Alta
5	0,60	20,2	21,5	122	79	5,89	Alta
6	0,13	20,5	21,5	148	96	5,97	Alta
<b>Variação</b>	0,13 a 1,71	20,2 a 21,1	-	122 a 148	79 a 96	5,89 a 6,18	-

Data da coleta: 29/11/2006

Poço	Nível estático (m)
P1	0,68
P2	2,03
P3	0,68
P4	1,40
P5	2,63
P6	2,58
P7	1,72
<b>Variação</b>	0,68 a 2,63

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	1,87	24,2	33,0	167	109	7,33	Alta
2	0,84	23,0	33,0	158	103	7,36	Alta
3	0,36	22,0	33,0	223	145	7,25	Alta
4	0,28	25,5	33,0	239	155	7,35	Alta
5	0,31	21,6	33,0	225	146	7,29	Alta
6	0,36	21,7	33,0	246	160	7,48	Alta
<b>Variação</b>	0,28 a 1,87	21,6 a 25,5	-	158 a 246	103 a 160	7,25 a 7,48	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,88	21,6	33,0	381	248	7,32	Baixa
4	0,12	21,0	33,0	395	257	7,33	Baixa
5	0,06	21,0	33,0	405	263	7,32	Baixa
6	0,08	21,1	33,0	402	261	7,21	Baixa
<b>Variação</b>	0,06 a 0,88	21,0 a 21,6	-	381 a 405	248 a 263	7,21 a 7,33	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	3,22	24,6	24,0	176	114	7,61	Média
2	2,49	23,3	24,0	137	89	7,24	Média
3	1,85	22,2	24,0	168	109	6,94	Média
4	0,36	21,9	24,0	203	132	6,87	Média
5	0,08	21,8	24,0	234	152	7,04	Média
6	0,11	22,1	24,0	375	244	6,82	Baixa
<b>Variação</b>	0,08 a 3,22	21,8 a 24,6	-	137 a 375	89 a 244	6,82 a 7,61	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,05	22,4	24,0	207	135	7,21	Média
4	0,05	21,6	24,0	260	169	7,17	Média
5	0,08	21,1	24,0	284	185	7,19	Baixa
6	0,11	21,2	24,0	292	190	7,22	Baixa
<b>Variação</b>	0,05 a 0,11	21,1 a 22,4	-	207 a 292	135 a 190	7,17 a 7,22	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,11	21,7	34,5	286	186	6,28	Baixa
4	0,06	21,3	34,5	348	226	6,38	Média
5	0,07	21,5	34,5	366	238	6,48	Média
6	0,08	21,5	34,5	371	241	6,50	Média
<b>Variação</b>	0,06 a 0,11	21,3 a 21,7	-	286 a 371	186 a 241	6,28 a 6,50	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	2,63	21,0	34,5	189	123	7,48	Baixa
5	0,82	21,0	34,5	273	177	7,47	Baixa
6	0,75	21,0	34,5	323	210	7,53	Baixa
<b>Variação</b>	0,75 a 2,63	-	-	189 a 323	123 a 210	7,47 a 7,53	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,24	22,9	24,0	185	120	6,14	Alta
3	2,65	21,8	24,0	175	114	5,94	Alta
4	2,25	21,0	24,0	180	117	6,09	Alta
5	0,80	20,9	24,0	188	122	6,03	Alta
6	0,24	21,0	24,0	198	129	5,84	Alta
<b>Variação</b>	0,24 a 2,65	20,9 a 22,9	-	175 a 198	114 a 129	5,84 a 6,14	-

Data da coleta: 28/12/2006

Poço	Nível estático (m)
P1	0,64
P2	2,32
P3	1,09
P4	1,52
P5	3,14
P6	2,92
P7	2,03
<b>Variação</b>	0,64 a 3,14

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	2,09	26,5	31,5	172	112	7,69	Média
2	1,52	25,0	31,5	161	105	7,51	Alta
3	0,44	22,8	31,5	199	129	7,56	Alta
4	0,21	21,9	31,5	245	159	7,49	Média
5	0,17	21,5	31,5	274	178	7,52	Baixa
6	0,19	21,6	31,5	276	179	7,44	Média
<b>Variação</b>	0,17 a 2,09	21,5 a 26,5	-	161 a 276	105 a 179	7,44 a 7,69	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,26	22,7	27,0	412	268	7,62	Baixa
4	0,06	21,5	27,0	435	283	7,18	Baixa
5	0,06	21,2	27,0	434	282	7,39	Baixa
6	0,07	21,3	27,0	446	290	7,22	Baixa
<b>Variação</b>	0,06 a 0,26	21,2 a 22,7	-	412 a 446	268 a 290	7,18 a 7,62	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,20	25,6	39,0	179	116	7,04	Média
3	1,63	23,3	39,0	203	132	6,82	Média
4	0,71	22,6	39,0	237	154	6,75	Média
5	0,09	22,2	39,0	316	205	6,68	Média
6	0,10	22,2	39,0	424	276	6,68	Baixa
<b>Variação</b>	0,09 a 2,20	22,2 a 25,6	-	179 a 424	116 a 276	6,68 a 7,04	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,65	24,2	39,0	130	84	6,75	Média
3	0,06	22,6	39,0	264	172	6,96	Média
4	0,07	21,6	39,0	296	192	6,94	Média
5	0,08	21,4	39,0	341	222	7,03	Média
6	0,11	21,4	39,0	348	226	7,03	Média
<b>Variação</b>	0,06 a 0,65	21,4 a 24,2	-	130 a 348	84 a 226	6,75 a 7,03	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	1,36	23,4	39,0	349	227	6,13	Baixa
4	0,66	22,6	39,0	380	247	6,16	Baixa
5	0,13	21,8	39,0	404	263	6,30	Baixa
6	0,09	22,0	39,0	432	281	6,35	Baixa
<b>Variação</b>	0,09 a 1,36	21,8 a 23,4	-	349 a 404	227 a 263	6,13 a 6,30	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	3,57	21,3	39,0	277	180	7,44	Baixa
4	2,18	21,7	39,0	254	165	7,35	Baixa
5	0,64	21,4	39,0	301	196	7,26	Baixa
6	0,09	21,5	39,0	371	241	7,42	Baixa
<b>Variação</b>	0,09 a 3,57	21,3 a 21,7	-	254 a 371	165 a 241	7,26 a 7,44	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,53	24,0	35,0	202	131	6,21	Média
3	1,38	23,0	35,0	191	124	5,88	Média
4	0,16	21,7	35,0	203	132	5,86	Média
5	0,12	21,3	35,0	223	145	6,11	Média
6	0,11	21,4	35,0	241	157	6,06	Média
<b>Variação</b>	0,11 a 2,53	21,3 a 24,0	-	191 a 241	124 a 157	5,86 a 6,21	-

Data da coleta: 28/01/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,30
P2	1,88
P3	0,25
P4	0,78
P5	2,24
P6	2,85
P7	1,62
<b>Variação</b>	0,25 a 2,85

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	2,08	27,5	22,0	129	84	7,54	Média
2	2,07	26,4	22,0	128	83	7,55	Média
3	0,44	24,4	22,0	236	153	7,68	Baixa
4	0,11	22,9	22,0	290	188	7,76	Baixa
5	0,08	22,2	22,0	291	189	7,76	Baixa
6	0,10	21,9	22,0	286	186	7,75	Baixa
<b>Variação</b>	0,08 a 2,08	21,9 a 27,5	-	128 a 291	83 a 189	7,54 a 7,76	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,42	26,1	22,2	410	266	7,90	Baixa
3	0,07	24,5	22,2	482	313	7,82	Baixa
4	0,04	23,0	22,2	490	318	7,78	Baixa
5	0,05	22,1	22,2	490	318	7,64	Baixa
6	0,06	21,8	22,2	495	322	7,65	Baixa
<b>Variação</b>	0,04 a 3,42	21,8 a 26,1	-	410 a 495	266 a 322	7,64 a 7,90	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	4,24	27,6	23,8	115	75	7,45	Baixa
2	3,31	26,8	23,8	132	86	7,26	Baixa
3	1,57	24,5	23,8	191	124	7,25	Baixa
4	0,50	23,1	23,8	261	170	7,03	Baixa
5	0,10	22,1	23,8	275	179	7,12	Baixa
6	0,06	21,9	23,8	370	240	7,04	Baixa
<b>Variação</b>	0,06 a 4,24	21,9 a 27,6	-	115 a 370	75 a 240	7,03 a 7,45	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	4,32	25,7	26,0	223	145	7,38	Baixa
2	0,95	24,3	26,0	214	139	7,45	Média
3	0,71	24,3	26,0	217	141	7,54	Média
4	0,04	22,8	26,0	381	248	7,46	Baixa
5	0,06	22,0	26,0	408	265	7,58	Baixa
6	0,07	22,0	26,0	414	269	7,56	Baixa
<b>Variação</b>	0,04 a 4,32	22,0 a 25,7	-	214 a 414	139 a 269	7,38 a 7,58	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,40	24,3	26,0	447	291	6,67	Baixa
4	0,23	22,9	26,0	456	296	6,58	Baixa
5	0,09	22,2	26,0	481	313	6,67	Baixa
6	0,06	22,1	26,0	492	320	6,65	Baixa
<b>Variação</b>	0,06 a 0,40	22,1 a 24,3	-	447 a 492	291 a 320	6,58 a 6,67	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	3,89	24,0	26,0	271	176	7,49	Baixa
4	1,17	22,7	26,0	291	189	7,63	Baixa
5	1,11	22,0	26,0	359	233	7,74	Baixa
6	0,08	21,8	26,0	386	251	7,67	Baixa
<b>Variação</b>	0,08 a 3,89	21,8 a 24,0	-	271 a 386	176 a 251	7,49 a 7,74	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	4,04	26,8	22,0	216	140	6,33	Baixa
3	3,38	25,2	22,0	195	127	6,13	Baixa
4	2,01	23,0	22,0	203	132	6,23	Baixa
5	0,80	22,0	22,0	231	150	6,21	Baixa
6	0,08	21,8	22,0	260	169	6,23	Baixa
<b>Variação</b>	0,08 a 4,04	21,8 a 26,8	-	195 a 260	127 a 169	6,13 a 6,33	-

Data da coleta: 28/02/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,65
P2	1,86
P3	0,68
P4	1,30
P5	1,88
P6	2,78
P7	1,69
<b>Variação</b>	0,65 a 2,78

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	2,10	27,4	30,0	139	90	7,53	Média
2	1,79	26,7	30,0	166	108	7,73	Média
3	0,68	24,9	30,0	231	150	7,68	Baixa
4	0,34	23,7	30,0	262	170	7,72	Média
5	0,23	22,3	30,0	267	174	7,76	Baixa
6	0,27	22,3	30,0	264	172	7,78	Média
<b>Variação</b>	0,23 a 2,10	22,3 a 27,4	-	139 a 2,67	90 a 174	7,53 a 7,78	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,34	26,3	30,0	303	197	7,94	Baixa
3	1,12	25,3	30,0	387	252	7,74	Baixa
4	0,19	23,7	30,0	433	281	7,72	Baixa
5	0,09	22,6	30,0	439	285	7,68	Baixa
6	0,05	22,3	30,0	435	283	7,64	Baixa
<b>Variação</b>	0,05 a 3,34	22,3 a 26,3	-	303 a 439	197 a 285	7,64 a 7,94	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	2,37	28,1	28,8	136	88	7,54	Baixa
2	2,19	26,8	28,8	133	86	7,30	Baixa
3	1,56	25,0	28,8	163	106	7,09	Baixa
4	0,98	23,8	28,8	196	127	7,14	Baixa
5	0,35	22,8	28,8	251	163	7,09	Baixa
6	0,09	22,3	28,8	375	244	7,05	Baixa
<b>Variação</b>	0,09 a 2,37	22,3 a 28,1	-	133 a 375	86 a 244	7,05 a 7,54	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	1,99	26,0	28,6	96	62	7,15	Baixa
3	1,28	24,9	28,6	156	101	7,32	Baixa
4	0,05	23,4	28,6	298	194	7,32	Baixa
5	0,05	22,6	28,6	360	234	7,32	Baixa
6	0,06	22,5	28,6	335	218	7,23	Baixa
<b>Varição</b>	0,05 a 1,99	22,5 a 26,0	-	96 a 360	62 a 234	7,15 a 7,32	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,67	26,8	29,0	517	336	6,54	Média
3	0,05	25,2	29,0	518	337	6,42	Baixa
4	0,04	23,5	29,0	501	326	6,43	Baixa
5	0,08	22,8	29,0	496	322	6,45	Baixa
6	0,05	22,4	29,0	507	330	6,53	Baixa
<b>Varição</b>	0,05 a 0,67	22,4 a 26,8	-	496 a 517	322 a 336	6,42 a 6,54	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	3,39	25,0	29,0	218	142	7,33	Baixa
4	1,72	23,7	29,0	325	211	7,42	Baixa
5	0,86	22,8	29,0	353	229	7,66	Baixa
6	0,10	22,5	29,0	375	244	7,70	Baixa
<b>Varição</b>	0,10 a 3,39	22,5 a 25,0	-	218 a 375	142 a 244	7,33 a 7,70	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,28	25,8	30,0	174	113	6,33	Baixa
3	1,80	25,6	30,0	166	108	6,26	Média
4	1,83	23,4	30,0	171	111	6,09	Média
5	1,23	23,2	30,0	185	120	6,19	Alta
6	0,15	23,1	30,0	184	120	6,23	Alta
<b>Varição</b>	0,15 a 2,28	23,1 a 25,8	-	166 a 185	108 a 120	6,09 a 6,33	-

Data da coleta: 30/03/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,68
P2	2,15
P3	1,26
P4	1,50
P5	2,55
P6	2,73
P7	1,77
<b>Variação</b>	0,68 a 2,73

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	1,26	27,3	27,0	243	158	7,55	Baixa
2	0,78	26,2	27,0	223	145	7,47	Baixa
3	0,07	25,0	27,0	251	163	7,76	Baixa
4	0,06	23,9	27,0	341	222	7,83	Baixa
5	0,06	23,1	27,0	362	235	7,76	Baixa
6	0,07	22,6	27,0	355	231	7,74	Baixa
<b>Variação</b>	0,06 a 1,26	22,6 a 27,3	-	223 a 362	145 a 235	7,47 a 7,83	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,23	25,7	28,0	470	305	7,93	Baixa
3	0,19	24,9	28,0	503	327	7,83	Baixa
4	0,04	23,8	28,0	543	353	7,64	Baixa
5	0,04	22,9	28,0	532	346	7,71	Baixa
6	0,07	22,7	28,0	551	358	7,60	Baixa
<b>Variação</b>	0,04 a 2,23	22,7 a 25,7	-	470 a 551	305 a 358	7,60 a 7,93	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,53	26,6	35,7	167	109	7,25	Baixa
3	1,44	25,5	35,7	196	127	7,10	Baixa
4	0,60	24,7	35,7	234	152	7,05	Baixa
5	0,29	23,7	35,7	269	175	7,04	Baixa
6	0,07	23,6	35,7	373	242	7,08	Baixa
<b>Variação</b>	0,07 a 2,53	23,6 a 26,6	-	167 a 373	109 a 242	7,04 a 7,25	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,06	25,8	32,0	113	73	7,37	Baixa
3	2,18	24,8	32,0	126	82	7,39	Baixa
4	0,25	23,7	32,0	125	81	7,56	Baixa
5	0,04	22,9	32,0	308	200	7,64	Baixa
6	0,05	22,7	32,0	401	261	7,55	Baixa
<b>Varição</b>	0,04 a 3,06	22,7 a 25,8	-	113 a 401	73 a 261	7,37 a 7,64	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,17	25,1	38,0	427	278	6,57	Baixa
4	0,40	23,9	38,0	463	301	6,72	Baixa
5	0,10	23,1	38,0	510	331	6,83	Baixa
6	0,05	22,7	38,0	548	356	6,73	Baixa
<b>Varição</b>	0,05 a 0,40	22,7 a 25,1	-	427 a 548	278 a 356	6,57 a 6,83	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	3,49	24,9	37,5	273	177	7,67	Baixa
4	1,76	23,6	37,5	339	220	7,73	Baixa
5	0,97	23,0	37,5	380	247	7,82	Baixa
6	0,15	22,9	37,5	418	272	7,85	Baixa
<b>Varição</b>	0,15 a 3,49	22,9 a 24,9	-	273 a 418	177 a 272	7,67 a 7,85	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,39	26,0	28,1	219	142	6,72	Média
3	2,78	25,0	28,1	201	131	6,04	Média
4	1,50	23,8	28,1	207	135	6,11	Média
5	0,66	22,9	28,1	207	135	6,08	Média
6	0,79	22,7	28,1	209	136	6,15	Média
<b>Varição</b>	0,66 a 2,78	22,7 a 26,0	-	201 a 219	131 a 142	6,04 a 6,72	-

Data da coleta: 28/04/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,50
P2	2,24
P3	1,52
P4	1,40
P5	1,80
P6	2,86
P7	1,72
<b>Variação</b>	0,50 a 2,86

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,11	25,5	14,7	309	201	7,83	Baixa
2	0,15	25,2	14,7	234	152	7,78	Baixa
3	0,34	25,0	14,7	224	146	7,78	Baixa
4	0,11	23,9	14,7	272	177	8,01	Baixa
5	0,15	22,9	14,7	317	206	8,07	Baixa
6	0,26	21,8	14,7	332	216	8,02	Baixa
<b>Variação</b>	0,11 a 0,34	21,8 a 25,5	-	224 a 332	146 a 216	7,78 a 8,07	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	3,15	24,7	16,0	391	254	8,05	Baixa
4	0,10	24,0	16,0	495	322	7,86	Baixa
5	0,05	23,2	16,0	498	324	7,93	Baixa
6	0,06	22,8	16,0	486	316	7,90	Baixa
<b>Variação</b>	0,05 a 3,15	22,8 a 24,7	-	391 a 498	254 a 324	7,86 a 8,05	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	4,18	25,8	20,5	151	98	7,45	Baixa
3	2,83	25,1	20,5	172	112	7,16	Baixa
4	1,62	24,3	20,5	226	147	7,22	Baixa
5	0,73	23,3	20,5	279	181	7,27	Baixa
6	0,10	22,9	20,5	339	220	7,31	Baixa
<b>Variação</b>	0,10 a 4,18	22,9 a 25,8	20,5	151 a 339	98 a 220	7,16 a 7,45	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,74	25,3	20,5	124	81	7,56	Baixa
3	3,68	24,8	20,5	115	75	7,53	Baixa
4	2,24	24,0	20,5	140	91	7,75	Baixa
5	1,28	23,2	20,5	290	188	7,81	Baixa
6	0,10	22,7	20,5	332	216	7,84	Baixa
<b>Variação</b>	0,10 a 3,74	22,7 a 25,3	-	115 a 332	75 a 216	7,53 a 7,84	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,17	25,9	21,0	480	312	6,96	Baixa
3	0,05	25,2	21,0	506	329	6,92	Baixa
4	0,06	24,3	21,0	503	327	6,88	Baixa
5	0,13	23,5	21,0	497	323	6,85	Baixa
6	0,07	22,9	21,0	516	335	6,99	Baixa
<b>Variação</b>	0,05 a 0,17	22,9 a 25,9	-	480 a 516	312 a 335	6,85 a 6,99	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	4,45	25,1	21,0	195	127	7,55	Baixa
4	2,67	24,1	21,0	328	213	7,70	Baixa
5	1,24	23,4	21,0	410	266	7,99	Baixa
6	0,63	22,7	21,0	452	294	8,05	Baixa
<b>Variação</b>	0,63 a 4,45	22,7 a 25,1	-	195 a 452	127 a 294	7,55 a 8,05	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,23	25,4	14,0	201	131	6,44	Baixa
3	2,82	24,9	14,0	196	127	6,39	Média
4	2,83	24,0	14,0	201	131	6,39	Baixa
5	1,74	23,3	14,0	200	130	6,43	Média
6	1,50	22,6	14,0	198	129	6,43	Média
<b>Variação</b>	1,50 a 3,23	22,6 a 25,4	-	196 a 201	127 a 131	6,39 a 6,44	-

Data da coleta: 31/05/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,92
P2	1,83
P3	1,36
P4	1,57
P5	2,55
P6	2,84
P7	1,82
<b>Variação</b>	0,92 a 2,84

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,09	22,6	17,0	283	184	7,69	Baixa
2	0,08	22,7	17,0	246	160	7,62	Baixa
3	0,09	22,8	17,0	252	164	7,65	Baixa
4	0,09	22,8	17,0	236	153	7,55	Baixa
5	0,11	22,8	17,0	243	158	7,66	Baixa
6	0,20	22,4	17,0	239	155	7,56	Baixa
<b>Variação</b>	0,08 a 0,20	22,4 a 22,8	-	236 a 283	153 a 184	7,55 a 7,69	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,13	22,9	17,2	433	281	7,78	Baixa
3	0,10	22,9	17,2	446	290	7,76	Baixa
4	0,09	22,8	17,2	446	290	7,77	Baixa
5	0,11	22,8	17,2	436	283	7,70	Baixa
6	0,13	22,6	17,2	464	302	7,66	Baixa
<b>Variação</b>	0,09 a 0,13	22,6 a 22,9	-	433 a 464	281 a 302	7,66 a 7,78	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,42	22,9	16,8	154	100	6,92	Baixa
3	3,22	23,0	16,8	153	99	6,86	Baixa
4	3,17	23,0	16,8	151	98	6,84	Baixa
5	3,17	22,9	16,8	151	98	6,86	Média
6	0,21	22,7	16,8	276	179	6,90	Baixa
<b>Variação</b>	0,21 a 3,42	22,7 a 23,0	-	151 a 276	98 a 179	6,84 a 6,92	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,54	23,0	22,0	132	86	7,23	Baixa
3	2,54	23,0	22,0	129	84	7,15	Baixa
4	2,94	23,0	22,0	130	84	7,17	Baixa
5	2,76	23,0	22,0	127	83	7,13	Baixa
6	1,40	22,6	22,0	137	89	7,33	Média
<b>Variação</b>	1,40 a 2,94	22,6 a 23,0	-	127 a 137	83 a 89	7,13 a 7,33	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,15	23,9	18,0	324	211	6,58	Baixa
4	0,15	23,9	18,0	329	214	6,44	Baixa
5	0,12	23,5	18,0	395	257	6,55	Média
6	0,08	22,9	18,0	421	274	6,55	Média
<b>Variação</b>	0,08 a 0,15	22,9 a 23,9	-	324 a 421	211 a 274	6,44 a 6,58	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	4,56	24,1	19,0	151	98	7,30	Baixa
4	3,55	24,0	19,0	238	155	7,42	Baixa
5	2,74	23,4	19,0	294	191	7,67	Baixa
6	0,17	22,9	19,0	366	238	7,78	Baixa
<b>Variação</b>	0,17 a 4,56	22,9 a 24,1	-	151 a 366	98 a 238	7,30 a 7,78	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,97	22,0	17,0	162	105	5,97	Baixa
3	1,20	22,0	17,0	157	102	5,94	Baixa
4	1,01	22,1	17,0	154	100	5,98	Baixa
5	0,98	22,1	17,0	155	101	5,84	Média
6	0,43	21,8	17,0	151	98	6,01	Alta
<b>Variação</b>	0,43 a 1,20	21,8 a 22,1	-	151 a 162	98 a 105	5,84 a 6,01	-

Data da coleta: 30/06/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,53
P2	2,22
P3	1,70
P4	1,72
P5	1,42
P6	2,24
P7	2,92
<b>Variação</b>	0,53 a 2,92

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,07	20,9	10,5	189	123	7,64	Alta
2	0,07	21,0	10,5	190	123	7,66	Alta
3	0,12	20,9	10,5	190	123	7,61	Alta
4	0,09	21,1	10,5	190	123	7,63	Alta
5	0,22	20,8	10,5	190	123	7,65	Alta
6	0,36	20,4	10,5	191	124	7,60	Alta
<b>Variação</b>	0,07 a 0,36	20,4 a 21,1	-	189 a 191	123 a 124	7,60 a 7,66	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,25	21,5	11,0	316	205	8,00	Alta
4	0,34	21,4	11,0	324	211	8,02	Alta
5	0,41	21,4	11,0	323	210	8,01	Alta
6	0,55	21,0	11,0	324	211	8,00	Alta
<b>Variação</b>	0,25 a 0,55	21,0 a 21,5	-	316 a 324	205 a 211	8,00 a 8,02	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,38	20,3	11,5	129	84	6,07	Média
3	2,45	20,3	11,5	125	81	6,14	Média
4	2,50	20,2	11,5	122	79	6,17	Média
5	2,40	20,0	11,5	122	79	6,15	Média
6	2,34	19,6	11,5	122	79	6,12	Média
<b>Variação</b>	2,34 a 2,50	19,6 a 20,3	-	122 a 129	79 a 84	6,07 a 6,17	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,87	21,8	11,0	142	92	6,79	Baixa
3	3,93	21,6	11,0	143	93	6,52	Baixa
4	3,83	21,8	11,0	143	93	6,68	Baixa
5	3,82	21,7	11,0	143	93	6,63	Baixa
6	3,74	21,3	11,0	144	94	6,69	Média
<b>Variação</b>	3,74 a 3,93	21,3 a 21,8	-	142 a 144	92 a 94	6,52 a 6,79	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,75	21,2	11,0	125	81	7,12	Baixa
3	2,81	21,1	11,0	128	83	7,23	Baixa
4	2,84	21,1	11,0	115	75	7,18	Média
5	2,83	21,1	11,0	105	68	7,15	Média
6	2,95	20,6	11,0	99	64	7,04	Média
<b>Variação</b>	2,75 a 2,95	20,6 a 21,2	-	99 a 128	64 a 83	7,04 a 7,23	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,11	22,5	9,0	344	224	6,95	Baixa
4	0,18	22,4	9,0	360	234	6,86	Baixa
5	0,23	22,3	9,0	349	227	6,29	Baixa
6	0,19	21,9	9,0	347	226	6,24	Baixa
<b>Variação</b>	0,11 a 0,23	21,9 a 22,5	-	344 a 360	224 a 234	6,24 a 6,95	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	3,96	22,6	11,0	210	136	7,74	Baixa
4	3,74	22,7	11,0	207	135	7,70	Baixa
5	3,50	22,1	11,0	206	134	7,96	Baixa
6	1,90	21,9	11,0	285	185	7,99	Baixa
<b>Variação</b>	1,90 a 3,96	21,9 a 22,7	-	206 a 285	134 a 185	7,70 a 7,99	-

Data da coleta: 30/07/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,86
P2	2,04
P3	1,66
P4	1,54
P5	2,48
P6	3,00
P7	1,72
<b>Variação</b>	0,86 a 3,00

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,15	20,3	14,8	239	155	7,92	Alta
4	0,17	20,4	14,8	248	161	7,91	Alta
5	0,20	20,4	14,8	246	160	7,93	Alta
6	0,40	20,2	14,8	251	163	8,03	Alta
<b>Variação</b>	0,15 a 0,40	20,2 a 20,4	-	239 a 251	155 a 163	7,91 a 8,03	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,15	20,0	14,8	161	105	8,03	Baixa
2	0,11	20,0	14,8	158	103	7,91	Baixa
3	0,12	20,0	14,8	157	102	7,95	Média
4	0,14	20,0	14,8	157	102	7,86	Média
5	0,19	20,2	14,8	158	103	7,87	Baixa
6	0,27	20,0	14,8	159	103	7,82	Baixa
<b>Variação</b>	0,11 a 0,27	20,0 a 20,2	-	157 a 161	102 a 105	7,82 a 8,03	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,72	20,7	17,0	140	91	7,12	Baixa
3	3,80	20,8	17,0	137	89	7,14	Baixa
4	4,01	20,8	17,0	135	88	7,15	Baixa
5	4,18	20,7	17,0	134	87	7,21	Baixa
6	4,18	20,5	17,0	130	84	7,13	Baixa
<b>Variação</b>	3,72 a 4,18	20,5 a 20,8	-	130 a 140	84 a 91	7,12 a 7,21	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	3,33	20,5	17,0	84	55	8,07	Baixa
3	3,50	20,4	17,0	83	54	7,98	Baixa
4	3,38	20,6	17,0	84	55	7,80	Baixa
5	3,55	20,6	17,0	83	54	7,73	Baixa
6	3,83	20,6	17,0	84	55	7,66	Baixa
<b>Variação</b>	3,33 a 3,83	20,4 a 20,6	-	83 a 84	54 a 55	7,66 a 8,07	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,43	21,7	20,0	259	168	6,65	Baixa
4	0,46	21,7	20,0	230	149	6,64	Baixa
5	0,49	21,7	20,0	229	149	6,71	Baixa
6	0,77	21,5	20,0	228	148	6,69	Baixa
<b>Variação</b>	0,43 a 0,77	21,5 a 21,7	-	228 a 259	148 a 168	6,64 a 6,71	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	3,72	21,8	16,7	218	142	7,89	Baixa
5	3,78	21,8	16,7	218	142	7,78	Baixa
6	3,84	21,6	16,7	215	140	7,82	Baixa
<b>Variação</b>	3,72 a 3,84	21,6 a 21,8	-	215 a 218	140 a 142	7,78 a 7,89	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	1,95	19,0	15,8	115	75	6,29	Baixa
3	1,99	19,0	15,8	112	73	6,23	Baixa
4	2,00	18,9	15,8	113	73	6,24	Baixa
5	2,12	19,0	15,8	112	73	6,23	Média
6	2,31	19,1	15,8	112	73	6,30	Média
<b>Variação</b>	1,95 a 2,31	18,9 a 19,1	-	112 a 115	73 a 75	6,23 a 6,30	-

Data da coleta: 30/08/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,65
P2	0,85
P3	0,88
P4	1,43
P5	2,32
P6	2,92
P7	1,70
<b>Variação</b>	0,65 a 2,92

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,11	19,3	15,0	204	133	7,90	Baixa
2	0,10	19,3	15,0	202	131	7,92	Baixa
3	0,11	19,4	15,0	198	129	7,91	Baixa
4	0,12	19,5	15,0	196	127	7,94	Baixa
5	0,17	19,5	15,0	192	125	7,92	Baixa
6	0,25	19,3	15,0	190	123	7,84	Baixa
<b>Variação</b>	0,10 a 0,25	19,3 a 19,5	-	190 a 204	123 a 133	7,84 a 7,94	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,32	18,5	15,0	247	161	7,88	Média
2	0,31	18,5	15,0	248	161	7,91	Média
3	0,34	18,7	15,0	249	162	7,92	Média
4	0,34	18,8	15,0	253	164	7,86	Média
5	0,36	18,9	15,0	250	162	7,89	Média
6	0,52	18,8	15,0	252	164	7,89	Média
<b>Variação</b>	0,31 a 0,52	18,5 a 18,9	-	247 a 253	161 a 164	7,86 a 7,92	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	4,48	19,3	16,5	135	88	7,23	Média
2	4,35	19,3	16,5	137	89	7,18	Média
3	4,10	19,4	16,5	140	91	7,19	Média
4	3,93	19,4	16,5	138	90	7,20	Baixa
5	3,95	19,4	16,5	139	90	7,25	Baixa
6	3,92	19,2	16,5	137	89	7,22	Baixa
<b>Variação</b>	3,92 a 4,48	19,2 a 19,4	-	135 a 140	88 a 91	7,18 a 7,25	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,20	19,4	17,0	101	66	7,54	Média
3	2,10	19,4	17,0	100	65	7,64	Média
4	2,15	19,6	17,0	101	66	7,72	Média
5	2,20	19,6	17,0	98	64	7,63	Média
6	2,22	19,5	17,0	100	65	7,58	Média
<b>Variação</b>	2,10 a 2,22	19,4 a 19,6	-	98 a 101	64 a 66	7,54 a 7,72	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,16	21,0	18,0	256	166	6,65	Média
4	0,17	21,0	18,0	258	168	6,64	Média
5	0,28	21,0	18,0	262	170	6,71	Baixa
6	0,53	20,9	18,0	260	169	6,69	Baixa
<b>Variação</b>	0,16 a 0,53	20,9 a 21,0	-	256 a 262	166 a 170	6,63 a 6,70	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	4,53	21,2	20,0	248	161	7,74	Baixa
4	3,85	21,2	20,0	250	162	7,71	Baixa
5	3,90	21,3	20,0	248	161	7,68	Baixa
6	3,80	21,3	20,0	251	163	7,72	Baixa
<b>Variação</b>	3,80 a 4,53	21,2 a 21,3	-	248 a 251	161 a 163	7,68 a 7,74	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	2,90	18,5	15,5	125	81	6,27	Baixa
3	2,68	18,4	15,5	123	80	6,22	Baixa
4	2,47	18,4	15,5	120	78	6,23	Baixa
5	2,50	18,5	15,5	118	77	6,25	Baixa
6	2,56	18,5	15,5	118	77	6,27	Média
<b>Variação</b>	2,47 a 2,90	18,4 a 18,5	-	118 a 125	77 a 81	6,22 a 6,27	-

Data da coleta: 30/09/2007

Poço	Nível estático (m)
P1	0,65
P2	0,69
P3	0,87
P4	1,35
P5	2,13
P6	2,74
P7	1,68
<b>Variação</b>	0,65 a 2,74

**Poço de monitoramento 1**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,06	20,3	23,9	178	116	7,84	Baixa
2	0,06	20,4	23,9	174	113	7,85	Baixa
3	0,06	20,5	23,9	173	112	7,87	Baixa
4	0,07	20,7	23,9	175	114	7,83	Baixa
5	0,08	20,7	23,9	177	115	7,00	Baixa
6	0,15	20,7	23,9	179	116	7,64	Baixa
<b>Variação</b>	0,06 a 0,15	20,3 a 20,7	-	173 a 179	112 a 116	7,00 a 7,87	-

**Poço de monitoramento 2**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	0,23	19,6	24,5	272	177	7,27	Média
2	0,21	19,7	24,5	269	175	7,53	Baixa
3	0,21	19,8	24,5	272	177	7,42	Baixa
4	0,21	20,0	24,5	270	175	7,46	Baixa
5	0,24	20,1	24,5	275	179	7,44	Baixa
6	0,23	20,1	24,5	275	179	7,54	Baixa
<b>Variação</b>	0,21 a 0,24	19,6 a 20,1	-	269 a 275	175 a 179	7,27 a 7,54	-

**Poço de monitoramento 3**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	2,54	20,3	30,0	168	109	6,82	Baixa
2	2,71	20,3	30,0	159	103	7,03	Baixa
3	3,01	20,4	30,0	158	103	7,02	Baixa
4	2,72	20,5	30,0	155	101	7,01	Baixa
5	2,60	20,6	30,0	157	102	7,01	Baixa
6	2,72	20,7	30,0	156	101	7,03	Baixa
<b>Variação</b>	2,54 a 3,01	20,3 a 20,7	-	155 a 168	101 a 109	6,82 a 7,03	-

**Poço de monitoramento 4**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	1,18	20,1	30,0	85	55	7,40	Baixa
3	1,18	20,1	30,0	84	55	7,40	Baixa
4	1,17	20,4	30,0	82	53	7,40	Baixa
5	1,20	20,7	30,0	82	53	7,36	Baixa
6	1,35	20,8	30,0	82	53	7,37	Baixa
<b>Variação</b>	1,17 a 1,35	20,1 a 20,8	-	82 a 85	53 a 55	7,36 a 7,40	-

**Poço de monitoramento 5**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	0,05	21,0	28,0	286	186	6,83	Baixa
4	0,06	21,1	28,0	285	185	6,81	Baixa
5	0,07	21,2	28,0	284	185	6,78	Baixa
6	0,16	21,1	28,0	285	185	6,84	Baixa
<b>Variação</b>	0,05 a 0,16	21,0 a 21,2	-	284 a 286	185 a 186	6,78 a 6,84	-

**Poço de monitoramento 6**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	2,85	20,8	28,0	242	157	7,45	Baixa
4	3,01	20,8	28,0	243	158	7,52	Baixa
5	3,11	20,9	28,0	244	159	7,82	Baixa
6	3,26	20,9	28,0	248	161	7,84	Baixa
<b>Variação</b>	2,85 a 3,26	20,8 a 20,9	-	242 a 248	157 a 161	7,45 a 7,84	-

**Poço de monitoramento 7**

Prof. (m)	O.D (mg/L)	Temp. água (°C)	Temp. ar (°C)	C.E (µS/cm)	STD (mg/L)	pH	Turbidez (visual)
1	-	-	-	-	-	-	-
2	1,20	19,6	28,0	136	88	6,27	Baixa
3	1,28	19,7	28,0	123	80	6,21	Baixa
4	1,33	19,8	28,0	116	75	6,36	Baixa
5	1,24	19,9	28,0	116	75	6,29	Baixa
6	1,32	19,9	28,0	114	74	6,24	Baixa
<b>Variação</b>	1,20 a 1,32	19,6 a 19,9	-	114 a 136	74 a 88	6,21 a 6,36	-

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)