

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA**

**BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL DA LAGOA DOS PATOS E SUA
INFLUÊNCIA SOBRE A ÁGUA SUBTERRÂNEA**

CAROLINE DOS SANTOS MACHADO

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da
Fundação Universidade Federal do Rio Grande,
como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Luis Felipe Hax Niencheski, Ph.D.

Rio Grande, abril de 2007

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, que me guiou e deu forças, para ir para Rio Grande em busca de um sonho. Sempre soube que queria trabalhar perto do mar, e de alguma forma contribuir para ajudar o meio ambiente, mas seguir em busca desse sonho não foi fácil, ainda mais sozinha, em uma cidade estranha e sem conhecer ninguém. Tirei coragem não sei de onde, mas sempre com o apoio da minha família e do meu namorado, meus grandes amores. Quero agradecer, em especial, a meu grande e maior amor: “Minha mãe”. Preciso que ela saiba o valor que ela tem na minha vida, e dizer, que o que sou, e tudo que serei de melhor, eu devo a ela! Nunca vou esquecer todos os sacrifícios que ela teve que fazer para eu hoje estar aqui e das muitas vezes que ela nos colocou, suas filhas, acima dela mesma e de seus sonhos! Obrigada mãe pelo que a senhora é! Obrigada Deus, por ter colocado esta pessoa maravilhosa na minha vida! Agradeço a meu pai, por me amparar a cada pedido de ajuda e por nunca ter dito não, mesmo nem sempre estando de acordo com minhas decisões. Obrigada por tudo “MyKari”, Mile e Cris, eu amo muito vocês! Obrigada Rogério, por sempre estar ao meu lado me apoiando em todas as decisões, por a cada dificuldade ter me dado seus braços para chorar e depois me ensinado o valor de uma reação. Obrigada por ser, antes de tudo, um grande amigo! Desculpem por ter estado tão distante, de na busca por meus ideais, ter deixado vocês um pouco (ou bastante) de lado e de não ter dado todo o carinho que vocês merecem!

Agradeço ao Felipe, pelos conselhos, pela paciência e por todo o aprendizado transmitido ao longo destes anos de convivência.

Aqui encontrei grandes amigos, irmãos que escolhi, e com quem foi um grande privilégio ter convivido. São eles: Bruna, Carlos, Cíntia, Danúbia, Denise, Idel, Júnior, Karina, Laurita, Lucia, Nilza, Rafael, Rodrigo, Simoni e Vanderlen. Queria agradecer a todos individualmente, mas a regra só me permite uma folha.

Agradeço a todos da Engenharia Oceânica, por tudo que fizeram e contribuíram em minha formação profissional, foi um grande privilégio ter feito parte desta família!

Agradeço, ainda, ao CNPQ pelo financiamento do projeto, à CAPES pela bolsa concedida e a todos os membros da banca, por terem aceitado o convite e pelos conselhos sugeridos.

RESUMO

Nas águas subterrâneas da região de restinga localizada entre a Lagoa dos Patos e o oceano Atlântico, ocorre um mecanismo mais dinâmico do que o que se observa na maioria dos aquíferos, fato este, devido à presença de uma recarga (Lagoa dos Patos) localizada próxima à descarga (oceano Atlântico) e a presença de sedimentos arenosos permeáveis entre ambas. A avaliação de dados de nível superficial simulados ao longo da Lagoa dos Patos indicou que, apesar de consideráveis variações entre o norte e o sul da lagoa, não se observou variações significativas de nível entre uma margem e outra nas regiões em estudo, que abrangem a região intermediária da lagoa. Tal fato permitiu que dados de nível da margem oeste fornecidos pela Agência Nacional de Águas representassem a margem leste em interesse, uma vez que o aquífero costeiro em estudo localiza-se neste lado da lagoa. Com a obtenção dos dados de nível pôde-se avaliar a influência das águas superficiais da lagoa sobre o aquífero em estudo, onde constatou-se que suas águas, juntamente com a precipitação, corresponderam as principais fontes de recarga deste aquífero. Desenvolveu-se uma metodologia para calcular o tempo de residência entre o processo de recarga a partir das águas superficiais da lagoa e a descarga das águas do lençol freático no oceano. Constatado que as águas superficiais da Lagoa dos Patos e a precipitação correspondem à principal fonte de recarga do aquífero freático em estudo, avaliou-se, a partir dos teores de silicato presentes nas águas do lençol freático, como as condições superficiais da lagoa e as taxas pluviométricas afetam os fluxos subterrâneos. Utilizou-se, portanto as concentrações de silicato como traçadores dos fluxos subterrâneos em virtude de serem diretamente proporcionais. Pelo fato da restinga ter sido originada por um substrato sedimentar a condutividade hidráulica não é constante, pois existe uma seqüência de deposições de sedimentos permeáveis e lama. Entretanto, quando existem sedimentos impermeáveis, como na região da célula central e sul estas atuam como separadoras de aquífero, constituindo assim um aquífero suspenso, o qual é influenciado pelas águas da Lagoa dos Patos, pela precipitação e por um aquífero mais profundo. Este também deve ser influenciado pela Lagoa dos Patos, pois na célula norte, onde não se observa esta camada impermeável, os poços profundos (15m) possuem águas com as mesmas características dos poços superficiais.

Palavras-chave: Lagoa dos Patos, água subterrânea, nível, pressão, aquífero freático.

ABSTRACT

In the groundwater of the area of located barrier spit between the Patos Lagoon and the South Atlantic Ocean, happens a more dynamic mechanism than what is observed in most of the aquifers system, fact this, due to the presence of a recharge (Patos Lagoon) located near to the discharge (South Atlantic Ocean) and the presence of permeable sandy sediments among both. The evaluation of data of simulated superficial level along the Patos lagoon it indicated that, in spite of considerable variations between the north and south of the lagoon, it was not observed significant variations of level among a margin and other in the areas in study, that enclose the intermediate area of the lagoon. Such fact allowed that data of level of the margin west supplied by the “Agência Nacional de Águas” they represented the margin east in interest, once the coastal aquifer in study is located on this side of the lagoon. With the obtaining of the level data the influence of the superficial waters of the lagoon could be evaluated on the superficial waters of the lagoon could be evaluated on the aquifer in study, where it was verified that yours waters, together with the precipitation they correspond the main sources of recharge of this aquifer. We developed a methodology to calculate the time of residence among the recharge process from the superficial waters of the lagoon and the discharge of the groundwaters in the ocean. Verified that the superficial waters of the Patos Lagoon and the precipitation correspond to main source of recharge of the aquifer in study, it was evaluated as the superficial conditions of the lagoon and the rain rates they affect the underground flows from the silicate concentration present in the groundwater. It was used, therefore, the silicate concentration as tracer of the underground flows by virtue of they be directly proportional. For the fact of the barrier spit it was originated by a sedimentary substratum, they hydraulic conductivity is not constant, because a sequence of depositions of permeable sediments and mud exists. However, when impermeable sediments exist, as in the areas of center and south cells, these act as separator of aquifers, constituting thus like a suspended aquifer, which is influenced by the Patos Lagoon, because in the north cell, where impermeable sediments don't exist, the deep wells (15 m) they possues water with the same characteristics of the superficial wells.

Palavras-chave: Patos Lagoon, groundwater, level, press, aquifer.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	03
RESUMO	04
ABSTRACT	05
SUMÁRIO.....	06
SUMÁRIO DE FIGURAS	08
SUMÁRIO DE TABELAS, ANEXOS E EQUAÇÕES.....	11
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
1.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	12
1.2 CICLO HIDROLÓGICO.....	13
1.3 ÁGUA NO SUBSOLO	15
1.4 EXTRAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	18
2. NÍVEIS AO LONGO DA LAGOA DOS PATOS	19
2.1 INTRODUÇÃO.....	19
2.2 OBJETIVO GERAL.....	21
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2.4 JUSTIFICATIVA	22
2.5 METODOLOGIA	22
2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
2.7 CONCLUSÃO	30
3. A LAGOA DOS PATOS COMO RECARGA DE UM AQUÍFERO FREÁTICO COSTEIRO.....	31
3.1 INTRODUÇÃO.....	31
3.1.1 Morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul.....	34
3.1.2 Permeabilidade das praias da região central do Rio Grande do Sul.....	37
3.1.3 Unidades Geomorfológicas do solo da região de cada poço	41
3.2 OBJETIVOS.....	43
3.3 JUSTIFICATIVA	43
3.4 ÁREA DE ESTUDO	44
3.5 METODOLOGIA	45
3.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
3.7 CONCLUSÃO	65

4. INFLUÊNCIA DA ÁGUA SUPERFICIAL DA LAGOA DOS PATOS NOS FLUXOS SUBTERRÂNEOS	66
4.1 INTRODUÇÃO.....	66
4.1.1 Efeito do vento sobre a circulação superficial da Lagoa dos Patos.	66
4.1.2 Principais tributários da Lagoa dos Patos.	70
4.1.3 Íon Silicato	71
4.1.4 Condutividade eletrolítica	72
4.2 OBJETIVO GERAL.....	73
4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	73
4.4 JUSTIFICATIVA	74
4.5 ÁREA DE ESTUDO	74
4.6 METODOLOGIA	75
4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES:.....	79
4.7.1 Avaliação do comportamento do íon silicato	79
4.7.1.1 Considerações iniciais:.....	79
4.7.1.2 PRIMEIRA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 1)	87
4.7.1.3 SEGUNDA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 2)	93
4.7.1.4 TERCEIRA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 3).....	96
4.7.1.5 QUARTA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 4)	99
4.7.1.6 QUINTA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 5).....	101
4.7.1.7 SEXTA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 6)	105
4.7.1.8 SÉTIMA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 7).....	108
4.7.1.9 OITAVA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 08).....	111
4.7.1.10 Considerações finais:.....	113
4.7.2 O Comportamento da Condutividade Eletrolítica neste ambiente	115
4.8 CONCLUSÕES:.....	117
5. CONCLUSÃO GERAL	118
6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	119
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1.1 - Representação da Intrusão salina na zona de água provida da lagoa, provocada pelo bombeamento de um poço freático.	17
Figura 2.1 – Mapa com a localização das células norte, central e sul.....	20
Figura 2.2 - Nível da estação do Laranjal, fornecido pela Agência Nacional de Águas e níveis simulados para a margem oeste, para o centro e para a margem leste da Lagoa dos Patos, na célula sul da lagoa próxima aos poços 7, 8 e 9.	25
Figura 2.3 - Nível da estação Arambaré fornecido pela Agência Nacional de Águas e níveis simulados para a margem oeste, para o centro e para a margem leste da Lagoa dos Patos na região central da lagoa próxima aos poços 4, 5 e 6.....	26
Figura 2.4 - Localização da Eclusa do canal de São Gonçalo e da estação de Laranjal obtida a partir do aplicativo Google Earth na versão de testes 4.0.2416.	27
Figura 2.5 - Nível da estação de Laranjal e níveis a montante e a jusante da Eclusa de Santa Bárbara ao longo do tempo.	28
Figura 2.6 - Correlações das Eclusas (montante e jusante) e das Eclusas com a estação de Laranjal.....	29
Figura 3.1 - Mapa com as localizações das regiões dos poços em estudo e das praias próximas a eles (Farol do Estreito, Lagamarzinho e do Farol da Solidão).	34
Figura 3.2 - Comparação entre a permeabilidade medida sob condições consideradas normais e condições de tempestade na região do pós-praia. Região em estudo: Farol do Estreito, Lagamarzinho e Farol da Solidão. Fonte: Pereira, 2005.	40
Figura 3.3 - Área de estudo incluindo as duas estações de obtenção de dados de nível (Arambaré e Laranjal) e os poços onde se encontram os sensores de pressão interna (poços 5 e 9).....	44
Figura 3.4 - Sensor de pressão (software HOB0 Data Loggers).....	45
Figura 3.5 - a) Variação temporal da pressão interna do poço 9 e variação do nível da Lagoa dos Patos na Estação do Laranjal. b) Variação temporal da pressão interna do poço 5 e variação do nível da Lagoa dos Patos na Estação de Arambaré.	48
Figura 3.6 - Diferença entre as precipitações mensais nas regiões Sul e Central	50
Figura 3.7 - Nível diário da Lagoa dos Patos (m) nas estações de Laranjal e Arambaré entre os anos de 2000 e 2006. Onde: V = verão, O = outono, I = inverno e P = primavera.....	51

Figura 3.8 - Variação do nível da Lagoa dos Patos nas estações de Arambaré e Laranjal entre julho de 2005 e junho de 2006.	49
Figura 3.9 - Variações entre as pressões internas nos poços 5 e 9.....	52
Figura 3.10 - Separação dos períodos dos dados de pressão interna para correlação de Pearson e avaliação com os dados de precipitação local.	53
Figura 3.11 - <i>Gráfico superior</i> : Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. <i>Gráfico Inferior</i> : Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande. a) Período de 01/07/2005 a 24/09/2005. b) Período de 24/09/2005 a 05/10/2005. c) Período de 05/10/2005 a 01/01/2006. d) Período de 01/01/2006 a 20/02/2006. e) Período de 20/02/2006 a 03/05/2006. f) Período de 03/05/2006 a 01/07/2006.....	58
Figura 3.12 - Correlações obtidas entre os dados de ΔN (Arambaré) e ΔP (poço 5) sem defasagem de tempo e com defasagem de tempo de 1 a 20 dias	58
Figura 3.13 - Nível dos poços medidos a partir do nível da superfície do solo.....	60
Figura 3.14 - Exemplificação da percolação da água subterrânea na região em estudo (processos de recarga e descarga).....	61
Figura 4.1 – Mapa com as localizações de Itapoã, Arambaré e da Feitoria e das regiões (células) onde se encontra o aquífero freático em estudo no presente trabalho.	68
Figura 4.2 - Mapa com as localizações dos conjuntos de poços nas três células em estudo, onde → representa o sentido do perfil longitudinal com que os dados de silicato foram plotados.....	76
Figura 4.3 - Concentrações de silicato obtidas nas águas do lençol freático durante a primeira saída realizada (S1)	78
Figura 4.4 – Pressão hidrostática a 10m e a 15 e 27m ao longo de seis meses nos poços 5 e 9.....	79
Figura 4.5 – Concentração de Silicato (μM) nas quatro primeiras campanhas amostrais. À esquerda, encontram-se os dados de concentração sem os poços abaixo da camada impermeável. À direita, encontram-se os dados em todos os poços.	84
Figura 4.5 (continuação) – Concentração de Silicato (μM) nas quatro últimas campanhas amostrais. À esquerda, encontram-se os dados de concentração sem os poços abaixo da camada impermeável. À direita, encontram-se os dados de concentração em todos os poços.	85
Figura 4.6 – Concentração de silicato (μM) nos poços 1, 4 e 7 (Norte, Centro e Sul).	86
Figura 4.7 - Intensidade (m/s) e direção do vento na saída 1. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	89

Figura 4.8 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S1 indica o nível na saída 1 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	90
Figura 4.9 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 2. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	93
Figura 4.10 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S2 indica o nível na saída 2 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	94
Figura 4.11 - Intensidade (m/s) e direção do vento na saída 3. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	97
Figura 4.12 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S3 indica o nível na saída 3 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	98
Figura 4.13 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 4. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	99
Figura 4.14 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S4 indica o nível na saída 4 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	100
Figura 4.15 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 5. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	99
Figura 4.16 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S5 indica o nível na saída 5 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	103
Figura 4.17 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 6. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	106
Figura 4.18 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S6 indica o nível na saída 6 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	107
Figura 4.19 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 7. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	109
Figura 4.20 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S7 indica o nível na saída 7 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).	110
Figura 4.21 - Intensidade (m/s) e direção do vento na saída 8. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.....	111

Figura 4.22 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S8 indica o nível na saída 8 e indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)..... 112

Figura 4.23 - Condutividade eletrolítica (μS) diária ao longo de três anos obtidas nos poços 7, 8 e 9.... 115

SUMÁRIO DE TABELAS, ANEXOS E EQUAÇÕES

Equação 0.1 – Variação da pressão interna do poço..... 47

Equação 0.2 – Variação do nível da lagoa 47

Equação 0.3 – Declividade..... 63

Tabela 2.1 - Principais informações a respeito das estações de Arambaré, São Lourenço e Laranjal, para obtenção dos dados no site da ANA. 23

Tabela 3.1 - Características granulométricas e permeabilidade nas regiões da berma e do pós-praia no litoral central do RS..... 34

Tabela 3.2 - Valores Típicos do Coeficiente de Permeabilidade 37

Tabela 3.3 - Unidade geomorfológica de cada poço, de acordo com Cunha (1997). 40

Tabela 3.4 - Valores de ΔP obtidos a partir de dados de P. 45

Tabela 3.5 - Metodologia adotada para obtenção do tempo de residência..... 57

Tabela 4.1 - Médias mensais das vazões..... 67

Tabela 4.2 – Média mensal das vazões dos principais afluentes da Lagoa dos Patos..... 76

Tabela 4.3 – Precipitações ocorrentes em todas as saídas e nos cinco dias anteriores nas células sul (Rio Grande), central (Tavares) e norte (Mostardas). 84

ANEXO A. Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, num período de 20 anos, separados em períodos baseados na presença do fenômeno ENOS (El Niño/La Niña). 126

ANEXO B.

Tabela B.1 – Dados de pressão hidrostática dos poços 5 e 9 de profundidade 10m..... 130

ANEXO C...... 135

Tabela C.1 – Intensidade e direção do vento em Rio Grande e em Porto Alegre para os períodos das três primeiras saídas. 135

ANEXO D. Vazões mensais dos rios Jacuí, Camaquã e Taquari..... 137

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

“É A ÁGUA QUE MANTÉM A VIDA SOBRE A TERRA!”

Esta afirmação nos dá a real dimensão da importância da água como elemento essencial ao desenvolvimento da vida em nosso planeta. A importância da água na superfície da Terra é atestada quando se comparam as áreas cobertas com água e gelo com aquelas de “terra firme”: do total de $510 \times 10^6 \text{ km}^2$ da superfície da Terra, $310 \times 10^6 \text{ km}^2$ são cobertos por oceanos, em contraposição a aproximadamente $185 \times 10^6 \text{ km}^2$ de terra firme. Considerando-se que cerca de $2,5 \times 10^6 \text{ km}^2$ das terras firmes são cobertas por rios e lagos e até $15 \times 10^6 \text{ km}^2$ por geleiras, esta relação fica ainda mais desfavorável pelas terras emersas. Por isso a Terra é chamada de planeta azul quando vista do espaço: *é a cor da água*. Sem a água, não se tem fotossíntese, e conseqüentemente, não se tem biomassa. É importante lembrar ainda, que praticamente 80% do corpo humano é composto por água.

Porém, cerca de 97,5% de toda a água na Terra é salgada. Menos de 2,5% são doces e estão distribuídas em calotas polares (68,9%), aquíferos (29,9%), rios e lagos (0,3%) e outros reservatórios (0,9%). Desta forma, apenas 1% da água doce é um recurso aproveitável pela humanidade, o que representa 0,007% de toda água do planeta.

Deste recurso aproveitável cerca de 97% encontra-se no subsolo e portanto apenas 3% da água potável disponível no planeta provém das águas de superfície. Estes dados dão a dimensão da importância das águas subterrâneas.

Do percentual das águas localizadas no subsolo, cerca da metade está localizada abaixo de 800 metros de profundidade, constituindo-se, portanto, em reservas de difícil acesso ao homem.

Se, até algumas décadas atrás, a água não era valorizada como um recurso, hoje passa a ter um valor estratégico na conservação de ecossistemas naturais e na melhoria da qualidade de vida, no processo de desenvolvimento social e econômico. Sabe-se hoje que a água é um recurso vulnerável e já escasso em quantidade e qualidade em alguns locais. Segundo a

Organização das Nações Unidas – ONU, (2003), cerca de 2,7 bilhões de pessoas enfrentarão a falta de água no ano 2025 (Millon, 2004).

1.2 CICLO HIDROLÓGICO

A água distribui-se na atmosfera e na parte superficial da crosta até uma profundidade de aproximadamente 10km abaixo da interface atmosfera/crosta, constituindo a hidrosfera, que consiste em uma série de reservatórios como oceanos, geleiras, rios, lagos, vapor de água atmosférica, água subterrânea e água retida nos seres vivos. O constante intercâmbio entre estes reservatórios compreende o ciclo da água, ou ciclo hidrológico, movimentado pela energia solar, e representa o processo mais importante da dinâmica externa da Terra.

O ciclo hidrológico, portanto, se constitui, basicamente, em um processo contínuo de transporte de massas d'água do oceano para a atmosfera e desta, através de precipitações, escoamento (superficial e subterrâneo) novamente ao oceano.

A origem da água na história da Terra está relacionada com a formação da atmosfera, ou seja, a degaseificação do planeta. Este termo refere-se ao fenômeno de liberação de gases por um sólido ou líquido quando este é aquecido ou resfriado. Este processo, atuante até hoje, teve início na fase de resfriamento geral da Terra, após a fase inicial de fusão parcial. Logo surge uma dúvida: o volume de água que atualmente compõe a hidrosfera foi gerado gradativamente ao longo do tempo geológico ou surgiu repentinamente num certo momento desta história? Os geólogos defendem a segunda possibilidade. Existem evidências geoquímicas que suportam a formação de quase toda a atmosfera e a água hoje disponível na primeira fase de resfriamento da Terra; desde então, este volume teria sofrido pequenas variações.

Partindo de um volume total de água relativamente constante no Sistema Terra, pode-se acompanhar, então, o ciclo hidrológico.

O ciclo hidrológico tem, nos fenômenos de evaporação e precipitação, os seus principais elementos responsáveis pela contínua circulação da água no globo. A radiação solar fornece a energia necessária para todo o ciclo hidrológico. Grande parte desta energia é utilizada na evaporação da água dos oceanos, que quantitativamente se constitui no principal elemento do ciclo hidrológico. Desta, a maior parte, ou seja 75%, retorna diretamente aos oceanos sob a forma de precipitação. O restante da água evaporada dos oceanos, que

corresponde a 25%, precipita-se sobre os continentes, sendo que a maior parte é evaporada e pode retornar aos oceanos sob forma de vapor ou como forma de precipitação. A outra parte, sob forma líquida, também retorna aos oceanos, através da rede hidrográfica pelo escoamento superficial e indiretamente através do escoamento subterrâneo.

A composição química da precipitação oceânica difere-se nitidamente da continental. Esta diferenciação é especialmente nítida para alguns íons, Na^+ , Mg^{2+} e Cl^- , que apresentam maior concentração nas precipitações marinhas. No caso do íon amônio, a maior concentração é observada nas chuvas de continente. As altas concentrações da maioria dos elementos observados na água da chuva marinha têm grande importância na determinação das características geoquímicas dos corpos d'água continentais próximos ao litoral visto que, freqüentemente, são atingidos pelas precipitações marinhas (Esteves, 1950).

Embora a evaporação e a precipitação sejam os elementos mais importantes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo são outros elementos que podem assumir grande importância.

Uma vez atingido o solo, dois caminhos podem ser seguidos pela gotícula de água. O primeiro é a infiltração que depende principalmente das características do material de cobertura da superfície. A água de infiltração, guiada pela força gravitacional, tende a preencher os vazios no subsolo, seguindo em profundidade onde abastece o corpo de água subterrânea. A segunda possibilidade ocorre quando a capacidade de absorção da água pela superfície é superada e o excesso de água inicia o escoamento superficial, impulsionado pela gravidade para as zonas mais baixas. Este escoamento inicia-se através de pequenos filetes de água, efêmeros e disseminados pela superfície do solo, que converge para os córregos e rios, constituindo a rede de drenagem. O escoamento superficial, com raras exceções, tem como destino final os oceanos.

Neste trabalho, tem-se como objetivo, a compreensão do comportamento da água em um aquífero freático costeiro.

A compreensão do comportamento e constituição química da água do lençol freático está intimamente ligada às características do solo por onde esta água percola e o conhecimento de tais características, portanto, se torna de extrema importância num estudo como este.

Por esta razão, torna-se importante, além do conhecimento do ciclo hidrológico, a compreensão dos minerais e das rochas, ou seja, os constituintes da Terra sólida.

Do ponto de vista estrutural, as restingas litorâneas são definidas a partir das grandes acumulações sedimentares de origem recente, marinha e continental. As areias constituem o

material de base de toda a estrutura em granulometria e composição variada, mas predominantemente quartzosa (Vieira, 1983).

Os depósitos sedimentares de origem orgânica são acúmulos de matéria orgânica tais como restos de vegetais, conchas de animais, excrementos de aves, etc. que, por compactação, acabam gerando, respectivamente, turfa, coquina e guano. São pseudo-rochas porque suas partículas agregadas não são minerais.

1.3 ÁGUA NO SUBSOLO

A infiltração é o processo mais importante de recarga da água no subsolo. A infiltração é favorecida pela presença de materiais porosos e permeáveis, como solos e sedimentos arenosos. A quantidade de água transmitida pelo solo depende de uma característica importante, chamada de capacidade de campo, que corresponde ao volume de água absorvido pelo solo, antes de atingir a saturação, e que não sofre movimentos para níveis inferiores. Este parâmetro influencia diretamente a infiltração, pois representa o volume de água que participa do solo, mas que não contribui com a recarga da água subterrânea, sendo aproveitada somente pela vegetação. O limite inferior da percolação da água é dado quando as rochas não admitem mais espaços abertos (poros) devido à pressão da pilha de rochas sobrejacentes. Essa profundidade atinge um máximo de 10000m, dependendo da situação topográfica e do tipo de rocha. Pode-se imaginar então que toda água de infiltração tende a atingir este limite inferior, onde sofre um represamento, preenchendo todos os espaços abertos em direção à superfície.

Denomina-se aquífero a uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais.

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes: superior, (topo), e inferior, (base), e também em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes.

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 sobrejacentes relativamente impermeáveis.

Os aquíferos confinados podem ser divididos em:

Aqüífero confinado não drenante que é um aquífero cujas camadas limítrofes, superior e inferior, são impermeáveis. O poço desse tipo de aquífero costuma ser chamado de artesiano surgente ou jorrante.

Aqüífero confinado drenante é um aquífero no qual pelo menos uma das camadas limítrofes é semi-permeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base.

Aqüífero Livre, Freático ou Não Confinado é aquele cujo limite superior é uma superfície freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. Podem ser também drenantes (de base semipermeável) e não drenantes (de base impermeável).

Aqüífero suspenso é um caso especial de aquífero não confinado. Ocorre quando um volume de água subterrânea está separado da água subterrânea principal por um estrato relativamente impermeável de pequena extensão em área e por uma zona de aeração acima do corpo principal da água subterrânea. Esses aquíferos às vezes existem em caráter temporário, na medida em que drenam para o nível freático subjacente.

O aquífero em estudo no presente trabalho corresponde a um aquífero costeiro, cujas principais avaliações se restringirão ao nível freático. A constatação de uma camada impermeável a aproximadamente 10m de profundidade observada para alguns locais, fizeram desta, uma camada limite inferior para os estudos realizados.

Definimos aqui aquíferos costeiros como aqueles situados em planícies próximas ao mar ou grandes lagos salgados. As águas destes aquíferos sofrem influência das águas salgadas, o que lhes confere características bem marcantes. Nestes locais o fluxo subterrâneo de água doce que vem do continente encontra o fluxo subterrâneo de água salgada que está se infiltrando a partir do mar ou do lago. Devido à diferença de densidades entre estes dois tipos de água, ocorre uma estratificação, ficando a água doce por cima e a água salgada por baixo. Estas águas mantêm uma separação razoável, devido ao fato de que ambas estão em um meio poroso, onde a difusão dos solutos é muito lenta. A interface água doce-salgada é, na verdade, uma zona com vários graus de mistura entre as duas águas (Figura 1.1). A diminuição da coluna de água doce permitirá que a água salgada suba, de forma a equilibrar a pressão entre as duas.

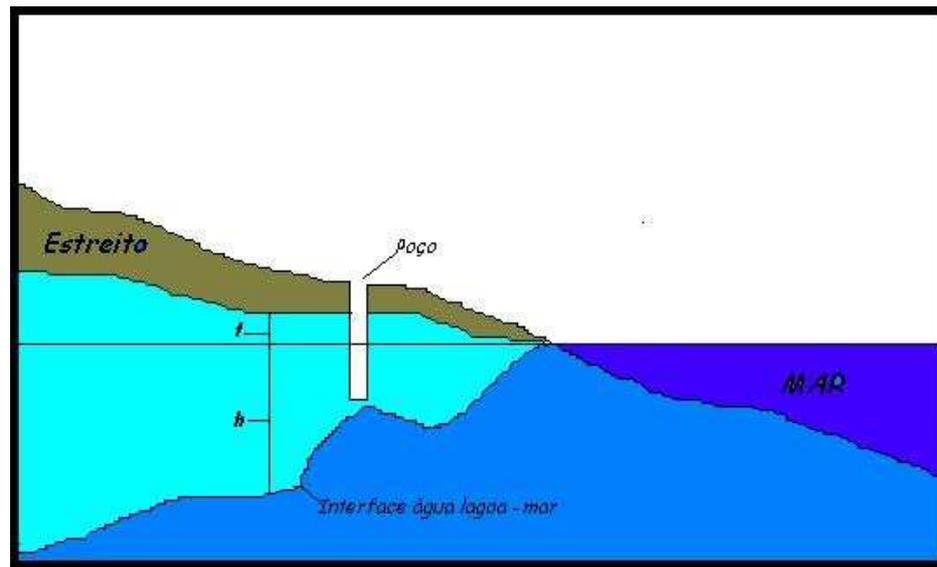


Figura 1.1 - Representação da Intrusão salina na zona de água provida da lagoa, provocada pelo bombeamento de um poço freático.

Os aquíferos costeiros são, geralmente do tipo freático, livres e muito vulneráveis. As condições de uso e ocupação do meio físico afetam diretamente a qualidade das águas extraídas, sobretudo por meio de poços rasos (3 a 10m principalmente) (Rebouças, 2002).

A camada ou corpo rochoso por onde a água circula configura um sistema de fluxos subterrâneos, à medida que tem uma zona de recarga que se inter-relaciona com outra de descarga por meios de processos hidrogeológicos e geoquímicos, como é o caso do aquífero freático do presente estudo, cuja recarga corresponde a água da Lagoa dos Patos e a descarga ocorre para o oceano.

A influência de poços sobre o nível do lençol freático se verifica na extração de água por meio de um poço ou conjunto de poços, ocasionando a formação de cones de rebaixamento dos níveis das águas subterrâneas. No caso de um aquífero costeiro, tais cones de rebaixamento dão lugar a uma cunha de água salgada que se posiciona sob a água doce do aquífero. Uma representação do processo aqui descrito pode ser visualizada na Figura 1.1.

1.4 EXTRAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Muito embora os aquíferos formem o maior reservatório de água potável líquida do mundo, sua distribuição não é igual no planeta. Algumas áreas possuem uma abundância deste recurso enquanto em outras é quase inexistente. O principal controle é a interação entre as características geológicas e climatológicas da área. O clima na região de recarga vai controlar os volumes ingressados de água ao aquífero, através do balanço hídrico.

Qualquer bombeamento de um poço causa alguma descida nos níveis de um aquífero. Caso a extração seja limitada, o nível de água se equilibrará em função do balanço entre a descarga e a recarga. Entretanto, se a extração for maior que a capacidade de reposição de água no aquífero, o nível hidráulico continuará caindo ao longo dos anos e poderá chegar a comprometer seriamente o recurso subterrâneo. No caso de um aquífero freático, a intrusão salina pode atingir o nível dos poços e comprometer inviabilizando seu consumo.

A excelente qualidade natural aliada ao baixo custo tem justificado o crescente uso deste recurso mesmo em áreas úmidas com excelentes hídricos como na América Central e no Brasil, onde 35% da população fazem uso deste recurso para suprimento de suas necessidades de água potável. No estado de São Paulo, por exemplo, 70% dos núcleos urbanos são abastecidos total ou parcialmente por águas oriundas de aquíferos, totalizando 34% da população (Karmann, 2000).

No Brasil, muitos casos de perfuração descontrolada de poços ocorreram pela inexistência de dispositivos legais que regulamentem a atividade. O código de águas, de 1934 dispunha que o dono de qualquer terreno poderia se apropriar, por meio de poços ou galerias, da água que existia em subsuperfície na sua propriedade, contanto que não prejudicasse os aproveitamentos existentes, nem derivasse a água do seu curso natural. Somente com a Constituição Federal de 1988 e com as leis decorrentes, a água subterrânea passou a ser considerada um bem de domínio dos Estados, possibilitando o efetivo gerenciamento da reserva hídrica subterrânea.

2. NÍVEIS AO LONGO DA LAGOA DOS PATOS

2.1 INTRODUÇÃO

A Lagoa dos Patos, com 250 km de extensão e largura média de 60 km, é alongada no sentido NE-SW e dispõe-se paralelamente à planície costeira do Rio Grande do Sul. É caracterizada por um fundo relativamente plano, com 6 a 8 metros de profundidade, sendo que as maiores profundidades encontram-se próximas à restinga (margem leste) e estão dispostas paralelamente ao eixo principal da Lagoa, com gradual diminuição da batimetria no sentido noroeste (Herz, 1977).

A costa sul do Brasil é localizada na região de mínima influência de maré. A amplitude média de maré é de 0,47 m e predominantemente semi-diurna. A onda de maré com amplitude de 10,8cm representa a principal componente (Herz,1977).

Os regimes de fluxo na Lagoa dos Patos estão relacionados aos desníveis que ocorrem dentro da Lagoa e na zona costeira. Os ventos exercem grande influência sobre as marés e as correntes no sistema lagunar. Ventos de NE tendem a baixar o nível do mar na barra, impelindo as águas da Lagoa para o Canal do Norte e ocasionando o escoamento das mesmas em direção ao mar (regime de vazante). Os ventos de SW e SE, pelo contrário, elevam o nível do mar na barra, impelindo a água do sistema lagunar para o interior e formando uma corrente do mar para a Lagoa (regime de enchente) (Calliari,1980).

O Rio Guaíba, incluindo os tributários, Jacuí e Taquari contribuem com cerca de 85% dos aportes de água doce vindos do norte da Lagoa (Niencheski & Windom, 1994).

Portanto, uma caracterização hídrica da região norte da Lagoa dos Patos pode ser obtida a partir do conhecimento do comportamento destes dois principais tributários.

Devido à necessidade de compreensão do comportamento dos níveis ao longo da Lagoa dos Patos, optou-se por fazer um capítulo à parte, com um estudo detalhado dos níveis da lagoa nas regiões em interesse. Tais regiões correspondem às células norte, central e sul da

lagoa (Figura. 2.1).

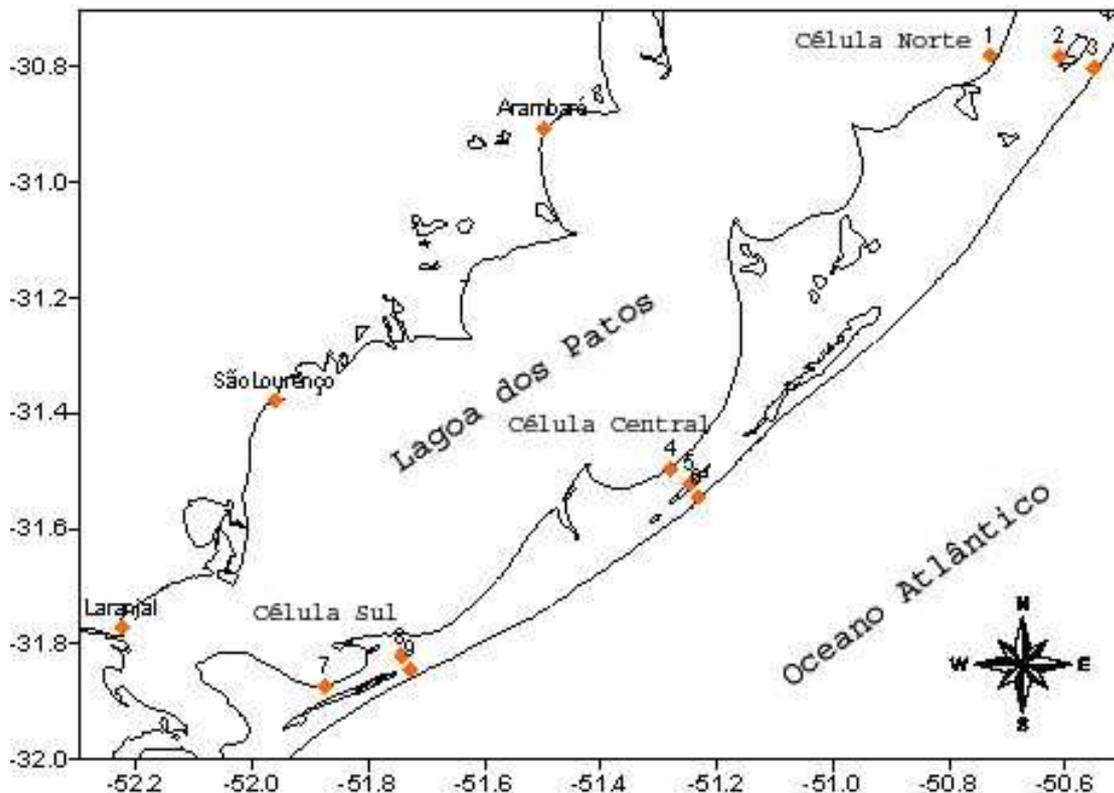


Figura 2.1 – Mapa com a localização das células norte, central e sul.

Os principais sistemas monitorados que deságuam na Lagoa dos Patos são o complexo Guaíba (do qual fazem parte o Taquari e o Jacuí), na parte norte do estado, e a sub-bacia do Camaquã. Há ainda a bacia da Lagoa Mirim, que deságua no estuário pelo canal São Gonçalo, mas não existem dados sobre a quantificação da contribuição deste sistema à bacia da Lagoa dos Patos (Hirata, 2006).

As águas da Lagoa Mirim conectam-se à Lagoa dos Patos através do canal São Gonçalo, que possui, aproximadamente 76 km de comprimento, largura de 240 m e profundidade média de 7 m. O sentido mais comum de escoamento é da Mirim para Lagoa dos Patos, porém, pode se reverter quando o nível da Lagoa Mirim estiver muito baixo. Na década de 70, foi construída uma barragem eclusa no extremo do canal, próximo à Lagoa dos Patos com a finalidade de evitar a entrada de água de origem marinha na Lagoa Mirim, assim permitindo o uso de suas águas para irrigação. A eclusa é composta por 18 comportas de

controle com 12 m de largura e 3,2 m de altura cada, e uma comporta de navegação com 17 m de largura e 8,34 m altura (Friedrich, 2004).

2.2 OBJETIVO GERAL

Verificar se as estações do Laranjal, São Lourenço e Arambaré (estações cujos dados de nível são fornecidos pela Agência Nacional de Águas - ANA) conseguem representar o nível da Lagoa dos Patos numa região próxima aos poços em estudo (Figura. 2.1), para que, em caso afirmativo, se utilize os dados de nível fornecidos pela ANA, não havendo a necessidade de se recorrer à simulação destes dados.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Fornecer informações de como as águas do canal São Gonçalo influenciam o nível da Lagoa dos Patos, mais precisamente na estação do Laranjal.

- ✓ Compreender quais águas influenciarão a margem leste da lagoa a partir de aportes oriundos da margem oeste, nas três células em interesse.

2.4 JUSTIFICATIVA

O conhecimento do nível da Lagoa dos Patos próximo aos poços das células norte, central e sul é fundamental para a compreensão dos processos subterrâneos ocorrentes nesta região e para a realização dos capítulos posteriores.

2.5 METODOLOGIA

Para a compreensão dos processos em questão, utilizou-se dados de nível simulados nas células norte, central e sul da Lagoa dos Patos, tanto na margem leste, como na margem oeste e no centro da lagoa (entre as margens leste e oeste).

A determinação do nível simulado foi realizada utilizando o modelo Delft3D em sua versão de avaliação. O conteúdo com a descrição dos módulos deste programa pode ser obtido no manual fornecido pela WL/Delft Hydraulics. Foi utilizada uma grade com apenas uma camada com cerca de 5000 elementos com maior refinamento na região de interesse. Já a batimetria utilizada foi obtida do trabalho de Castelão (1999). Como condições de contorno foram definidas as margens da lagoa como fronteiras fechadas e os limites norte e sul como fronteiras abertas, além do canal São Gonçalo e do Rio Camaquã. A fronteira norte, correspondente ao Lago Guaíba, foi prescrita como uma série temporal das descargas dos rios Jacuí, Caí, Sinos, Taquari e Gravataí, obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA). As condições de contorno referentes ao canal São Gonçalo e o Rio Camaquã foram definidas como as séries temporais de níveis obtidas da ANA. Já a fronteira sul consiste de parte da plataforma continental do Oceano Atlântico onde foi estabelecido como forçante o nível do mar, levando em conta uma maré lunar semi-diurna com amplitude de 0,5m, frequência de $28,8 \text{ }^\circ\text{.h}^{-1} \mu$ e fase de 233° , (Hertz, 1977). A calibração do modelo contou com a comparação dos dados observados obtidos na ANA com os valores simulados. O período para calibração foi todo o ano 2001 utilizando os ventos interpolados entre Rio Grande e Porto Alegre do mesmo período. Como parâmetros de calibração foram escolhidos o coeficiente de arraste do vento e o coeficiente de atrito de fundo sendo estes variados até que os dados observados e simulados coincidiram. A calibração mostrou bons resultados para a região de interesse demonstrando que o modelo poderia ser aplicado para o objetivo desejado. Dessa forma,

passou-se a etapa de validação do modelo que é a fase em que se verifica se o modelo é capaz de simular o sistema sem dados observados. Esta etapa foi realizada comparando os dados observados durante todo o ano de 2002 com os dados simulados, apresentado um bom desempenho para a região de interesse. Tendo o modelo calibrado e validado, gerou-se então as séries de níveis para os anos de 2003, 2004 e até setembro de 2005. A utilização e validação do modelo DELFT3D foi realizada em diversos trabalhos, entre eles, Pereira e Niencheski, 2003; Pereira et al., 2004; Pereira e Niencheski, 2004 e Machado et al., 2006.

Os dados de nível diário da Lagoa dos Patos, nas três estações em interesse (Arambaré, São Lourenço e Laranjal) foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA). As localizações das três estações podem ser visualizadas na Figura 2.1. As principais informações fornecidas pela ANA, a respeito destas estações, para obtenção dos dados de nível, encontram-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Principais informações a respeito das estações de Arambaré, São Lourenço e Laranjal, para obtenção dos dados no site da ANA.

<i>Nome da Estação</i>	<i>Código</i>	<i>Bacia</i>	<i>Rio</i>	<i>Estado</i>	<i>Município</i>
Arambaré	87540000	Atlântico, trecho sudeste (8)	Lagoa dos Patos	RS	Arambaré
São Lourenço	87921000	Atlântico, trecho sudeste (8)	Lagoa dos Patos	RS	São Lourenço do Sul
Laranjal	87955000	Atlântico, trecho sudeste (8)	Lagoa dos Patos	RS	Pelotas

Os dados de nível do canal São Gonçalo (montante e jusante da eclusa) foram obtidos na Agência da Lagoa Mirim (ALM) da Universidade Federal de Pelotas.

Devido ao número de dados utilizados neste trabalho, optou-se pela utilização do coeficiente de correlação produto do momento de Pearson. Um mapa de dispersão será utilizado para determinar se existe correlação linear entre duas variáveis. Da fórmula que define r , decorre que o coeficiente de correlação deve situar-se no intervalo de -1 a 1. Se todos os pontos estão sobre uma linha reta, a soma residual dos quadrados é zero e o valor resultante

de r , -1 ou $+1$, indica o ajuste perfeito. Se $|r|$ é maior do que o valor crítico há evidência suficiente para decidir que a correlação é significativa. Caso contrário não há evidência suficiente para afirmar que a correlação é significativa. Quando, no presente trabalho, for dito que existe uma boa correlação entre as variáveis em estudo, existirá evidência suficiente a um nível de 1% de significância, ou seja, $|r|$ será maior que o valor crítico considerando-se 1% de significância.

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente plotou-se dados de nível (m) da estação do Laranjal (dados fornecidos pela ANA) com dados de nível simulados para a região da lagoa próxima aos poços 7, 8 e 9, na margem oeste, no centro e na margem leste da lagoa. Observando a Figura 2.2, nota-se que os valores estão bem próximos entre si. Correlacionando estes dados, obtém-se $r = 0,93$ (Laranjal e margem oeste), $r = 0,91$ (Laranjal e centro) e $r = 0,93$ (Laranjal e margem leste), o que confirma a observação inicial que indicava uma forte correlação eles, ou seja, existe evidência suficiente a um nível de 1% de significância para se afirmar que a correlação é significativa. De acordo com os resultados aqui obtidos, conclui-se, que a utilização dos dados da estação do Laranjal é adequada para representar a região da lagoa próxima aos poços do sul, uma vez que os dados do Laranjal (margem oeste) apresenta boa correlação com os dados simulados na margem leste.

Avaliando os níveis simulados para a lagoa, em ambas as margens e na região central da parte sul da lagoa, observa-se que estes apresentam entre si correlações acima de 0,90, o que indica pouca variação no nível de uma margem à outra da Lagoa dos Patos nesta região. Tais resultados justificam a boa correlação dos dados de nível do Laranjal com os dados simulados na margem leste, uma vez que o nível de uma margem da lagoa reflete o nível da outra, não havendo quase variação entre as duas margens.

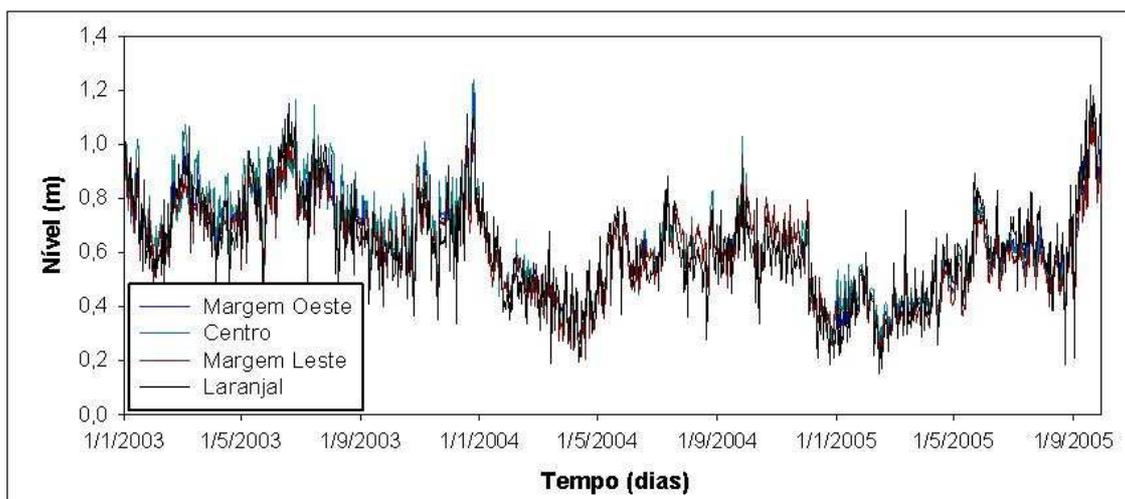


Figura 2.2 - Nível da estação do Laranjal, fornecido pela Agência Nacional de Águas e níveis simulados para a margem oeste, para o centro e para a margem leste da Lagoa dos Patos, na célula sul da lagoa próxima aos poços 7, 8 e 9.

Conhecido então o comportamento do nível da Lagoa dos Patos neste local, e sendo o nível da estação do Laranjal representativo da célula sul da lagoa, surge a dúvida sobre a estação de São Lourenço representar também o nível nesta célula e, em caso afirmativo, quais das duas estações representariam melhor o nível da lagoa no sul. Para tal, comparou-se os dados da estação de São Lourenço com os dados simulados a oeste, no centro e a leste na Célula Sul (mesma metodologia adotada com os dados de nível do Laranjal). Porém a correlação aqui encontrada foi inferior ($r \approx 0,80$) à obtida utilizando os dados de nível do Laranjal. Portanto, entre as duas, a estação do Laranjal corresponde à que melhor representa o nível da região da lagoa próxima aos poços 7, 8 e 9 (célula sul).

Plotou-se, também, os níveis da estação de Arambaré e os níveis simulados para a região da lagoa mais próxima aos poços 4, 5 e 6, na margem oeste, no centro e na margem leste da lagoa. Observando tal gráfico nota-se que os valores estão bem próximos entre si. Correlacionando-se estes dados, obtém-se $r = 0,96$ (margem oeste), $r = 0,97$ (centro) e $r = 0,97$ (margem leste), o que confirma a observação inicial de que os valores estão bem próximos (ainda melhores que os de Laranjal para os poços 7, 8 e 9), podendo então serem utilizados os dados da estação de Arambaré para representarem a região da lagoa próxima aos poços 4, 5 e 6. A alta correlação aqui encontrada ocorre devido a ausência de afluentes na região central, sendo as águas dessa região, em sua maioria, provindas do Guaíba e seus afluentes (Hirata, 2006), ou seja, provindas da célula norte. Da mesma forma que na parte sul, o nível na parte

central também quase não variou de uma margem à outra da lagoa, ficando a correlação entre eles acima de 0,96.

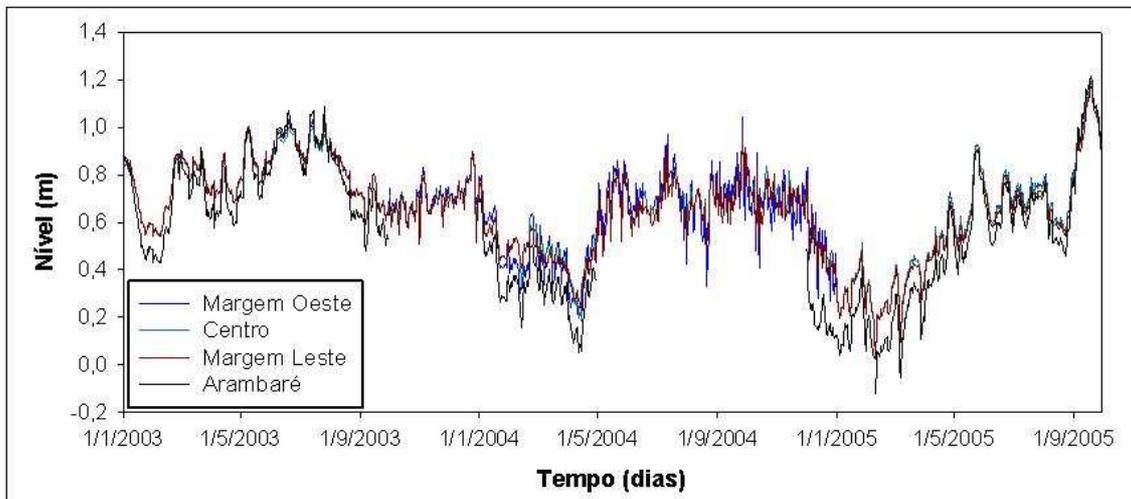


Figura 2.3 - Nível da estação Arambaré fornecido pela Agência Nacional de Águas e níveis simulados para a margem oeste, para o centro e para a margem leste da Lagoa dos Patos na região central da lagoa próxima aos poços 4, 5 e 6.

Comparou-se também dados da estação de São Lourenço com os dados simulados para a região dos poços 4, 5 e 6, obtendo-se uma correlação inferior à obtida utilizando-se os níveis de Arambaré. Descarta-se aqui, portanto, a utilização dos dados de níveis da estação de São Lourenço como representativa da região de qualquer região dos poços.

O fato de quase não haver variação no nível de uma margem à outra da lagoa nas regiões dos poços no sul e no centro, justificam o fato de estações localizadas na margem oeste representarem de forma satisfatória os níveis da margem leste.

Pela disposição geográfica dos rios afluentes da Lagoa dos Patos, sabe-se que existe uma maior influencia do rio Guaíba nas águas da lagoa próximas aos poços localizados ao norte. Devido à falta de afluentes significativos na região da lagoa entre o Guaíba e o Camaquã, os poços da região central não recebem influencia direta de nenhum afluente. Já os poços da região sul, recebem influencia do rio Camaquã, localizado na região superior aos poços e aqui surge a dúvida (lacuna) se as águas do Canal de São Gonçalo influenciam ou não esta região.

Visando compreender como se refletem as oscilações geradas pelo nível do canal São Gonçalo na Estação do Laranjal (localizada na Lagoa dos Patos, margem oeste- Figura 2.4), utilizou-se dados de níveis do canal São Gonçalo (montante e jusante da eclusa).

De acordo com Franz (comunicação pessoal – Agência da Lagoa Mirim), a cota de referência dos níveis de São Gonçalo corresponde ao nível médio do mar em Torres-RS (*Datum* de Torres), porém não se têm disponíveis informações a respeito da cota de referência utilizada para obtenção dos dados de níveis da Estação do Laranjal, por isso, pretende-se encontrar uma relação entre estes dados.

Buscando encontrar tal relação, recorreu-se a dados de nível a montante e a jusante da eclusa, fornecidos pela Agência da Lagoa Mirim e a dados de nível da Estação do Laranjal, fornecidos pela Agência Nacional de Águas.



Figura 2.4 - Localização da Eclusa do canal de São Gonçalo e da estação de Laranjal obtida a partir do aplicativo Google Earth na versão de testes 4.0.2416.

A Figura 2.5 mostra os dados de nível ao longo de 20 anos, no período entre setembro de 1984 e março de 2006. Plotou-se os dados de nível ao longo do tempo. Avaliando tais dados observa-se que possivelmente possuem a mesma referência ou referências extremamente próximas, uma vez que houve pequena variação entre eles.

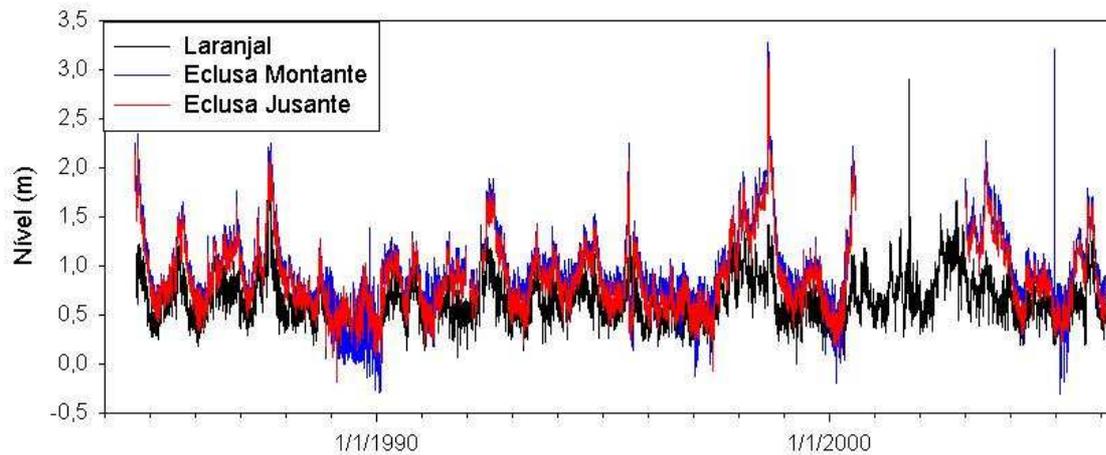


Figura 2.5 - Nível da estação de Laranjal e níveis a montante e a jusante da Eclusa de Santa Bárbara ao longo do tempo.

Correlacionando os dados de nível (Figura 2.6), observa-se que existe uma melhor correlação entre os dados da Estação do Laranjal com os da Eclusa a jusante do que com os da montante, uma vez que as águas a jusante representam até certo ponto a própria água da Lagoa dos Patos. Já os dados da eclusa entre si (montante e jusante), apesar de apresentarem uma boa correlação, observa-se que, para níveis mais baixos (abaixo de 1,0m), a correlação se torna mais suave, indicando assim, a influencia direta da eclusa sobre estes níveis, uma vez que, é justamente nos períodos em que os níveis estão baixos, que ocorre o fechamento da eclusa para evitar a salinização destas águas.

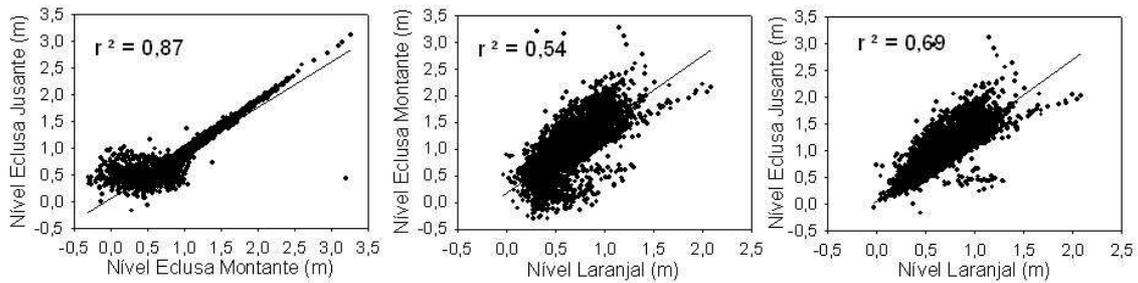


Figura 2.6 - Correlações das Eclusas (montante e jusante) e das Eclusas com a estação de Laranjal.

Para uma melhor compreensão dos dados de níveis, estes foram separados em períodos baseados no fenômeno ENOS (El Niño/La Niña) ocorrentes nestes 20 anos de dados coletados. Analisando os dados separadamente, observou-se que o principal fator responsável pela diminuição da correlação entre os níveis a montante e a jusante da eclusa corresponde ao fechamento de eclusa, uma vez que somente diante de níveis mais baixos a correlação diminui e diante de níveis mais altos, inclusive em período de El Niño de forte intensidade (METSUL,2006), obteve-se correlações extremamente altas ($r^2= 0,99$) entre os níveis a montante e a jusante, indicando assim, que a eclusa, quando aberta, praticamente não interfere no nível do canal São Gonçalo. Quando a correlação entre montante e jusante diminui, a correlação entre jusante e Laranjal aumenta, o que se justifica uma vez que, uma baixa correlação entre jusante e montante indica que possivelmente houve o fechamento da eclusa, e desta forma, provavelmente o escoamento está ocorrendo no sentido da Lagoa dos Patos para Lagoa Mirim. A Lagoa dos Patos, portanto, passa a ser a principal controladora do nível neste período em que as comportas encontram-se fechadas, e aliado a isso, ainda se têm estas comportas funcionando como uma barreira da transferência da energia dessa água e contribuindo para uma melhor correlação entre estes dados.

Observou-se também que os anos de La Niña foram os responsáveis pelas maiores anomalias ocorrentes nas correlações entre todos os níveis em estudo, ou seja, tanto entre montante e jusante como em relação à Estação do Laranjal. Uma vez que, foram nestes períodos que os níveis atingiram seus menores valores.

Tendo em vista que se têm disponíveis dados de níveis da Estação do Laranjal e estes níveis respondem à variações dos níveis no canal São Gonçalo de forma representativa, constatou-se que o nível nesta estação comporta-se como o produto final de todos os processos da Lagoa Mirim.

2.7 CONCLUSÃO

Como a ANA não possui estação fluviométrica na célula norte da Lagoa dos Patos, não foi possível a obtenção de dados de nível representativos dessa região. Porém, as estações de Arambaré e Laranjal apresentaram resultados satisfatórios com os simulados pelo programa Delft 3D, uma vez que, estando estas localizadas na margem oeste da lagoa, representaram o nível simulado da lagoa na margem leste, próximos as células central e sul (justamente a área enfocada neste estudo), permitindo, desta forma, a utilização destes dados de fácil acesso (disponíveis na página web da ANA), não havendo então a necessidade de se recorrer a simulação de dados de nível para estas duas regiões.

A constatação da influência do canal São Gonçalo no nível da célula sul da lagoa, acrescentou esta fonte nas discussões dos resultados do terceiro capítulo, uma vez que a estação a partir da qual são obtidos os dados de nível (Laranjal) localiza-se numa região ao norte deste canal e sua influência sobre tais águas era desconhecida.

3. A LAGOA DOS PATOS COMO RECARGA DE UM AQUÍFERO FREÁTICO COSTEIRO

3.1 INTRODUÇÃO

O extenso litoral do Rio Grande do Sul (RS), nos seus 620 km, estende-se desde Torres, extremo norte do estado, ao Chuí, extremo sul do país. Caracterizado por ser uma linha de costa retilínea, o litoral apresenta orientação predominantemente nordeste-sudoeste (Vieira, 1983).

Com exceção de Torres, onde as formações rochosas constituídas de arenito, basaltos e seqüências vulcano-clásticas (Villwock e Tomazelli, 1995), conferem um pequeno grau de proteção à dinâmica costeira, as praias ao longo da costa do RS são totalmente expostas. Predominantemente são constituídas de areia fina quartzosa (Martins, 1967), apresentando baixa declividade com poucos e inexpressivos cúspides praias (Pereira, 2005).

Embora não seja tão evidente quanto a descarga superficial, os fluxos de elementos para os oceanos também ocorrem através das águas subterrâneas (Moore, 1999). Muitas vezes, o transporte de material do continente para o oceano pode ser mais influenciado pela descarga dos aquíferos costeiros do que pelo transporte pelos rios (D'elia; Webb & Porter, 1981). Esse transporte é um fenômeno freqüente especialmente quando um aquífero conecta-se com as águas superficiais através de sedimentos permeáveis (Burnett et al., 2003), como é o caso da planície costeira do sul do Brasil. A porção sul da costa brasileira é dominada por lagoas costeiras separadas do oceano por uma pequena barreira arenosa que funciona como um obstáculo ao fluxo superficial de água doce. Windom & Niencheski (2003) sugeriram que uma quantidade significativa dessa água, se dirige ao mar por via subterrânea formando verdadeiros estuários subterrâneos, com processos de mistura entre a água doce e marinha em sub-superfície. Foi demonstrado por estes autores, que os fluxos subterrâneos podem alterar a composição química das águas da plataforma continental adjacente. Também foram inferidos alguns processos típicos de estuários subterrâneos: os produtos da remineralização da matéria orgânica lagunar são transportados através da água subterrânea

para os oceanos; o silicato é mobilizado pela dissolução de minerais; o fosfato, urânio e molibdênio são mobilizados das camadas ricas em fosfatos; minerais de enxofre removem o urânio da solução; e, o bário é removido na zona de mistura.

O fluxo de recarga de água doce através dos aquíferos costeiros permeáveis juntamente com a recarga dessa água doce misturada à água costeira recirculada através de sedimentos permeáveis para posterior descarga no mar, é conhecido por “submarine groundwater discharge” – SGD, definido por Burnett et al. (2003) como qualquer e todo fluxo de água da margem continental para o mar na costa oceânica, indiferente da composição do fluido ou da força motriz.

Os resultados, obtidos por Windom & Niencheski (2003), demonstraram que a descarga de água doce para o oceano através dos sedimentos permeáveis pode ter uma composição significativamente diferente da composição da descarga ocorrida na superfície. Essas conclusões evidenciam a complexidade dos fenômenos ocorridos em um local com as características descritas e a necessidade de estudos nestas regiões.

Até o presente momento as informações sobre os fenômenos químicos durante essas etapas de transporte e mistura são escassas. Porém, é crescente a quantidade de pesquisas baseadas na importância do SGD na química da costa oceânica. Além disso, os processos envolvidos neste transporte são importantes, inclusive na química global do oceano (Windom et al., 2006).

Para compreensão do transporte de água em sub-superfície, é de extrema importância o conhecimento da permeabilidade do sedimento por onde a água percola, assim como a presença de camadas impermeáveis existentes no subsolo deve ser averiguada. Tomazelli et al. (1997) abordam a existência de turfas na costa do Rio Grande do Sul, onde os afloramentos são encontrados.

Pereira (2005) observou no Farol da Conceição e proximidades de Cidreira a existência de turfas e sua influência sobre a permeabilidade. Em ambos os pontos, a região do pós-praia apresentava-se mais saturada do que as demais regiões. O autor justifica tal fato pela presença da turfas abaixo do sedimento praial, causando impermeabilização do solo. Os resultados encontrados por ele indicaram uma menor permeabilidade na região do pós-praia onde o lençol aflora na superfície e maior na região da berma, que não apresenta influência de turfa.

Bagnold (1940) estudou a influência de camadas impermeáveis sobre o processo de infiltração. Mediante a utilização de modelos reduzidos, o referido autor demonstrou que a existência de uma camada impermeável sobre uma praia diminui o processo de infiltração

durante o espraçamento da onda sobre a face da praia. A situação descrita aumenta a força do refluxo, favorecendo o processo de erosão.

Tanto ao sul quanto ao norte da Lagoa dos Patos ocorre uma transição de sedimentos mais finos para sedimentos mais grossos. Essa característica descrita por Siegle (1996) e Figueiredo (2005) também é observada por Pereira (2005), onde os pontos estudados ao sul da desembocadura, e nas proximidades do Farol do Estreito, ao norte da desembocadura (região em estudo), apresentam maior permeabilidade que os pontos mais próximos à desembocadura da Lagoa dos Patos.

A marcada transição entre valores menores de permeabilidade na praia do Mar Grosso e valores maiores no Farol do Estreito é um reflexo não só da contribuição de sedimentos finos da Lagoa dos Patos para as praias adjacentes mas também um reflexo dos sedimentos relíquias encontrados nessa região (Siegle, 1996).

A região em estudo compreende as proximidades de três praias do litoral central do Rio Grande do Sul, sendo elas, o Farol do Estreito, Lagamarzinho e o Farol da Solidão. Os processos subterrâneos, que ocorrem na região de restinga que abrange tais praias, correspondem ao processo investigativo em questão, que compreende poços localizados no sul (poços sul), numa região intermediária (poços centro) e no norte (poços norte) - Figura 3.1.

As características dos sedimentos correspondem a um fator determinante para as condições de fluxos no lençol freático. Neste sentido, informações a respeito da morfodinâmica e da permeabilidade dos sedimentos mostram-se extremamente importantes para a compreensão dos processos subterrâneos ocorrentes.

As principais informações a respeito da morfodinâmica e da permeabilidade das praias que abragem a região em estudo, bem como as principais características das unidades geomorfológicas do solo da região de cada poço, são detalhadas abaixo.

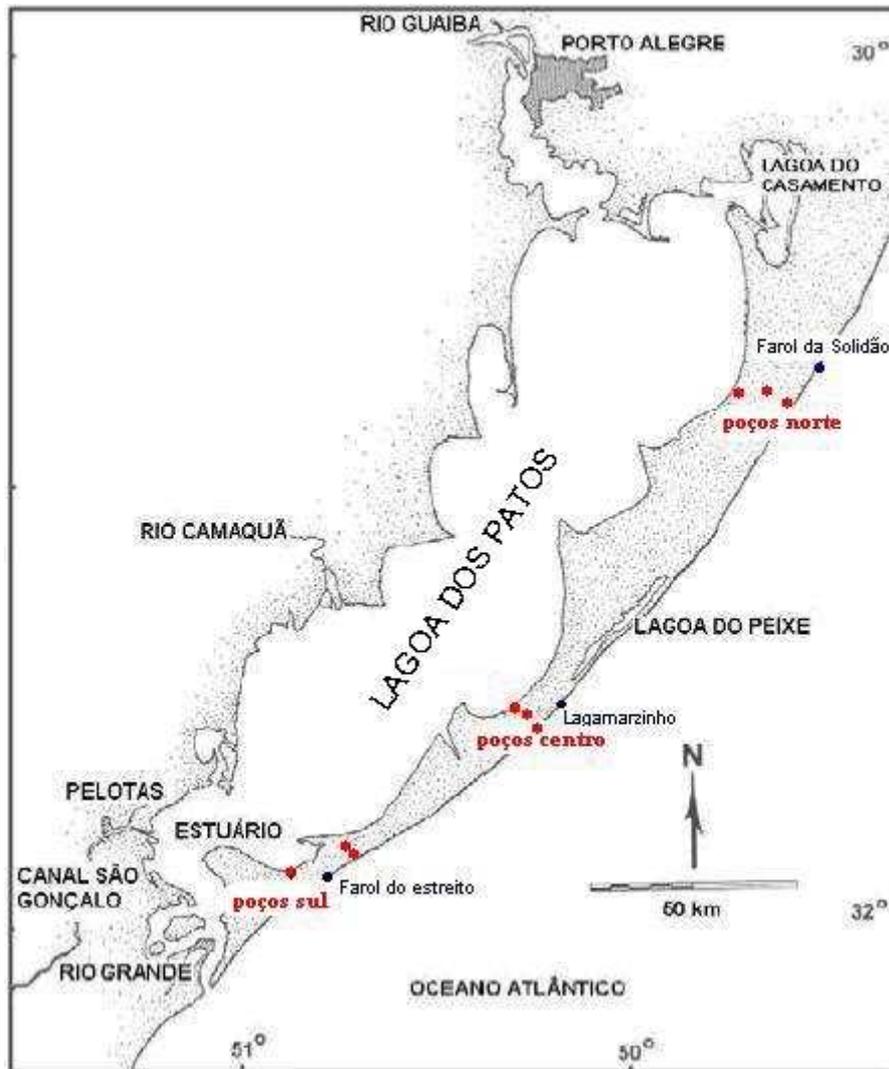


Figura 3.1 - Mapa com as localizações das regiões dos poços em estudo e das praias próximas a eles (Farol do Estreito, Lagamarzinho e do Farol da Solidão).

3.1.1 Morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul

Uma das definições do termo morfodinâmica de praias é o “ajustamento mútuo da topografia e da dinâmica dos fluidos, envolvendo o transporte de sedimentos” (Wright e Thom, 1977, apud Short, 1999). Wright e Short (1984) definem não só como um termo, mas como a ciência que busca a compreensão das respostas morfológicas das praias frente às variações hidrodinâmicas. Tal resposta está intimamente ligada ao comportamento do lençol freático, uma vez que um nível elevado do lençol freático acelera a erosão da praia, e

contrariamente, um nível baixo pode resultar em uma pronunciada acresção da face da praia. Ondas altas, acompanhadas de excessiva turbulência, também geram fatores dinâmicos para uma rápida erosão, bem como o grau de umidade da praia que contribui de maneira importante para a erosão e a acresção (Grant, 1948).

As praias do litoral central do Rio Grande do Sul apresentam características morfológicas distintas entre si, apesar de todas fazerem parte da mesma barreira arenosa e responderem ao padrão bisazonal de energia de onda (Barletta, 2000). Segundo este autor, em termos de mobilidade de sedimentos na porção subaérea, as três regiões praias obedecem à variação de energia sazonal das ondas, ou seja, há predominância de perfil de acresção no verão e um perfil de erosão no inverno, caracterizando uma bisazonalidade. No decorrer do outono começa o ciclo de erosão, chegando ao máximo no inverno. Na primavera começa o ciclo acrescional, chegando ao máximo no verão.

Os extremos praias, dissipativo e reflectivo, usados para descrever a zona de arrebentação de praias com alta e baixa energia, foram inicialmente definidos por Guza & Inman (1975). Wright et al. (1982) que usaram o parâmetro adimensional Ômega (Ω) de Dean (1973), combinando características de ondas e dos sedimentos, para propor uma classificação praias, onde $\Omega = H_b/T.W_s$, sendo H_b , T e W_s a altura da arrebentação, período das ondas e velocidade de sedimentação das partículas, respectivamente. Os valores teóricos de Ômega encontrados por esses autores definem os estágios morfodinâmicos de forma que valores de Ω acima de 6 são esperados para o extremo dissipativo e valores de Ω menores que 1 são típicos para extremo reflectivo. As praias intermediárias apresentam valores de Ω entre 6 e 1. De acordo com Wright et al. (1979), Short (1979) e Wright e Short (1984) o extremo dissipativo representa a máxima dissipação das ondas em um sistema praias, favorecida por granulometria finas (areia fina a muito-fina), pendentes suaves e incidência de ondas relativamente altas que arrebentam gradualmente, de forma deslizante, espalhando-se sobre uma ampla faixa do perfil. No extremo oposto, o reflectivo, predominam processos oriundos da reflexão das ondas incidentes, que apenas ascendem e descendem sobre a face praias num forte movimento de fluxo-refluxo. Este estágio é favorecido por baixas alturas de onda, granulometria grosseiras (areia grossa ou cascalho) e pendentes abruptas. Os estágios intermediários encontram-se entre os extremos dissipativo e reflectivo.

Barletta e Calliari (1996) e Barletta (1997; 2000) caracterizaram o litoral central do Rio Grande do Sul, compreendido desde a raiz do molhe leste, em São José do Norte, até o Farol da Solidão, 228 quilômetros ao norte, como sendo praias em estágios intermediários.

Os dados granulométricos na região do pós praia e na região da berma para os ensaios de permeabilidade, obtidos por Pereira (2005) para as três regiões em estudo, corresponderam a mesma classificação obtida por Barletta 1997 (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Características granulométricas e permeabilidade nas regiões da berma e do pós-praia no litoral central do RS.

Local	Média (phi)	Classificação	Desvio Padrão	Classificação	Região	K (cm/s)
<i>Farol do Estreito</i>	2,12	Areia Fina	0,28	Muito bem Selecionado	Berma	0,004045
<i>Lagamarzinho</i>	2,18	Areia Fina	0,28	Muito bem Selecionado	Berma	0,002044
<i>Farol da Solidão</i>	2,16	Areia Fina	0,30	Muito bem Selecionado	Berma	0,003837
<i>Farol do Estreito</i>	2,18	Areia Fina	0,30	Muito bem Selecionado	Pós-praia	0,003880
<i>Lagamarzinho</i>	2,54	Areia Fina	0,26	Muito bem Selecionado	Pós-praia	0,002028
<i>Farol da Solidão</i>	2,41	Areia Fina	0,26	Muito bem Selecionado	Pós-praia	0,002234

Portanto, em termos de granulometria, as três regiões apresentaram-se semelhantes, ou seja, quanto ao tamanho e ao grau de seleção dos grãos, a classificação foi a mesma nos três locais.

3.1.2 Permeabilidade das praias da região central do Rio Grande do Sul

No fluxo de água em superfície, a velocidade é diretamente proporcional à inclinação da superfície. Este grau de inclinação, denominado gradiente hidráulico é definido pela razão entre o desnível e a distância horizontal entre dois pontos. O desnível indica a diferença de potencial entre os pontos. Quanto maior a diferença de potencial, dada uma distância lateral constante, maior será a velocidade de fluxo. Para fluxo da água subterrânea, necessita-se considerar, além da inclinação do nível da água, a permeabilidade do subsolo (Karmann, 2000).

Solos em geral apresentam poros conectados entre si além de apresentar caminhos preferenciais pelos quais fluídos podem circular. A facilidade com que um fluído escoar através de uma matriz sedimentar porosa constitui uma importante propriedade conhecida como permeabilidade, a qual é quantificada pelo coeficiente de permeabilidade (K).

Também chamada de condutividade hidráulica (Cabral *et al.*, 2000), o coeficiente de permeabilidade é o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy que determina o movimento de fluidos num meio poroso. No solo, expressa a facilidade com a qual a água é transmitida no perfil (Guerra, 2000). A condutividade hidráulica considera as características do fluído e do meio, incluindo porosidade, tamanho, forma, arranjo e distribuição das partículas, além das características do fluido de escoamento, como viscosidade e massa específica. Fluídos mais viscosos terão no meio poroso, velocidade de escoamento diferente da água, a qual tem baixa viscosidade (Cabral *et al.*, 2000).

McLachlan (1990) verificou que grandes volumes de água são filtrados pelas praias arenosas. Ainda segundo este autor, praias com baixa declividade e pequeno tamanho de grão (dissipativas) apresentam baixa capacidade de infiltração e um alto tempo de residência, enquanto que praias com alta declividade e grande tamanho de grão (reflectivas) apresentam alta taxa de infiltração, porém um pequeno tempo de residência, sendo o volume filtrado em função da amplitude da maré e, sobretudo, da altura das ondas.

Flutuações na altura do lençol freático desempenham um importante papel na estabilidade da linha de costa, troca de solutos na sub-superfície de estuários, distribuição e dinâmica da vegetação costeira, além da taxa de introdução de contaminantes na zona costeira como, por exemplo, derrames de óleo (Werner e Lockington, 2003).

A infiltração do espriamento e conseqüente transporte de sedimentos em direção à costa, na zona de espriamento, pode ser promovida através do rebaixamento artificial do

lençol freático (Chappell et al., 1979; Masselink e Li, 2001). Engenheiros costeiros têm aplicado esse método, conhecido como drenagem praial, em praias sujeitas a processos erosionais com o objetivo de promover o aumento da infiltração do espraçamento e conseqüente acreção de sedimentos na praia (Turner e Leatherman, 1997).

Segundo Nielsen et al. (2001) não existem dúvidas sobre o efeito da infiltração e expulsão da água na estabilidade dos sedimentos e taxas de erosão e acreção praial. No entanto, esses autores afirmam que, através das evidências disponíveis, o método de drenagem praial ainda carece de conclusões mais efetivas. De acordo com esses autores, estudos de campo que visam comprovar a eficiência da técnica de drenagem são complicados pela variabilidade natural da morfologia praial sendo as evidências de experimentos realizados em laboratório bastante complexas.

A variabilidade da condutividade hidráulica ao longo da praia pode ser determinada através da realização de ensaios ou através de uma das fórmulas empíricas que relacionam a condutividade hidráulica com algumas das características representativas do tamanho dos sedimentos (Baird e Horn, 1996)

Experimentalmente, Darcy em 1856, verificou como diversos fatores geométricos influenciam a vazão da água, formulando a chamada Lei de Darcy (base da hidrologia de meios porosos), expressando a equação que ficou conhecida pelo seu nome: $Q = K \cdot (h/L) \cdot A$, onde Q é a vazão, fluxo transmitido por unidade de tempo (área x velocidade); K é uma constante para cada solo (coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica); h/L o gradiente hidráulico.

O fluxo de água, calculado pela relação entre vazão e área (Q/A) indica a velocidade de percolação da água no solo, v , foi definido como a vazão específica do material (Karmann, 2000). Substituindo na equação anterior, v pode ser representado da seguinte forma: $v = k \cdot (h/L)$. Desta forma a permeabilidade, através da Lei de Darcy pode ser expressa apenas em função da vazão específica e do gradiente hidráulico.

A vazão específica é um conceito macroscópico que considera o material todo, não se referindo às velocidades reais dos trajetos microscópicos entre os espaços da porosidade. A vazão específica, com unidades de velocidade (distância/tempo), deve ser entendida como uma velocidade macroscópica, ou média, ao longo do trajeto entre um ponto de entrada e outro de saída da água (Karmann, 2000).

Em mecânica dos solos, o valor de K é comumente expresso como um produto de um número por uma potência negativa de 10. Como exemplo $K = 1.3 \times 10^{-8}$ cm/s, valor

característico de solos considerados impermeáveis ou de baixíssima permeabilidade (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Valores Típicos do Coeficiente de Permeabilidade (Vargas, 1977).

Tipo de Sedimento	K (cm/s)	Classificação Quanto a Permeabilidade
Pedregulhos	$> 10^{-1}$	Alta
Areias	10^{-1} a 10^{-3}	Média
Siltes e areias argilosas ou siltosas	10^{-3} a 10^{-5}	Baixa
Argilas siltosas	10^{-5} a 10^{-7}	Muito baixa
Argilas	$< 10^{-7}$	Baixíssima

De acordo com Krumbein e Monk (1942) a permeabilidade em sedimentos arenosos é controlada basicamente pelo tamanho médio dos sedimentos e desvio padrão, o que justifica os resultados mostrados na Tabela 3.1, que mostrou permeabilidades semelhantes, segundo a classificação de Vargas 1977, para os sedimentos das três praias em estudo, ficando os valores de K encontrados entre 2×10^{-3} cm/s e 4×10^{-3} cm/s.

As condutividades hidráulicas encontrados por Pereira (2005), estudando a permeabilidade de praias em toda a costa do RS, apresentaram de uma forma geral, uma estreita relação com os estágios morfodinâmicos. Em praias mais dissipativas, adjacentes a desembocadura da Lagoa dos Patos, foram registrados menores valores. Já as praias intermediárias com tendências reflectivas, no setor dos concheiros, registraram os maiores valores. As demais praias do estado registraram valores intermediários. Em relação à permeabilidade sobre a berma e o pós-praia, na costa do RS, o autor observou que, em geral, houve uma nítida diferenciação entre a berma e o pós-praia, tendo a berma apresentado valores mais elevados. Porém para a região intermediária do RS (região em estudo) o autor observou uma diferença menor entre a permeabilidade destes dois locais, estando estas bem próximas entre si. Comparando a permeabilidade encontrada em condições de tempestade com as condições normais de baixa dinâmica, o autor percebeu menor permeabilidade em condições de tempestade (Figura 3.2).

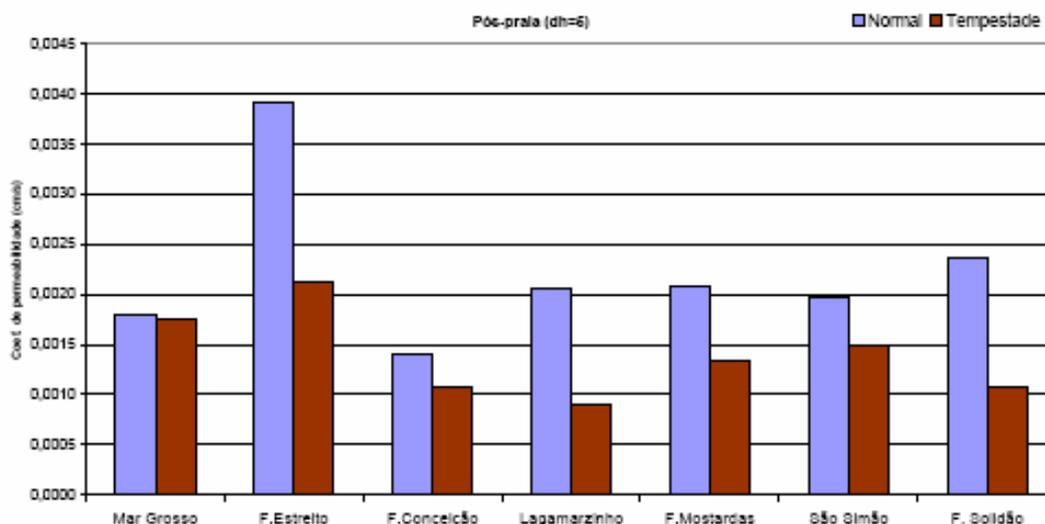


Figura 3.2 - Comparação entre a permeabilidade medida sob condições consideradas normais e condições de tempestade na região do pós-praia. Região em estudo: Farol do Estreito, Lagamarzinho e Farol da Solidão. Fonte: Pereira, 2005.

Estudos realizados por McLachlan (1979) indicam que o processo de filtração da água pela praia é controlado pelo grau de saturação da areia, que por sua vez, é relacionado com a distância acima do lençol freático. Sendo assim os maiores fluxos intersticiais ocorrem acima da praia, nas areias mais secas. O autor complementa dizendo que a quantidade de água filtrada é maior na superfície do que em camadas mais profundas.

McLachlan (1979) concluiu que os depósitos turfáceos, abaixo dos sedimentos praias, causam uma impermeabilização da praia e rápida saturação e que a permeabilidade diminui durante a realização dos ensaios em condições de tempestade.

Um fato importante a ser abordado corresponde à relação entre compactação e permeabilidade.

Vieira et. al. (2004), estudando a permeabilidade versus a compactação dos sedimentos praias, em um setor de praia do RS com intenso tráfego de veículos, ressalta que o coeficiente de permeabilidade é inversamente proporcional ao grau de compactação experimentado pela areia, sendo esta última diretamente proporcional a resistência à penetração.

A variação da permeabilidade ao longo das praias arenosas do Rio Grande do Sul segundo Pereira (2005) mostrou-se um reflexo, dos estágios morfodinâmicos, da herança geológica da planície costeira do estado e da presença de depósitos paludiais (turfas), onde a ocorrência desses favorece uma rápida saturação do solo. Tal autor alerta ainda para a

necessidade de pesquisas que visem obter um melhor entendimento das variações naturais do lençol freático nas praias do Rio Grande do Sul e suas alterações espaço-temporais de acordo com os processos hidrodinâmicos.

A justificativa para utilização dos dados de condutividade hidráulica (calculada em situações acima do lençol freático) obtidos por Pereira 2005 baseia-se no fato de seus estudos terem sido feitos na mesma região do presente trabalho e no fato de tal autor ter comparado seus dados com dados pretéritos de Klein e Calliari (1997) no nível do lençol freático e concluído que o comportamento dos dados corrobora entre si. De acordo com Klein e Calliari (1997), as variações do coeficiente de permeabilidade ao longo da área estão diretamente relacionadas à geologia regional.

3.1.3 Unidades Geomorfológicas do solo da região de cada poço

A restinga litorânea apresenta uma configuração de relevo típica das planícies que circundam as lagoas dos Patos e Mirim. É composta por uma sucessão de níveis sedimentares distintos, com composição granulométrica própria, que pouco varia no sentido longitudinal (Cunha, 1997). As principais utilizações dos solos, na região de cada poço, são descritas pelo autor.

Poço 1: solo utilizado principalmente com pastagens extensivas para pecuária de corte. É também aproveitado para o cultivo de arroz irrigado;

Poços 2 e 5: solo utilizado para o cultivo de cebola e principalmente com pastagem extensiva;

Poços 3, 6 e 9: solo sem utilização agrícola. Vegetação de espécies adaptadas às condições arenosas, com vegetação arbustiva mais desenvolvida e arbórea na área mais afastada do mar (poço 9);

Poço 4: solo, na maior parte, abandonado, encontrando-se em condições naturais, com lotação muito reduzida para pastoreio. O seu aproveitamento para florestamento com eucaliptos e Pinus tem se intensificado nos últimos anos;

Poços 7 e 8: de uma forma geral, o solo é aproveitado como pastagem de baixa densidade vegetal. Nas áreas de maior recobrimento arenoso observa-se cultivo de cebola.

A caracterização do solo da região de cada poço foi baseada no estudo feito por Cunha (1997) e consiste em volumes ocupados por superfícies geomorfológicas que apresentam

caracteres comuns. Em tal estudo, as unidades geomorfológicas nas quais os poços se encontram, podem ser vistas na Tabela 3.3. Um detalhamento de cada unidade geomorfológica pode ser encontrado no trabalho citado a partir das informações fornecidas pela tabela, ou seja, conhecendo-se a unidade geomorfológica e a sigla correspondente. Por exemplo, para o poço 1: unidade geomorfológica = Planície Baixa; sigla = Pb. Sendo, as características importantes para o presente trabalho, descritas quando necessário.

Tabela 3.3 - Unidade geomorfológica de cada poço, de acordo com Cunha (1997).

Poço 1	Solonchak e glei pouco húmico salino. Unidade geomorfológica: Planície Baixa (Pb)
Poço 2	Areias quartsozas hidromórficas + podzólico vermelho-amarelado plúntico distrófico. Unidade geomorfológica: Lombada (Lo)
Poço 3	Areias quartsozas hidromórficas eutróficas. Unidade geomorfológica: Duna Marinha (Dm)
Poço 4	Areias quartsozas hidromórficas distróficas Unidade geomorfológica: Duna Lagunar (Dl)
Poço 5	Areias quartsozas hidromórficas + podzólico vermelho-amarelado plúntico distrófico. Unidade geomorfológica: Lombada (Lo)
Poço 6	Areias quartsozas hidromórficas eutróficas. Unidade geomorfológica: Duna Marinha (Dm)
Poço 7	Planossolo eutrófico e solonetz Unidade geomorfológica: Planície Alta (Pa)
Poço 8	Planossolo eutrófico e solonetz Unidade geomorfológica: Planície Alta (Pa)
Poço 9	Areias quartsozas hidromórficas eutróficas. Unidade geomorfológica: Duna Marinha (Dm)

3.2 OBJETIVOS

O presente capítulo tem como finalidade avaliar a Lagoa dos Patos como fonte de recarga de um aquífero freático costeiro localizado entre a lagoa e o oceano Atlântico e investigar os demais agentes atuantes no processo de recarga deste aquífero, assim como o tempo de residência das águas neste processo.

Este capítulo fornecerá informações imprescindíveis para realização do capítulo posterior.

3.3 JUSTIFICATIVA

Em Machado et al, (2006), utilizou-se dados de condutividade eletrolítica (CE) e de pressão interna do poço9, de 10m de profundidade, nos meses de julho, agosto e setembro de 2005, correlacionando-os com dados de níveis simulados pelo programa DELFT3D, que simulou o nível da lagoa num local próximo ao poço 9 (região sul). Existiam, para o trabalho citado, dados de pressão interna do poço 9 nos meses de julho a dezembro de 2005, porém, estes dados não puderam ser correlacionados com os níveis nos meses de outubro, novembro e dezembro porque só haviam informações disponíveis para simulação dos dados até setembro de 2005. Para solucionar esta lacuna e evitar a necessidade de simulações constantes de dados de nível, utilizou-se dados de nível da Lagoa dos Patos na Estação do Laranjal, fornecidos pela Agência Nacional de Águas. A verificação de que os dados de nível da Estação do Laranjal são representativos do nível da Lagoa dos Patos na margem leste, próxima aos poços do sul é mostrada no capítulo anterior. Machado et al. (2006) concluíram que a utilização dos dados de pressão interna dos poços, em uma série temporal contínua, são eficazes indicadores do transporte de água subterrânea, quando comparados com o nível superficial de sua fonte. Tal fato justifica a utilização dos dados de pressão interna de poços no presente trabalho. Os autores sugeriram ainda, a necessidade de se trabalhar com séries temporais mais longas, para que se possa entender o transporte em diferentes cenários (lagoa cheia, lagoa em época de seca e períodos de transição). Neste trabalho, será utilizada uma série temporal com um ano de dados diários, que, portanto compreenderá as quatro estações do ano e seus diferentes cenários.

3.4 ÁREA DE ESTUDO

Delaney (1965) dividiu geomorfologicamente a Lagoa dos Patos em 3 regiões: a região estuarina, situada entre a desembocadura da lagoa e a Ponta da Feitoria; a região central, formada pela área entre a Ponta da Feitoria e a entrada da Lagoa do Casamento; e a região superior, formada pela Lagoa do Casamento e pela área do rio Guaíba situada próxima à lagoa. A região estuarina e a central são separadas por bancos arenosos (profundidade local inferior a 1 metro), situados nos entornos da Ponta da Feitoria.

De acordo com a divisão acima citada, a área em estudo (Figura 3.3) abrange parte da região central da Lagoa dos Patos e a região de restinga, entre a lagoa e o mar, onde se encontram os poços da Região Sul (poços 7, 8 e 9) e os poços da Região Central (poços 4, 5 e 6).

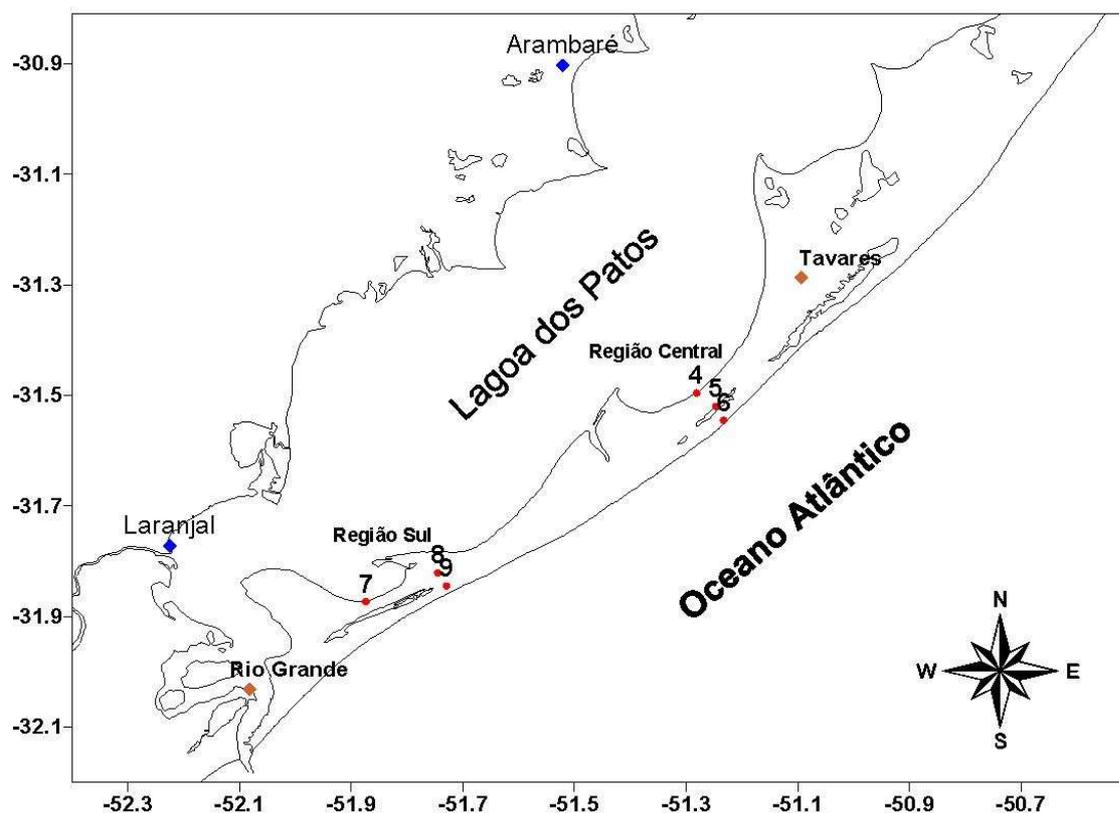


Figura 3.3 - Área de estudo incluindo as duas estações de obtenção de dados de nível (Arambaré e Laranjal) e os poços onde se encontram os sensores de pressão interna (poços 5 e 9).

3.5 METODOLOGIA

A carga hidráulica ou pressão hidrostática interna dos poços, neste trabalho, é utilizada para representar a variação do nível da água dos poços subterrâneos. Consequentemente representa a variação do nível do lençol freático local no aquífero costeiro em questão, uma vez que, uma variação de pressão sofrida no poço é diretamente proporcional a variação do nível deste.

Para obtenção dos dados de pressão hidrostática interna dos poços 5 e 9, foram colocados sensores de pressão hidrostática, que utilizam o software HOBOT Data Loggers, em ambos os poços. A cada hora, dados de pressão (psi) são armazenados pelos sensores, e estes são transformados, a partir de uma média, em dados diários para correlação com os dados nível.

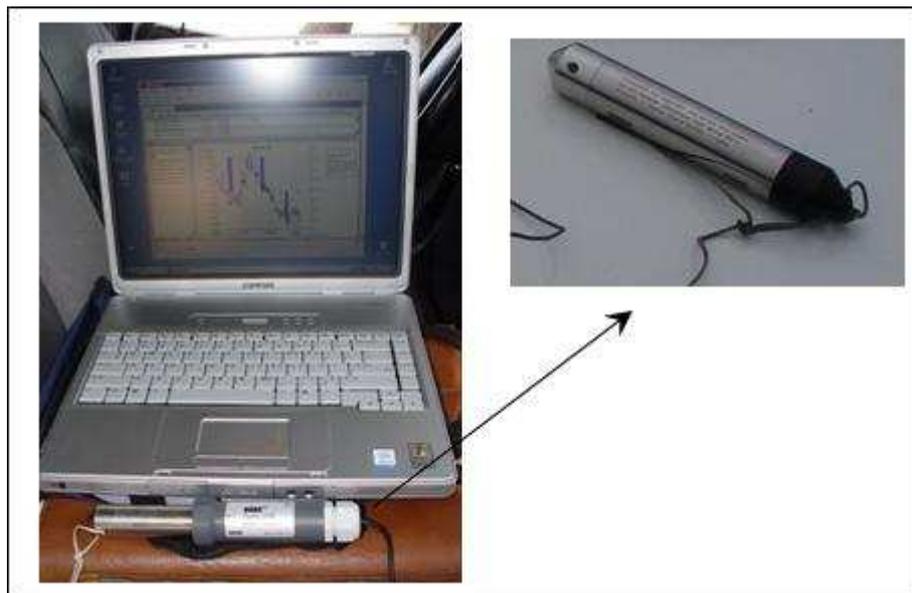


Figura 3.4 - Sensor de pressão (software HOBOT Data Loggers)

Os dados de nível diário da Lagoa dos Patos, nas duas estações em interesse (Arambaré e Laranjal) e dados de precipitação em Tavares foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA). As informações para obtenção dos dados de nível no site da ANA encontram-se no capítulo anterior.

Os dados de precipitação em Rio Grande foram fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos da estação principal da Fundação Universidade de Rio Grande.

A metodologia adotada para comparação dos dados de pressão interna dos poços subterrâneos com os dados de nível da Lagoa dos Patos corresponde à utilização da variação destes dados, de forma a deixá-los adimensionais e variando numa faixa entre 0 e 1.

Para os dados de pressão interna dos poços tem-se:

Variação da pressão interna do poço (ΔP):

$$\Delta P = \frac{P - MÍN_{TOTAL}}{\Delta P_{TOTAL}}, \text{ onde:} \quad \text{(equação 01)}$$

P = pressão interna diária (média diária)

$$\Delta P_{TOTAL} = (MÁX_{total} - MÍN_{total});$$

$MÁX_{TOTAL}$ = máximo valor de pressão (psi) encontrado em todo o intervalo de tempo em estudo;

$MÍN_{TOTAL}$ = mínimo valor de pressão (psi) encontrado em todo o intervalo de tempo em estudo;

Para os dados de nível da lagoa tem-se:

Variação do nível da lagoa (ΔN):

$$\Delta N = \frac{N - MÍN_{TOTAL}}{\Delta N_{TOTAL}}, \text{ onde:} \quad \text{(equação 02)}$$

N = nível diário (medida diária)

$$\Delta N_{TOTAL} = (MÁX_{total} - MÍN_{total});$$

$MÁX_{TOTAL}$ = máximo valor de nível (m) encontrado em todo o intervalo de tempo em estudo;

$MÍN_{TOTAL}$ = mínimo valor de nível (m) encontrado em todo o intervalo de tempo em estudo;

Por exemplo, para os dados de pressão interna do poço 9 em setembro de 2005:

$$MÁX_{TOTAL} = 30,301$$

$$MÍN_{TOTAL} = 28,219$$

$$\Delta P_{TOTAL} = 2,082$$

Uma exemplificação dos valores de ΔP obtidos a partir de dados de P, para setembro de 2005, pode ser visualizada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Valores de ΔP obtidos a partir de dados de P.

data	P (psi)	ΔP
6/7/2005	29,51	0,62
7/7/2005	29,55	0,64
8/7/2005	29,54	0,64
9/7/2005	29,51	0,62
10/7/2005	29,46	0,60
11/7/2005	29,44	0,58
12/7/2005	29,44	0,59
13/7/2005	29,39	0,56
14/7/2005	29,34	0,54
15/7/2005	29,26	0,50
16/7/2005	29,42	0,58
17/7/2005	29,60	0,66
18/7/2005	29,66	0,69
19/7/2005	29,73	0,73
20/7/2005	29,70	0,71
21/7/2005	29,37	0,55
22/7/2005	29,24	0,49
23/7/2005	29,22	0,48
24/7/2005	29,15	0,45
25/7/2005	29,08	0,41
26/7/2005	29,18	0,46
27/7/2005	29,17	0,46
28/7/2005	29,13	0,44
29/7/2005	29,06	0,41
30/7/2005	28,92	0,34
31/7/2005	28,87	0,31

3.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dados de pressão interna do poço 9 e do poço 5 foram utilizados para representar o comportamento do nível do lençol freático da região sul e da região central, respectivamente.

Visando comparar dados da Região Sul, ou seja, dados de variação de nível da lagoa dos Patos na estação do Laranjal com dados de variação da pressão interna do poço 9, plotou-se tais dados obtendo-se o comportamento descrito na Figura 3.5a. A correlação obtida entre estes dados (nível e pressão) foi de 0,57.

O mesmo procedimento foi realizado para os dados de variação do nível da Lagoa dos Patos na estação de Arambaré com dados de variação da pressão interna do poço 5 (Região Central), obtendo-se uma correlação de 0,77 (Figura 3.5b).

Ambos os poços utilizados possuíam 10m de profundidade e atingiram o lençol freático.

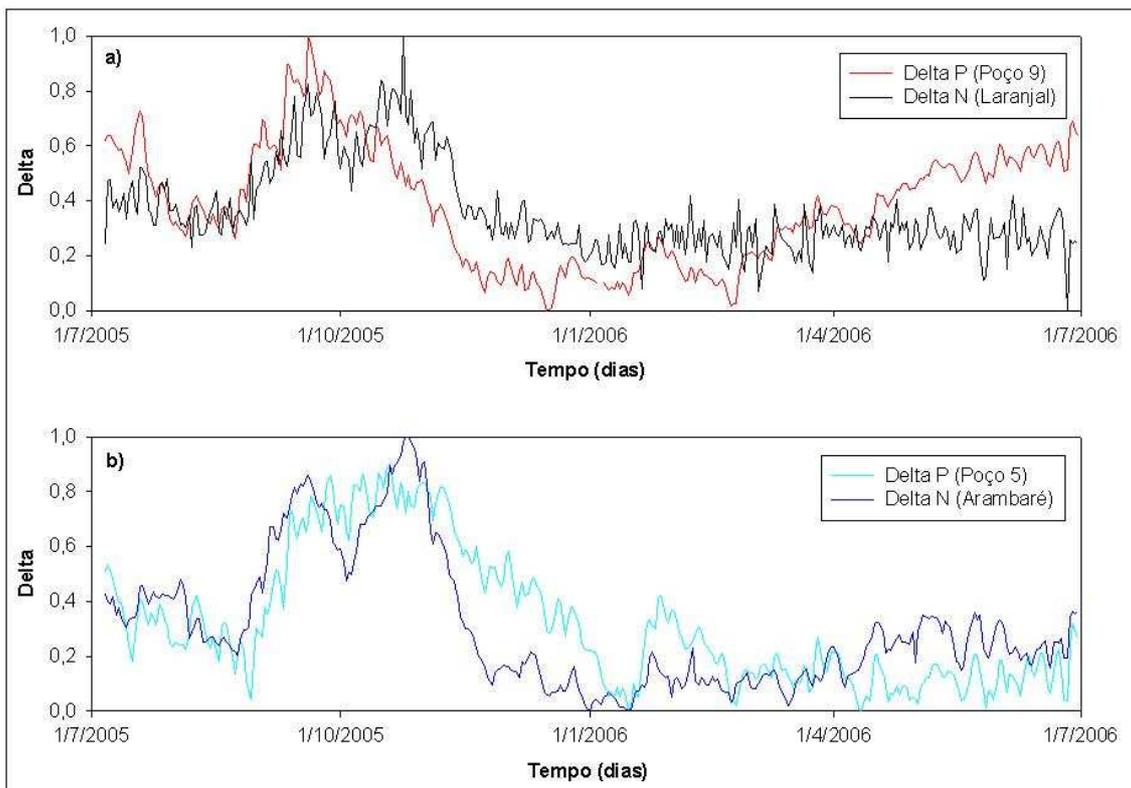


Figura 3.5 - a) Variação temporal da pressão interna do poço 9 e variação do nível da Lagoa dos Patos na Estação do Laranjal. b) Variação temporal da pressão interna do poço 5 e variação do nível da Lagoa dos Patos na Estação de Arambaré.

Além da força gravitacional, o movimento da água subterrânea é guiado pela diferença de pressão ou carga hidráulica entre dois pontos. Esta diferença de pressão é chamada de potencial da água (potencial hidráulico) e promove o movimento da água subterrânea de pontos de alto potencial para zonas de menores potenciais (Karmann, 2000). No caso do aquífero freático em questão, acredita-se que a zona de alto potencial e, portanto a responsável pelo abastecimento do aquífero freático da região em estudo corresponda à Lagoa dos Patos, que direciona suas águas ao mar (zona de baixo potencial hidráulico), por via subterrânea.

Considerando o nível da estação do Laranjal como sendo o representativo da região da lagoa que contribui para a alimentação do poço 9 e o nível da estação de Arambaré como representativo da região da lagoa que contribui para a alimentação da poço 5, surge a dúvida de qual fator seria o responsável por essa diferença de correlação entre os dados, ou seja, qual a razão da correlação entre os dados da Região Sul ser tão inferior à obtida para a Região Central.

De acordo com Karmann (2000), a precipitação é um fator decisivo no volume de recarga da água subterrânea. Portanto, a participação da precipitação no aquífero em estudo deve ser considerada.

Com o intuito de se conhecer as diferenças entre as precipitações das regiões em estudo, dados de precipitação mensal das regiões de Rio Grande e de Tavares foram utilizados para representar as regiões Sul e Central, respectivamente. A diferença entre as precipitações mensais (Rio Grande – Tavares) pode ser visualizada na Figura 3.6. De acordo com tal figura, na maior parte do período em estudo, a precipitação mensal na Região Sul foi superior à da Região Central. Isso pode justificar a maior correlação na região central, entre os dados de pressão interna e os dados de nível da lagoa, uma vez que existe menos influencia da precipitação nesta região.

É importante salientar aqui que, apesar das diferenças das correlações entre os dados destas duas regiões, os valores obtidos mostraram evidências suficientes, considerando um nível de 1% de significância, para se confirmar a relação entre os dados de variação de nível na Lagoa dos Patos e de variação de nível no interior dos poços, mesmo na região sul, onde a correlação foi inferior.

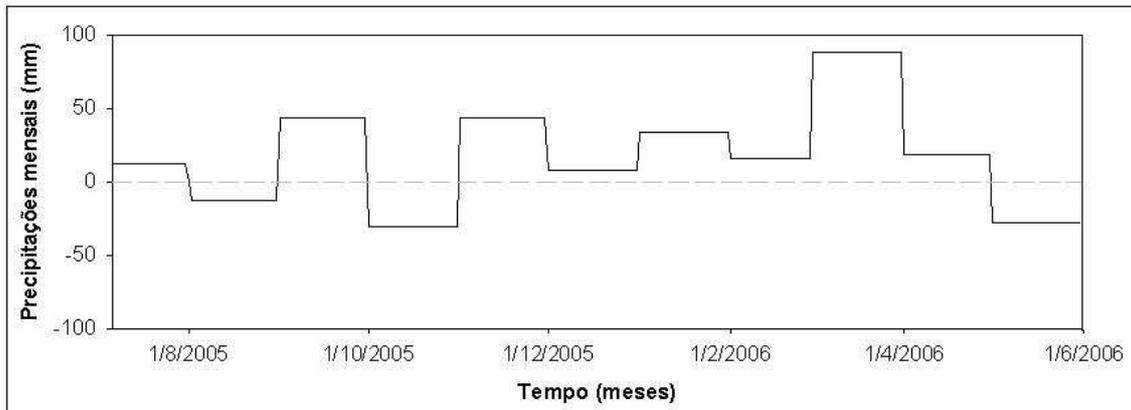


Figura 3.6 - Diferença entre as precipitações mensais nas regiões Sul e Central (Precipitação em Rio Grande - Precipitação em Tavares)

Visando avaliar, se de fato foi a precipitação responsável pela menor correlação entre os dados da região sul, inicialmente compararam-se os dados de nível da lagoa nas duas estações (Laranjal e Arambaré), com o intuito de se compreender o quanto e como variam entre si. São correlacionadas duas séries temporais, uma abrangendo mais de seis anos de dados e outra abrangendo o período em estudo, ou seja, de julho de 2005 a junho de 2006 (Figuras 3.6 e 3.7). As correlações obtidas foram de 0,90 e 0,88 respectivamente.

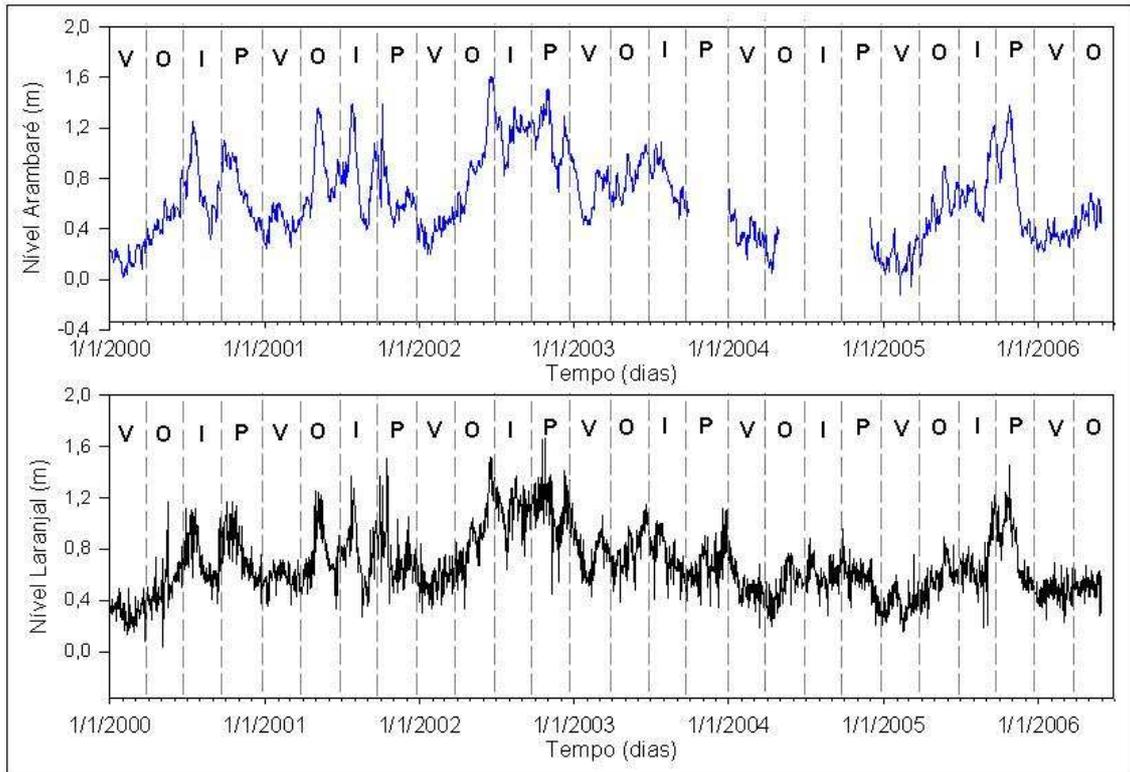


Figura 3.7 - Nível diário da Lagoa dos Patos (m) nas estações de Laranjal e Arambaré entre os anos de 2000 e 2006. Onde: V = verão, O = outono, I = inverno e P = primavera.

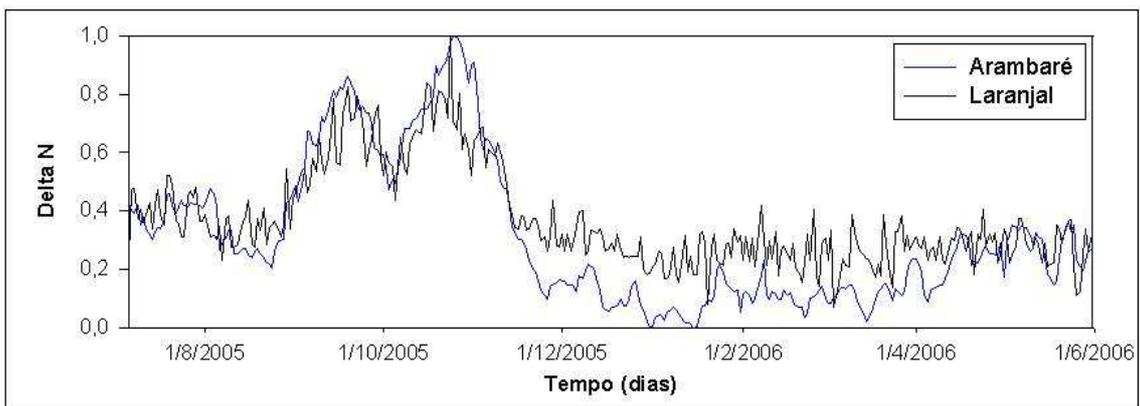


Figura 3.8 - Variação do nível da Lagoa dos Patos nas estações de Arambaré e Laranjal entre julho de 2005 e junho de 2006.

Observa-se que existe uma alta correlação entre os dados de níveis em ambas as regiões da lagoa (Central e Sul), tanto no período em estudo, quanto se considerando um período maior. Os dados mostrados no período de seis anos foram separados de acordo com as estações do ano, no intuito de melhor se observar a semelhança no comportamento entre estes. Apesar da alta correlação aqui obtida, observa-se maiores oscilações entre os dados de nível na Estação do Laranjal (Figura 3.7), tal fato provavelmente se deve à presença de afluentes (Camaquã e canal São Gonçalo) próximos a esta estação, e como consequência, este fato, pode também ter contribuído para a menor correlação entre estes dados e os de pressão interna do poço 9 (Célula Sul) mostrada anteriormente.

Uma vez que existe uma alta correlação entre os dados de nível, é de se esperar que também exista uma elevada correlação entre os dados de pressão interna dos poços, uma vez que acredita-se que a fonte de alimentação principal destes dois poços é a mesma, e que qualquer diferença entre a variação destes níveis se deva à diferenças regionais de precipitação.

Para testar tal hipótese, comparou-se os dados de pressão interna dos poços 5 e 9 (Figura 3.9), porém, não se obteve correlação tão elevada como as obtidas com os dados de nível da lagoa ($r=0,35$).

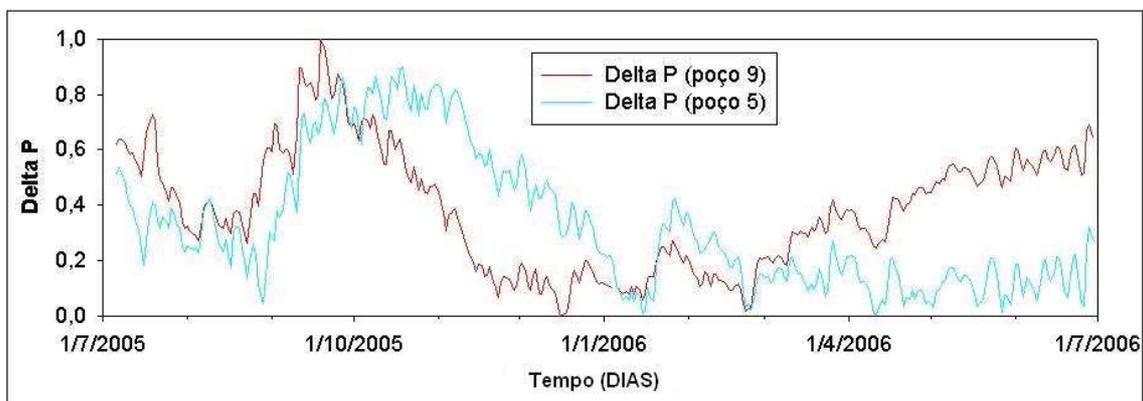


Figura 3.9 - Variações entre as pressões internas nos poços 5 e 9.

Devido à menor correlação obtida entre os dados de pressão, tornou-se necessário analisar estes dados a partir de períodos menores para averiguar se nestes períodos ocorre aumento na correlação e, em caso positivo, qual a razão.

Separou-se os dados da Figura 3.8 em seis períodos baseados na sobreposição (interceptação) dos dados (Figura 3.10).

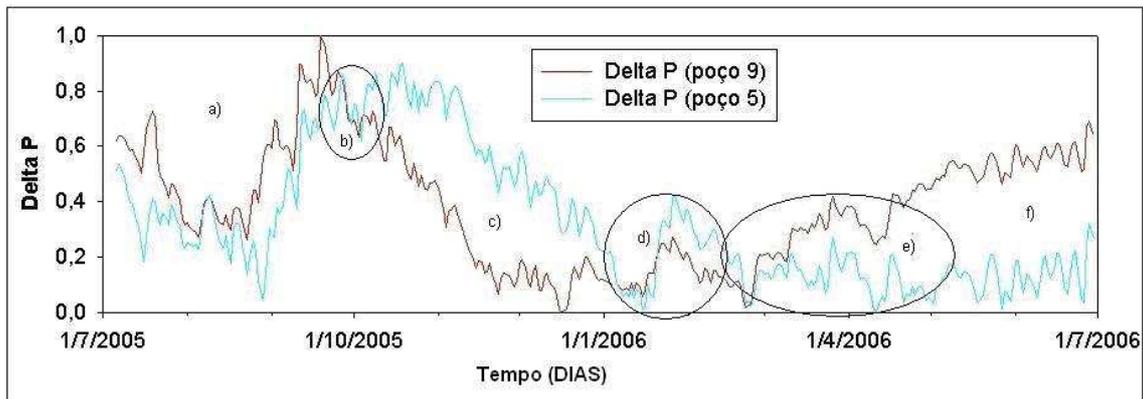


Figura 3.10 - Separação dos períodos dos dados de pressão interna para correlação de Pearson e avaliação com os dados de precipitação local.

Uma vez que se acredita que ambos os poços possuam a mesma fonte de abastecimento, ou seja, a água da Lagoa dos Patos, para uma averiguação inicial, atribui-se à influência da precipitação a baixa correlação encontrada.

Partindo do princípio de mesma fonte para os dois poços, acredita-se que a separação em períodos permitirá que exista uma melhor correlação entre estes dados, uma vez que a variação da pressão interna dos poços deve responder à variação ocorrente no nível da lagoa. Posteriormente será avaliado, o tempo de resposta entre estes dados.

Como já foi dito anteriormente, a pressão hidrostática interna dos poços, é utilizada para representar a variação do nível da água dos poços subterrâneos, uma vez que, uma é a medida indireta da outra. Por esta razão e com o intuito de facilitar a compreensão dos processos subterrâneos em questão, ao se mencionar variação do nível nos poços, tal referência não corresponderá a uma medida direta deste, como é feito para os níveis superficiais da lagoa, e sim, a uma previsão do comportamento deste a partir do comportamento dos dados de pressão hidrostática interna dos poços.

No primeiro período (Figura 3.11a) observa-se claramente a influência da precipitação no nível dos poços. A maior taxa de precipitação em Rio Grande, que representa a precipitação na região do poço 9 (Célula Sul), foi a responsável pelos valores mais elevados de nível neste poço quando comparado ao poço 5. Como a pressão do poço 9 se manteve superior à do poço 5, observa-se a existência de uma boa correlação entre elas. Na Figura 3.11b, a variação da pressão no poço 5 se eleva, ficando ambas aproximadamente iguais, ora uma mais alta, ora outra, o se que refletiu na menor correlação encontrada neste período. Tal

fato se deve às maiores taxas pluviométricas obtidas na região de Tavares, sendo estas, responsáveis por aumentar o nível do poço 5. No terceiro período (Figura 3.11c), observa-se uma continuidade no aumento do nível no poço 5, tornando-o agora superior ao nível do poço 9, e um comportamento semelhante ao da Figura 3.11a passa a ser observado, porém agora, com o poço 5 apresentando nível mais elevado. A correlação entre os dados da Figura 3.11c se mostra ainda melhor que a verificada no primeiro período. A continuidade no aumento do nível se justifica pelas altas taxas de precipitação observadas no início deste período, responsável por um aumento do nível no poço 5, e tal aumento se manteve ao longo de todo período, uma vez que, as taxas de precipitação se mantiveram baixas e semelhantes em ambas as regiões, com exceção da precipitação ocorrida no dia 24/11/2005 na região de Rio Grande, cuja interferência no nível do poço não se verifica.

O modo como o total da precipitação é distribuído ao longo do tempo é um fator decisivo no volume de recarga da água subterrânea, em qualquer tipo de terreno. Chuvas regularmente distribuídas ao longo do tempo promovem uma infiltração maior, pois, desta maneira, a velocidade de infiltração acompanha o volume de precipitação. Ao contrário, chuvas torrenciais (chove bastante num período curto de tempo sobre uma área pequena) favorecem o escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração é inferior ao grande volume de água precipitada em curto intervalo de tempo (Karmann, 2000), o que justifica os resultados aqui obtidos, onde, não se verifica aumento no nível do poço 9 com a chuva torrencial ocorrida no dia 24/11/2005. Tal fato pode ainda ser justificado pela diminuição da permeabilidade do solo em períodos de tempestade, observada por Pereira (2005) nas praias da região em estudo.

Na Figura 3.11d observa-se uma diminuição na variação do nível no poço 5 que se iniciou no período anterior. Observa-se juntamente com tal queda, que entre o final do período anterior e o início deste, não houve precipitação em Tavares. Já para Rio Grande observa-se a existência de precipitação, porém com baixas taxas. Tal fato justifica o aumento do nível no poço 9 em relação ao poço 5, ambos apresentando baixos níveis. Porém, a taxa de precipitação em Tavares aumentou em relação à Rio Grande e novamente observa-se uma elevação do nível em Tavares quando comparado à Rio Grande. Apesar de ocorrer uma alternância entre as elevações dos níveis dos poços 9 e 5, obtém-se aqui boa correlação entre os dados, uma vez que os níveis dos poços estão próximos entre si, devido as baixas taxas de precipitação e ao baixo nível da Lagoa dos Patos (Figura 3.8) neste período (verão).

O comportamento da taxa de precipitação em Rio Grande, que se apresentava inferior à Tavares no início do quarto período e a partir da metade deste período apresentou completa

estiagem, se modifica no período posterior (Figura 3.11e). Tal alteração é perfeitamente verificada no comportamento do nível no poço 9, cujo todo processo de elevação em relação ao nível do poço 5 pode ser constatado. O presente período corresponde a um período de adaptação entre os níveis, ou seja, um período de alta precipitação em Rio Grande que vai permitir que o nível no poço 9 aumente, de tal forma que se torne consideravelmente mais elevado que o nível do poço 5, sendo tal elevação mantida em todo um período posterior (Figura 3.11f), mesmo estando o nível da Lagoa dos Patos baixo. Este aumento do nível do poço não ter relação com o comportamento do nível da lagoa, pode ser claramente observado na Figura 3.4 (período final na figura). Tal constatação se reflete na menor correlação verificada entre estes dados. Já no último período analisado, observa-se que as taxas pluviométricas de ambos os locais assemelham-se, tendo como consequência, manterem a diferença entre seus níveis praticamente constantes. Tal comportamento se reflete na alta correlação entre estes dados.

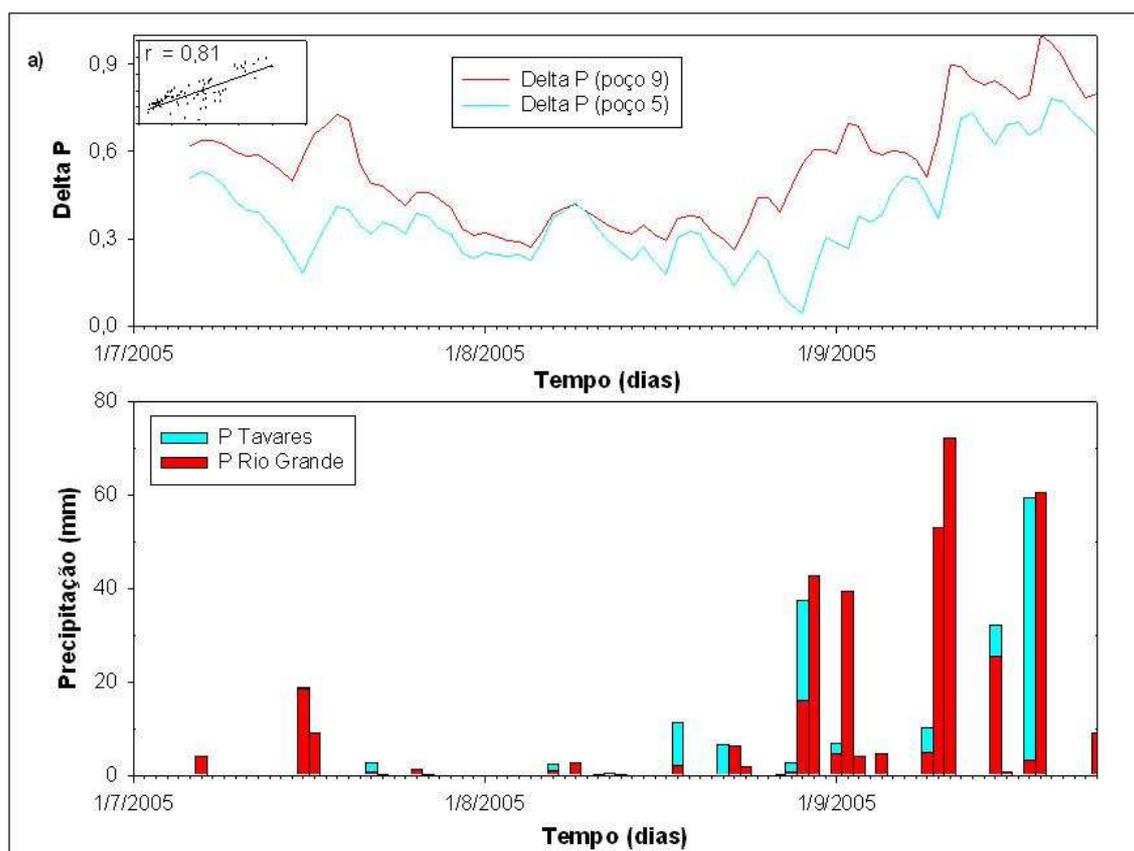


Figura 3.11a - Período de 01/07/2005 a 24/09/2005. *Gráfico superior:* Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. *Gráfico Inferior:* Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande.

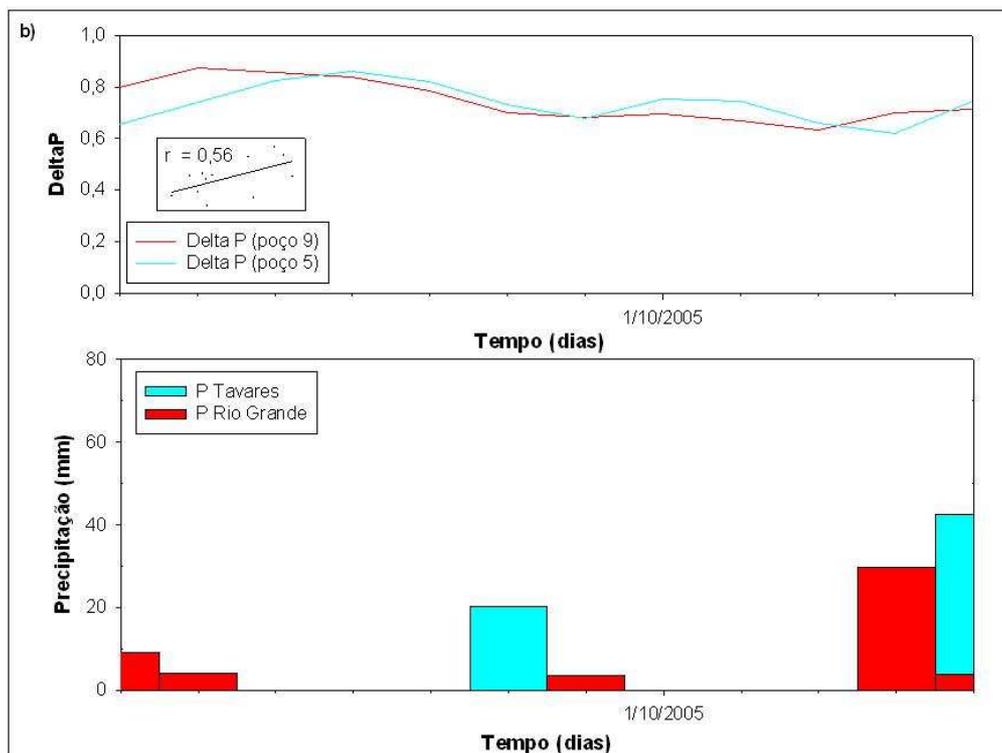


Figura 3.11b - Período de 24/09/2005 a 05/10/2005. - *Gráfico superior*: Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. *Gráfico Inferior*: Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande.

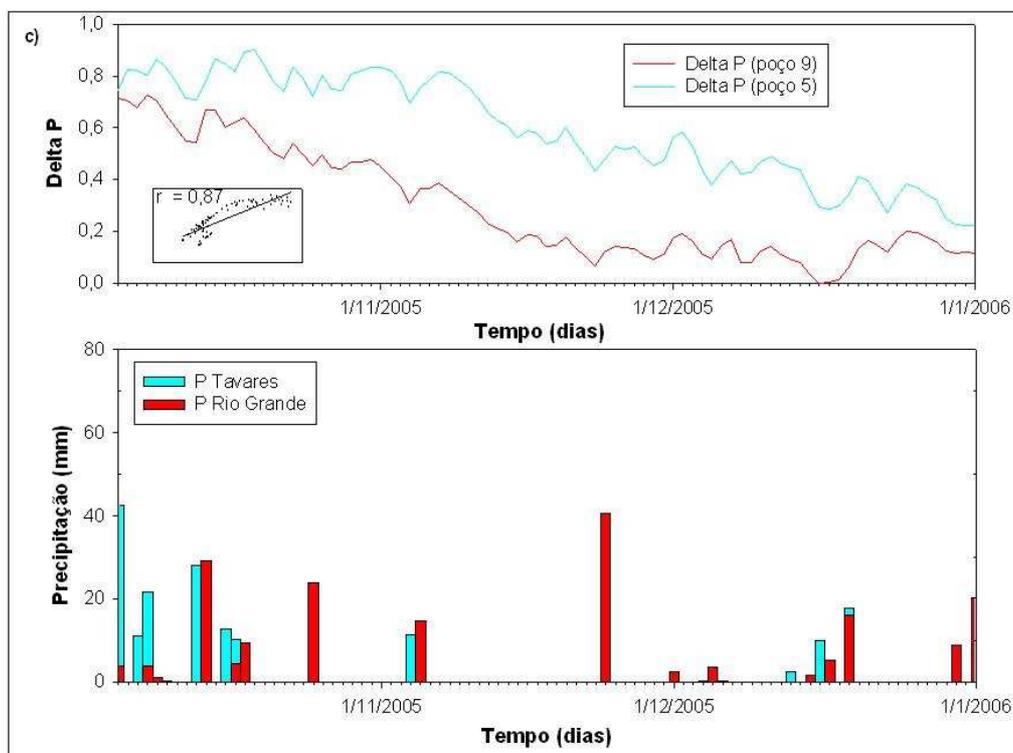


Figura 3.11c - Período de 05/10/2005 a 01/01/2006. *Gráfico superior*: Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. *Gráfico Inferior*: Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande.

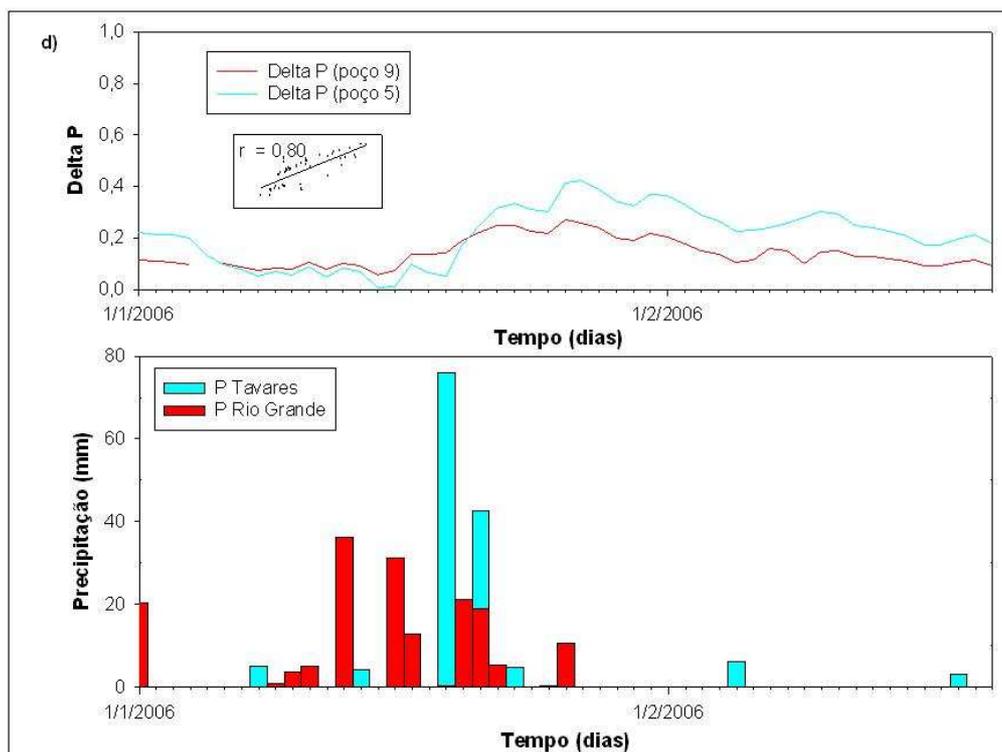


Figura 3.11d - Período de 01/01/2006 a 20/02/2006. *Gráfico superior:* Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. *Gráfico Inferior:* Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande.

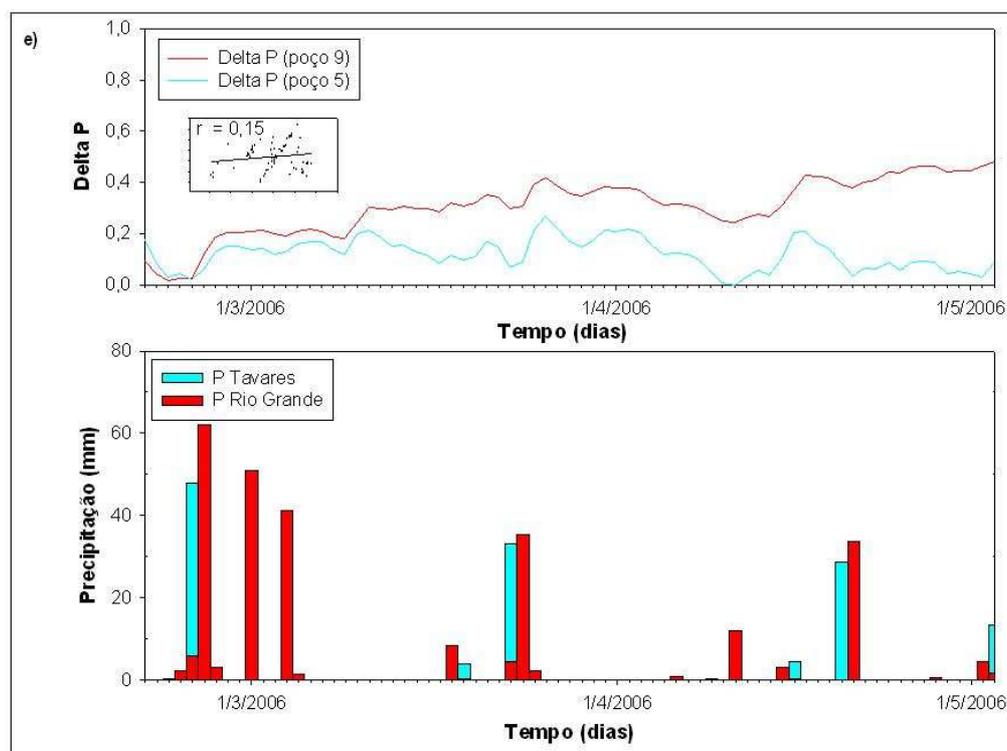


Figura 3.11e - Período de 20/02/2006 a 03/05/2006. *Gráfico superior:* Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. *Gráfico Inferior:* Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande.

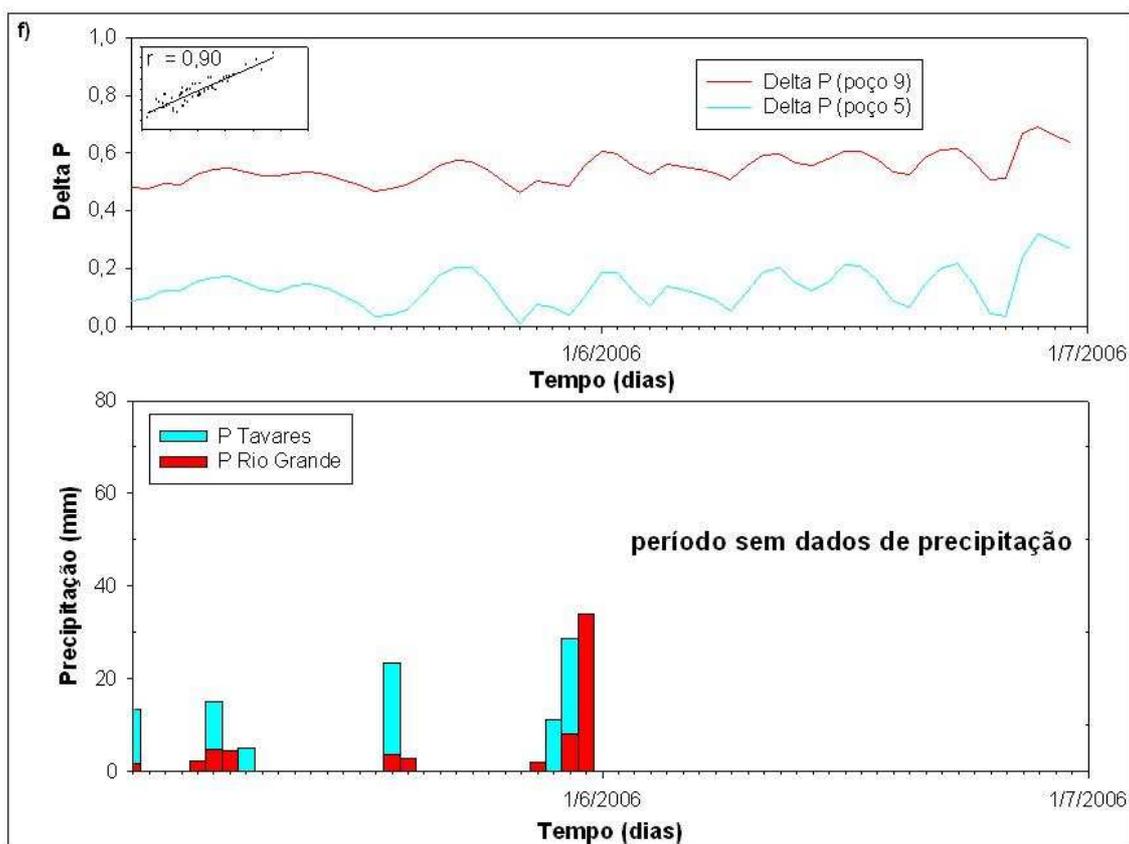


Figura 3.11f - Período de 03/05/2006 a 01/07/2006. *Gráfico superior:* Dados de variação diária de pressão interna dos poços 9 e 5 e correlação de Pearson entre estes dados. *Gráfico Inferior:* Dados de Precipitação diária (mm) nas localidades de Tavares e de Rio Grande.

Portanto, considera-se a Lagoa dos Patos como o principal agente responsável pela recarga do aquífero costeiro em estudo e a precipitação, quando atuante e distribuída ao longo do tempo, também mostra sua parcela de contribuição na região, sendo a principal responsável pela diminuição da correlação entre estes dados de níveis (lagoa e poço). Outro fator, também responsável pela diminuição da correlação entre os níveis, corresponde ao tempo de resposta entre os dados, ou seja, uma variação no nível da Lagoa dos Patos ser ou não instantaneamente responsável por uma variação no nível do lençol freático. Para tal, é importante se compreender os principais responsáveis por dificultar a percolação da água através do sedimento. No fluxo da água subterrânea, necessita-se considerar dois fatores principais: O **gradiente hidráulico** (indica a diferença de potencial entre os pontos) e a **permeabilidade do subsolo** (capacidade de permitir o fluxo de água através dos poros, sendo

esta uma característica intrínseca do material). Os fluxos mais rápidos são registrados para calcários com condutos (cársticos), com máximos de 1000 m/hora (Karmann, 2000). Um estudo mais detalhado da influência destes fatores no fluxo subterrâneo pode ser obtido na introdução do presente capítulo. Portanto, a presença do sedimento, funciona como uma barreira para o fluxo de água e, por mais rápido que seja o fluxo, a água da Lagoa dos Patos levará um determinado tempo (dependente dos fatores citados acima) para atingir o poço em estudo. No caso do poço 5, este encontra-se a aproximadamente 4,20km da margem leste da lagoa. A avaliação do tempo de resposta será obtida a partir do conhecimento do tempo de residência da água da lagoa até o poço.

Para fazer esta avaliação na Célula Central, comparou-se correlações de dados de variação do nível da lagoa em Arambaré com os dados de variação da pressão interna no poço 5. A metodologia aqui adotada correspondeu a fixar os dados de nível da lagoa e variar diariamente os dados de pressão interna, obtendo-se a correlação entre estes dados para cada defasagem de tempo. Variar diariamente os dados de pressão interna implica em tentar obter o melhor tempo de resposta do nível do poço em relação à variação do nível da lagoa (melhor correlação). O detalhamento da metodologia adotada, sem considerar defasagem de tempo (0 dias) e com defasagem de 1 até 3 dias, pode ser visto na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Metodologia adotada para obtenção do tempo de residência*.

Data	ΔN	ΔP (0 dias)	ΔP (1 dia)	ΔP (2 dias)	ΔP (3 dias)
06/07/2005	0,4261	0,5096	0,5321	0,5153	0,4821
07/07/2005	0,4000	0,5321	0,5153	0,4821	0,4286
08/07/2005	0,3913	0,5153	0,4821	0,4286	0,3967
09/07/2005	0,4174	0,4821	0,4286	0,3967	0,3929
10/07/2005	0,3522	0,4286	0,3967	0,3929	
11/07/2005	0,3783	0,3967	0,3929		
12/07/2005	0,3391	0,3929			

* A metodologia aqui detalhada corresponde a um período de apenas 7 dias, nos dados originais, a correlação entre os dados foi feita para um período de 1 ano.

Sendo, portanto, correlacionados ΔN com ΔP (0 dias), ΔN com ΔP (1 dia), ΔN com ΔP (2 dias), ΔN com ΔP (3 dias) e assim sucessivamente até 20 dias.

Os resultados das correlações obtidas podem ser vistos na Figura 3.12.

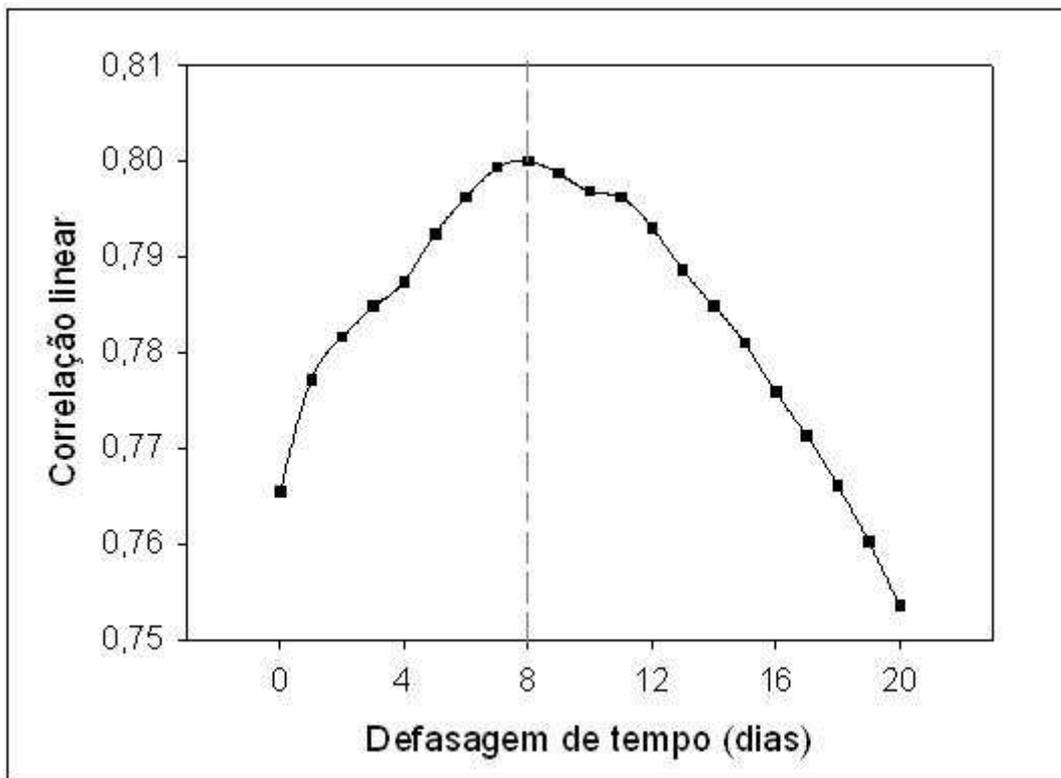


Figura 3.12 - Correlações obtidas entre os dados de ΔN (Arambaré) e ΔP (poço 5) sem defasagem de tempo e com defasagem de tempo de 1 a 20 dias

A metodologia utilizada corresponde a uma metodologia aqui desenvolvida, e por isso, os resultados serão avaliados a partir dos obtidos por Windom et al. (2006), que para estimar o fluxo de ferro dissolvido a partir do SGD ao longo da costa, utilizando radioisótopos, estimaram o tempo de residência desta água (tempo que o fluxo de água leva para percorrer a distância entre o ponto de recarga e o ponto de descarga, ou seja, entre a lagoa e o mar). Na metodologia adotada pelos autores, eles encontraram dois valores para a taxa de mistura (K_h) nesta região. Seus cálculos foram baseados na utilização de dois isótopos de rádio, ^{223}Ra e ^{224}Ra , encontrando-se taxas de misturas de $338\text{m}^2/\text{s}$ e $240\text{m}^2/\text{s}$, respectivamente. Os autores utilizaram $K_h=338\text{m}^2/\text{s}$ em seus cálculos porque o isótopo ^{223}Ra pode ser medido com mais confiança offshore, o que reflete na maior confiança dos dados. O tempo de residência encontrado por estes autores correspondeu a 8,3 dias. Porém, utilizando $K_h=240\text{m}^2/\text{s}$ e partindo dos mesmos cálculos realizados pelos autores, obtém-se um tempo de residência de 11,7 dias. Acredita-se então, que os resultados obtidos, devem apontar um tempo de residência entre 8 e 12 dias.

O tempo de residência obtido com a metodologia do presente estudo, corresponde ao tempo que a água leva para percorrer a distância entre a lagoa e o poço 5. De acordo com os resultados obtidos (Figura 3.12), o tempo de residência encontrado foi de aproximadamente 8 dias. Entretanto, busca-se a obtenção do tempo de residência do fluxo SGD, ou seja, do fluxo subterrâneo partindo da lagoa até atingir as águas do oceano Atlântico.

Como já mostrado anteriormente, existem dados de pressão interna em um poço próximo ao mar (poço 9), o que permitiria o cálculo do tempo de residência do fluxo SGD entre o ponto de recarga e o ponto de descarga. Porém, as maiores taxas pluviométricas (Figura 3.6) e as maiores oscilações nos dados de nível do Laranjal (Figura 3.7), devido à presença de afluentes provindos da margem oeste, inviabilizaram a obtenção do tempo de residência na região Sul pelo método descrito na região central (a correlação no ΔP (0 dias) foi superior a correlação com qualquer outra defasagem de tempo). Observa-se aqui uma característica negativa da metodologia adotada em virtude da sensibilidade do método em estudo.

Uma vez obtido o tempo de residência do fluxo subterrâneo entre a lagoa e o poço 5, necessita-se estimar o tempo de residência do fluxo entre este poço e o oceano. Sabe-se que o poço 5 encontra-se a 4,20 km da margem da lagoa e que seu tempo de residência é de 8 dias, portanto tem-se uma velocidade de percolação da água no subsolo de aproximadamente 0,52km/dia. Sendo a distância entre o poço 5 e a costa, de aproximadamente 3km, o tempo de residência estimado para esta última distância é de aproximadamente 5,8 dias. Considerou-se aqui, que a velocidade de percolação do segundo percurso seria a mesma de primeiro. Entretanto, de acordo com Cunha, 1997, a região onde se encontram os poços intermediários, ou seja, numa região intermediária entre a lagoa e o oceano, apresentam as maiores declividades (0,2%) desta região de restinga, contrastando com as menores declividades obtidas na região próxima à margem da lagoa e na região próxima ao mar (declividade 0%). Apesar de ser uma região de baixa declividade, relativamente plana (região de planície), essa pequena elevação observada na região central deve gerar um fluxo ascendente de água subterrânea, uma vez que se observou alto nível do lençol freático nesta região, nível inclusive próximo ao encontrado no poço próximo ao mar (poço 6). Tais níveis podem ser vistos na Figura 3.13 e foram medidos a partir da superfície do solo (nível zero).

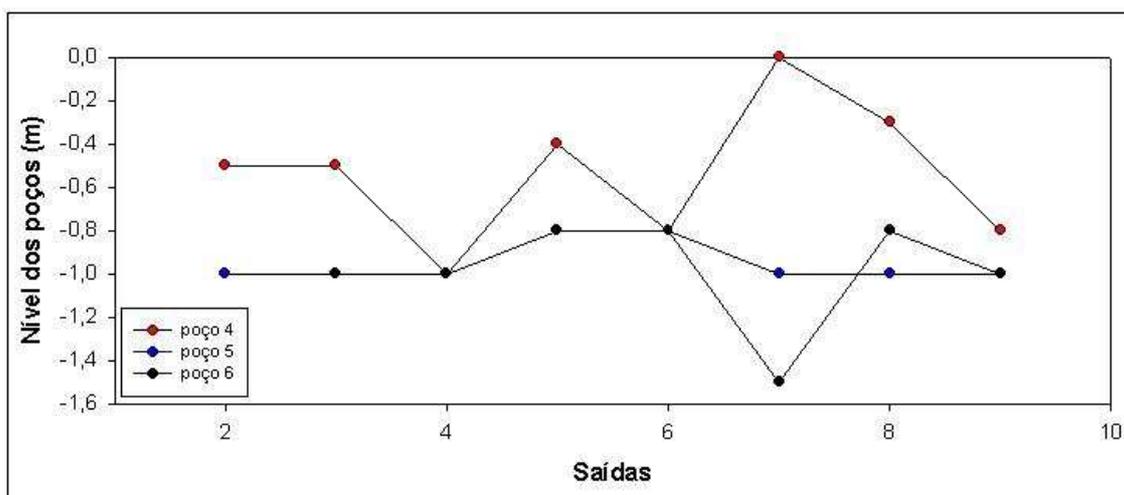


Figura 3.13 - Nível dos poços medidos a partir do nível da superfície do solo

Segundo Karmann (2000), quando em condições apropriadas, a pressão exercida pela coluna de água pode causar fluxos ascendentes da água subterrânea, contrariando a gravidade. Acredita-se que o fluxo superficial da Lagoa dos Patos permita tais condições apropriadas, fornecendo a força motriz necessária para a existência do fluxo subterrâneo ascendente descrito. A velocidade de percolação da água no subsolo calculada anteriormente foi baseada no fluxo ascendente, uma vez que o poço 5 localiza-se na região intermediária entre a lagoa e o oceano, apresentando declividade de 0,2%, declividade esta obtida a partir da declividade da unidade geomorfológica a qual este poço pertence (Cunha, 1997). Uma vez conhecida a distância (4,2km), entre a lagoa e este poço, e a declividade, o nível desta região pode ser estimado em relação ao nível da lagoa e do mar (declividade zero). A estimativa do nível da região do poço 5 foi feita a partir de informações de cálculos apresentadas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

$$\text{Onde: } \textit{declividade} = \frac{\textit{dist\~{a}ncia}}{\textit{n\~{i}vel}} \times 100. \quad \textbf{(Equa\~{c}\~{a}\~{o} 03)}$$

Portanto o nível do solo da região do poço 5 está a aproximadamente 8,4m acima do nível do solo dos poços 4 e 6. Se a velocidade calculada anteriormente foi baseada no movimento subterrâneo ascendente, a estimativa do tempo de residência do fluxo entre este poço e o oceano foi superestimada, uma vez que a gravidade agora passa a atuar a favor do SGD. Uma exemplificação do processo aqui descrito pode ser visualizada na Figura 3.14. Portanto, não foi possível estimar um tempo de residência para todo o processo de recarga e descarga do fluxo subterrâneo e sim, estimar um intervalo de tempo para a ocorrência de tal processo. De acordo com o tempo que o fluxo subterrâneo leva até atingir o poço 5 (8 dias) e

o tempo superestimado para que tal fluxo atinja a costa ($8+5,8 = 13,8$ dias), acredita-se que o tempo de residência do processo em questão esteja entre 8 dias e 13,8 dias.

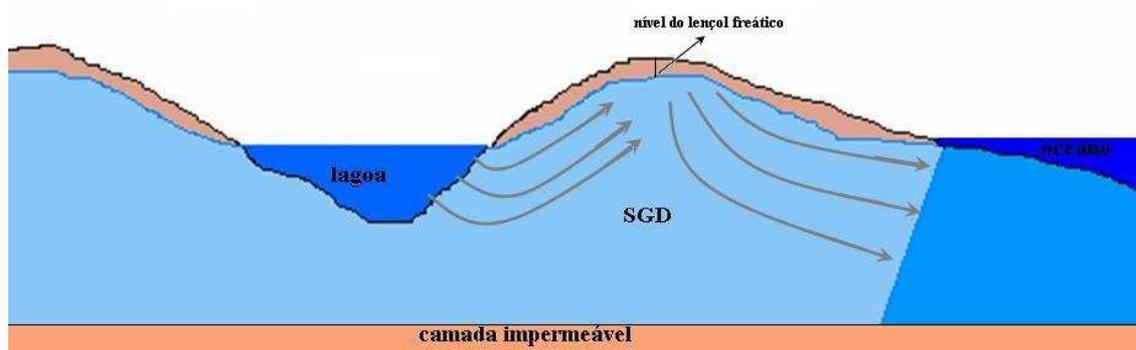


Figura 3.14 - Exemplificação da percolação da água subterrânea na região em estudo (processos de recarga e descarga).

Porém, um estudo mais detalhado, obtendo-se um tempo de residência entre o ponto de recarga e descarga, pode ser obtido com a introdução de sensores de pressão no poço 6, que encontra-se próximo ao oceano. Acredita-se que o valor encontrado ficará em torno de 12 dias, uma vez que este valor corrobora com o obtido a partir da taxa de mistura sugerida por Windom et al. (2006) e encontra-se no intervalo sugerido pelo presente trabalho.

De acordo com Barletta e Calliari (1996) e Barletta (1997; 2000) o litoral central do Rio Grande do Sul, compreendido desde a raiz do molhe leste, em São José do Norte, até o Farol da Solidão, 228 quilômetros ao norte é caracterizado como sendo intermediário. Barletta (1997) e Pereira (2005) encontraram dados granulométricos semelhantes em praias próximas às Células Sul e Central, na região do pós-praia e na região da berma, ou seja, a classificação obtida por estes autores, em relação ao tamanho dos grãos, foi de areia fina (média do tamanho dos grãos do sedimento apresentando valores entre $2,97\phi$ e $2,18\phi$) e a classificação, em relação ao grau de seleção, correspondeu a muito bem selecionada (baixo desvio padrão). Em termos de permeabilidade, de acordo com Pereira (2005) a região da Célula Sul apresentou-se maior ($K \approx 4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ tanto na região de berma como no pós-praia) em relação à Célula Central ($K \approx 2 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ tanto na região de berma como no pós-praia). De acordo com a classificação em relação ao coeficiente de permeabilidade descrita por Vargas (1977), o valor de K é comumente expresso como um produto de um número por uma potência negativa de 10, e portanto as duas regiões apresentaram permeabilidades próximas. De acordo

com Krumbein e Monk (1942) a permeabilidade em sedimentos arenosos é controlada basicamente pelo tamanho médio dos sedimentos e desvio padrão, o que justifica a semelhança entre a permeabilidade nas células Central e Sul, indicando que os valores obtidos para o tempo de residência do SGD na célula Central deve ser semelhante para a célula Sul. De acordo com Pereira, 2005, a menor permeabilidade encontrada em toda a praia da região de restinga localizada entre a Lagoa dos Patos e o oceano Atlântico corresponde a encontrada nas proximidades do Farol da Conceição, e nas proximidades da desembocadura do canal de Rio Grande, porém, para todas as praias, incluindo estas, foi obtida para o coeficiente de permeabilidade a mesma potência negativa de 10 (10^{-3}), indicando assim, permeabilidade semelhante em toda a região de praia do presente estudo. Indicando assim, que o fluxo subterrâneo SGD não deve apresentar consideráveis diferenças longitudinais entre uma região e outra desta restinga.

Um fato importante a ser considerado, corresponde à constatação em campo da presença de uma camada impermeável a partir de aproximadamente 10m de profundidade, constatação esta, observada devido à dificuldade na perfuração dos poços a partir desta profundidade. Tamazelli et al, (1997) aborda a existência de turfas na costa do Rio Grande do Sul. Os depósitos turfáceos abaixo dos sedimentos praias causam uma impermeabilização da praia e rápida saturação (McLachlan,1979). Com o intuito de verificar a possível existência de uma camada impermeável na região do poço 5, buscou-se características da unidade geomorfológica definida por Cunha (1997) para a região onde se localiza este poço (Tabela 3.3). De acordo com Cunha, 1997, o perfil do solo desta região apresenta contraste entre a parte superior (superfície irregular arenosa) e a parte inferior do solo (argilosa e impermeável). Com isso, segundo este autor, a água de saturação (lençol freático) da camada arenosa, apresenta-se como uma lâmina variável, nas estações do ano em relação à profundidade. Tal variação e suas causas foram estudadas no presente trabalho, sendo que a constatação da presença de uma camada impermeável a poucos metros de profundidade funciona como um fator de contribuição as altas correlações obtidas, ou seja, a resposta satisfatória da variação do nível do lençol freático em relação variação do nível da lagoa.

3.7 CONCLUSÃO

A correlação entre os dados de nível e de pressão interna na porção sul da Lagoa dos Patos e da restinga mostrou-se inferior a encontrada na porção central, principalmente porque a região sul apresentou maiores taxas pluviométricas e também porque tal região possui aportes continentais.

A permeabilidade em praias é controlada pela herança geológica, pelo grau de seleção e pelo tamanho médio do grão. Devido ao grau de seleção e o tamanho médio dos grãos destas três praias, tanto na região do berma quanto na região do pós-praia, apresentarem-se próximos entre si, a permeabilidade passa a ser controlada pela herança geológica.

Portanto, as características hidrológicas dinâmicas juntamente com as características geológicas desta região de restinga, incluindo a proximidade com um sistema hídrico superficial que funciona como uma recarga permanente do aquífero freático desta região, atribui a ela características de um dinâmico estuário subterrâneo, cujos processos químicos, podem ser tão ou mais importantes, em termos de contribuição à plataforma continental adjacente, do que o próprio estuário superficial da Lagoa dos Patos.

A metodologia adotada para obtenção do tempo de residência do fluxo SGD mostrou-se eficaz, uma vez que os valores encontrados se mostraram próximos a valores obtidos por outros autores, sugerindo aqui, um tempo de residência em torno de 12 dias. Porém, limitações desta metodologia inviabilizaram a obtenção do tempo de residência na célula Sul da lagoa e devem ser consideradas sempre que tal método for utilizado.

Por fim, constata-se, então, que tanto a Lagoa dos Patos quanto a restinga não são homogêneas de norte a sul.

4. Influência da água superficial da Lagoa dos Patos nos fluxos subterrâneos

4.1 INTRODUÇÃO

4.1.1 Efeito do vento sobre a circulação superficial da Lagoa dos Patos.

Fernandes e Niencheski (1998) demonstraram que existe uma forte relação da intensidade dos processos de transporte do estuário da Lagoa dos Patos com as condições meteorológicas presentes no ambiente. Uma vez que, as condições meteorológicas (principalmente as características do vento) são importantes para a compreensão do comportamento superficial da água da Lagoa dos Patos, e esta fonte superficial constitui a principal recarga do aquífero freático localizado entre esta lagoa e o oceano Atlântico, as condições meteorológicas da região de recarga acabarão também por influenciar o transporte subterrâneo desta região e a compreensão do comportamento físico superficial desta lagoa se faz necessária.

Segundo Kjerve (1986), a Lagoa dos Patos é a maior lagoa costeira estrangulada do mundo e, como tal, a circulação é principalmente forçada pelo vento e descarga de água doce. Ventos de nordeste, que favorecem a descarga de água doce, predominam durante o ano, enquanto ventos de sudoeste, que forçam a entrada de água salgada no corpo lagunar, ganham importância no outono e inverno, quando a passagem de sistemas frontais é mais frequente (Stech e Lorenzetti, 1992).

O clima da região sul do Brasil é classificado como mesotérmico temperado, com o extremo sul do Rio Grande do Sul estando sujeito a máximos de precipitação no inverno e mínimos no verão (Nimer, 1989). A média pluviométrica anual foi estimada em 1300 mm

(Delaney, 1965). Já a média anual de descarga fluvial na cabeceira da Lagoa é de aproximadamente 2400 m³/s, embora picos de 8000 a 12000 m³/s podem ser observados em eventos de El Niño (Möller, 1996).

A morfologia da Lagoa dos Patos apresenta grande influência na sua resposta às principais forçantes. Na escala de tempo da passagem de sistemas frontais, o vento é o fator mais importante para a circulação da Lagoa dos Patos (Möller et al., 2001). O efeito do vento é bastante importante, devido a sua amplitude, e também a orientação do eixo longitudinal da lagoa (nordeste-sudoeste), que é alinhada com a direção predominante dos ventos. A importância relativa do vento como forçante da circulação aumenta à medida que diminui a amplitude da maré (Smith 1978, Lee et al. 1990, Millet et al. 1991, Wong 1991, Lu e Wong 1994), efeito típico em lagoas com apenas uma comunicação com o oceano (Kjerfve 1986, Kjerfve e Magill 1989).

Möller Jr. et al. (2001) mostraram que tanto a maré como as oscilações de longo período originadas no oceano são filtradas na região do canal de acesso à Lagoa dos Patos. O efeito do vento na Lagoa dos Patos pode ser dividido em duas partes, representando os efeitos local e remoto. O vento atuando sobre a plataforma continental (efeito remoto) causa elevação ou abaixamento no nível da costa, por transporte de Ekman. Ventos de nordeste causam abaixamento no nível na costa, enquanto que ventos de sudoeste causam elevação no nível. A tensão do vento atua também diretamente sobre a superfície da lagoa (efeito local do vento), ocorrendo transferência de momento do vento para a água. Este tipo de atuação causa desníveis entre as extremidades do sistema (setup/setdown). Os anti-nós da oscilação são a Ponta da Feitoria e Itapoã, sendo que a linha nodal se encontra nas proximidades de Arambaré (Figura 4.1). Ventos de nordeste causam empilhamento de água na Feitoria, enquanto que ventos de sudoeste causam empilhamento de água na região de Itapoã. A região da Feitoria funciona como o ponto de inflexão do sistema. Nessa região são encontrados os máximos e mínimos valores de elevação da superfície livre (Castelão e Möller 2003).

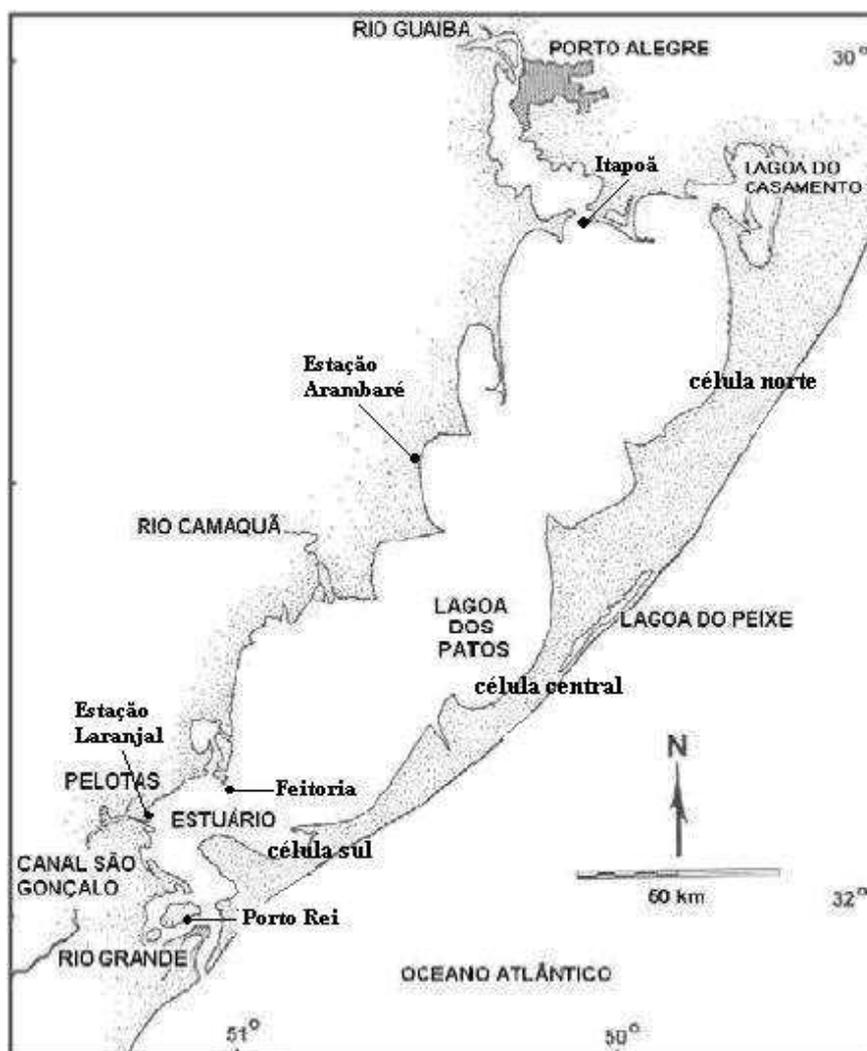


Figura 4.1 – Mapa com as localizações de Itapoã, Arambaré e da Feitoria e das regiões (células) onde se encontra o aquífero freático em estudo no presente trabalho.

Outros trabalhos (Möller, 1996; Möller et al., 1996; Möller et al., 1997; Fetter, 1999; Fernandes, 2001; Fernandes et al., 2002) mostraram que a ação do vento como principal forçante da entrada de água salgada para o interior da Lagoa dos Patos só se verifica em períodos de descarga fraca ou moderada (menores que $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$), observados durante o verão e outono. Em períodos de vazantes intensas (maiores que $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$), a ação dos ventos é restrita, pois o gradiente barotrópico gerado pelo desnível entre a Lagoa e o oceano praticamente anula o efeito gerado pelo vento. Apenas eventos de forte vento sul podem reverter o gradiente de pressão estabelecido. Neste caso, a zona de mistura pode se restringir à região da desembocadura ou pode ser transferida para a plataforma adjacente (Möller &

Castaing, 1999). Quando isso acontece, a descarga da lagoa torna-se a forçante principal, com o vento atuando secundariamente (Hirata, 2006).

No presente trabalho serão estudadas oito campanhas amostrais (saídas) realizadas entre o final de 2003 e o final de 2005.

Verificando-se as vazões da lagoa nos períodos em estudo, observou-se, a partir das médias mensais das vazões dos principais tributários da Lagoa dos Patos (Jacuí, Taquari e Camaquã), fornecidas pela Agência Nacional de Águas, que as máximas vazões atingidas estiveram em torno dos 3000m³/s (Tabela 4.1), e, portanto, a ação do vento na lagoa constituía a principal forçante que controlava o comportamento de suas águas. Por esta razão, os dados de vento são amplamente utilizados no presente trabalho. As vazões mensais médias, máximas e mínimas dos períodos de coleta e de todo o período de dados fornecidos pela ANA (Agência Nacional de Águas) podem ser visualizadas no Anexo D.

Tabela 4.1 - Médias mensais das vazões

Saídas	Vazão (m ³ /s) (Camaquã)	Soma das vazões (m ³ /s) (Jacuí+Taquari)	Soma das vazões totais (Jacuí+Taquari+Camaquã)
1	387,08	1459,57	1845,57
2	419,26	2662,39	3081,65
3	47,46	279,42	326,88
4	331,00	852,58	1183,57
5	445,99	1301,81	1747,80
6	240,69	991,39	1232,08
7	19,45	213,27	232,72
8	178,56	1494,60	1668,71

Castelão & Möller (2003) realizaram dois experimentos utilizando o modelo numérico denominado Princeton Ocean Model (POM), considerando a predominância dos ventos nordeste e sudoeste numa região englobando a circulação na Lagoa dos Patos e o oceano adjacente ao longo de todo o Estado do Rio Grande do Sul. Nas simulações o vento foi imposto com intensidade de 4 m.s⁻¹, constante no espaço e no tempo. Observou-se que após

cinco dias o sistema incorporou grande parte da energia transferida pelo vento (energia cinética média por unidade de área já atingiu 98% do valor máximo alcançando em simulações realizadas com maior período de integração), além de ser um período ainda plausível de duração do vento de uma direção na região.

4.1.2 Principais tributários da Lagoa dos Patos.

Fernandes et al. (2002), em estudo de modelagem numérica sobre a influência do El Niño de 1998 no padrão de circulação da Lagoa, observaram que a forte descarga dos rios, combinada com gradientes de pressão gerados por vento local e não-local, favoreceram fluxos médios de vazante na ordem de 5.000 m³/s. Vaz (2003), analisando séries históricas da Agência Nacional de Águas (ANA), verificou aumento na descarga fluvial de rios que formam a bacia da Lagoa dos Patos (Taquari, Jacuí e Camaquã) em anos de El Niño.

Os principais sistemas monitorados que deságuam na Lagoa dos Patos são o complexo Guaíba (do qual fazem parte o Taquari e o Jacuí), na parte norte do estado, e a sub-bacia do Camaquã (Herz, 1977). Sendo o Guaíba responsável por aproximadamente 85% da descarga de água doce através da lagoa (Windom, et al, 2000).

Há ainda a bacia da Lagoa Mirim, que deságua no estuário pelo canal São Gonçalo, mas existem muito poucos dados sobre a quantificação da contribuição deste sistema à bacia da Lagoa dos Patos (Hirata, 2006). No segundo capítulo deste trabalho avaliou-se a influência do canal São Gonçalo na célula sul da lagoa, onde constatou-se uma grande influência das águas provindas desse canal no nível da estação do Laranjal, observando-se que o comportamento de tal nível representa o produto final de todos os processos da Lagoa Mirim.

A hidrografia da Lagoa dos Patos é controlada pelos ciclos hidrológicos do conjunto de rios e lagos que fazem parte desta bacia hidrográfica. A circulação desta lagoa é dominada pelos ventos que influenciam a dinâmica deste sistema, afetando diretamente o tempo de residência.

Pereira & Niencheski (2004) avaliaram a influência das vazões e do vento no tempo de residência das águas da Lagoa dos Patos. A simulação do tempo de residência indicou que este depende principalmente das descargas do rio Guaíba e da ação do vento. Os resultados do tempo de residência sem a ação do vento, variaram de 20 dias para períodos de altas descargas a 35 dias para períodos de baixas descargas. Quando o vento foi aplicado ao modelo, o tempo

de residência variou de 18 dias para períodos de altas descargas e ventos de quadrante norte e 28 dias para baixas descargas e ventos de quadrante sul.

4.1.3 Íon Silicato

A sílica presente no ambiente aquático é proveniente principalmente, da decomposição de minerais de silicato de alumínio (e.g., feldspato), que são mais frequentes em rochas sedimentares do que magmáticas (Esteves, 1950).

Das várias classes minerais existentes, apenas uma, a dos *silicatos*, é responsável pela constituição de aproximadamente 97% em volume da crosta continental (Madureira F^o. et al., 2000).

Em virtude da sílica encontrada nas águas subterrâneas ser proveniente do sedimento por onde esta água percola, no presente trabalho utilizou-se tal nutriente como traçador dos fluxos subterrâneos.

O íon silicato é um parâmetro importante como nutriente para algumas espécies do fitoplâncton (diatomáceas) e para o zooplâncton (radiolários). Não apresenta problemas em termos de ser um contaminante provocado pela ação do homem, pois sua origem está intimamente associada a processos de dissolução de sedimentos silicosos. Em função disso, as concentrações são maiores em águas doces, onde as fontes são mais intensas, do que em águas salgadas ou salobras (Friedrich, 2004).

O silício é um elemento nutritivo para algumas espécies, pois entra na composição de frústulas, espículas e outras estruturas de espécies planctônicas. A concentração na superfície dos oceanos é baixa, estando na faixa de 1µM de Si. Em zona antártica e em zonas profundas, as concentrações podem atingir médias de 80µM de Si. Já em zonas costeiras e em regiões estuarinas, as concentrações são ainda maiores, em média cerca de 150 µM (Aminot & Chaussepied, 1983).

Na porção norte da Lagoa dos Patos, dominada por águas doces, a concentração média anual de sílica está em torno de 125 e 280 µM (Vilas Boas, 1990). Na região límnic do estuário da Lagoa dos Patos, a sílica tem concentrações entre 150 e 200 µM (Windom *et al.*, 1999).

Villas Boas (1990) observou, em relação ao comportamento do silicato nas águas superficiais da Lagoa dos Patos, que este resulta numa exportação, em direção ao oceano a

partir do canal de Rio Grande, de concentrações máximas de silicato atingindo 114,12 μ M, entre dezembro de 1987 e dezembro de 1988. Ficando as médias, para a primavera em 86,97 μ M, para o verão em 19,39 μ M, para o outono em 82,49 μ M e para o inverno em 74,62 μ M. Aqui é importante lembrar, que o ano de 1988 foi um ano de configuração do fenômeno El Niño com intensidade moderada (METSUL, 2006).

Baumgarten & Niencheski, 1998 encontraram médias de concentrações de silicato em torno de 100 μ M nas águas superficiais da Lagoa dos Patos em diferentes épocas do ano.

4.1.4 Condutividade eletrolítica

A Condutividade Eletrolítica (CE) é a capacidade da água em transmitir corrente elétrica através de íons dissolvidos (Porto et al., 1991) sendo determinada pela presença de substâncias que se dissociam em ânions e cátions. Utiliza-se aqui a expressão “Condutividade Eletrolítica” devido ao fato de a União Internacional de Química Pura e Aplicada considerar a expressão mais correta que “Condutividade Elétrica”, já que aquela expressão está relacionada à medição de eletrólitos, e não de elétrons, em meio aquoso (Millon, 2004).

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 dissolvidos e a condutividade eletrolítica, pode-se estimar o teor de sais pela medida da condutividade de uma amostra de água (Zimbres, 2000). A medida é feita através de condutivímetro. Como a condutividade aumenta com o aumento da temperatura, costuma-se usar 25°C como temperatura padrão, sendo normalmente necessário fazer a correção da medida em função da temperatura. O condutivímetro aqui utilizado faz a correção automaticamente.

No sistema internacional de medidas, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é Siemens, abreviando-se S (maiúsculo). Para as águas subterrâneas o correto seria nos referirmos a microsiemens por cm (μ S/cm).

As águas dos aquíferos freáticos costeiros sofrem a influência das águas salgadas que lhes conferem características bem marcantes. Nestes locais, o fluxo subterrâneo de água doce que vem do continente encontra o fluxo subterrâneo de água salgada que está se infiltrando a partir do oceano. Devido a diferença de densidade entre estes dois tipos de água, ocorre uma estratificação, ficando a água doce por cima e a água salgada por baixo. Estas águas mantêm

uma separação razoável, devido ao fato de que ambas estão em um meio poroso, onde a difusão dos solutos é muito lenta (Zimbres, 2000).

Na virada do século XIX, os pesquisadores Ghyben e Herzberg, trabalhando independentemente, estabeleceram uma relação entre um aquífero livre, e as águas do mar, com um modelo hidrostático que levava em consideração apenas as densidades dos fluidos. Embora o modelo seja bastante simples, ele dá uma noção da sensibilidade deste sistema face ao bombeamento de poços na linha de costa. Segundo estes autores, o rebaixamento na altura do nível do aquífero, através da extração de um poço próximo a cunha salina, causa uma ascensão ou intrusão considerável na altura de água salgada.

A condutividade eletrolítica pode ser utilizada para avaliar a influência dos sais dissolvidos provindos do oceano Atlântico em direção à Lagoa dos Patos nas águas do aquífero costeiro em estudo.

4.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar os processos ocorrentes nas águas superficiais da Lagoa dos Patos e sua relação com os fluxos subterrâneos.

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Comparar o comportamento dos fluxos ocorrentes acima e abaixo da camada impermeável e compreender as diferenças entre eles.

- ✓ Através das concentrações de silicato como traçador, relacionar o fluxo subterrâneo com o comportamento superficial da Lagoa dos Patos.

- ✓ Avaliar o processo de diluição dos sais provindos da intrusão salina no lençol freático a partir da condutividade eletrolítica.

4.4 JUSTIFICATIVA

Todas as águas naturais possuem, em graus distintos, um conjunto de substâncias em solução, sendo que as águas subterrâneas possuem, em geral, teores mais elevados do que as águas superficiais, por estarem intimamente expostas aos materiais solúveis presentes no solo e nas rochas. A quantidade e tipos de substâncias presentes na água subterrânea dependerão do meio percolado, do tipo e da velocidade do fluxo subterrâneo, da fonte de recarga do aquífero e do clima da região (Zimbres, 2000). Em áreas de recarga constante, como é o caso do aquífero costeiro em estudo, ocorre uma grande renovação das águas subterrâneas, e como consequência, ocorre uma maior exposição dos materiais solúveis presentes no solo que são constantemente carregados para o oceano adjacente.

Até o presente momento as informações sobre os fenômenos ocorrentes durante as etapas de transporte e mistura das águas subterrâneas são escassas (Windom et al., 2006).

O presente projeto visa contribuir com informações a respeito de processos ocorrentes nas águas subterrâneas da região de restinga da Lagoa dos Patos, mais precisamente a respeito de como as águas superficiais da lagoa influenciam os fluxos subterrâneos e como ocorre o processo de diluição dos sais presentes na água do mar ao longo do lençol freático

4.5 ÁREA DE ESTUDO

Como já dito no capítulo anterior, Delaney (1965) dividiu geomorfologicamente a Lagoa dos Patos em três regiões, sendo a região descrita por ele como central (localizada entre a Ponta da Feitoria e a entrada a Lagoa do Casamento), a que compreende o presente estudo. Tal região foi dividida em três sub-regiões denominadas células norte, central e sul (Figura 4.1).

Neste capítulo serão avaliados dados de concentrações de silicato em três conjuntos de poços subterrâneos localizados numa região de restinga, abrangendo por via subterrânea, água superficial da Lagoa dos Patos. Em cada sub-região descrita, encontra-se um conjunto de poços com profundidades diferentes. Foram ainda realizadas análises de condutividade eletrolítica no conjunto de poços da célula sul.

4.6 METODOLOGIA

Os poços subterrâneos, nos quais são realizados estudos baseados nos teores de silicato presentes nas águas do interior destes, correspondem a três conjuntos de poços (Figura 4.2), com diferentes profundidades, sendo o primeiro conjunto localizado na região 1 (Célula Norte), o segundo localizado na região 4 (Célula Central) e o terceiro localizado na região 7 (Célula Sul). Cada conjunto de poços correspondeu a um conjunto com três poços de profundidades 5 m, 10 m e 15 m. Posteriormente não se utilizou poços com profundidade de 15m para a região 4 e para a região 7, devido a observação da existência de uma camada impermeável após 10m de profundidade durante a perfuração destes. Para o estudo de condutividade eletrolítica utilizou-se dados diários de amostras de água coletadas em três poços localizados na célula sul, sendo um localizado próximo a margem da lagoa, um numa região intermediária e um próximo ao oceano (regiões 7, 8 e 9, respectivamente).

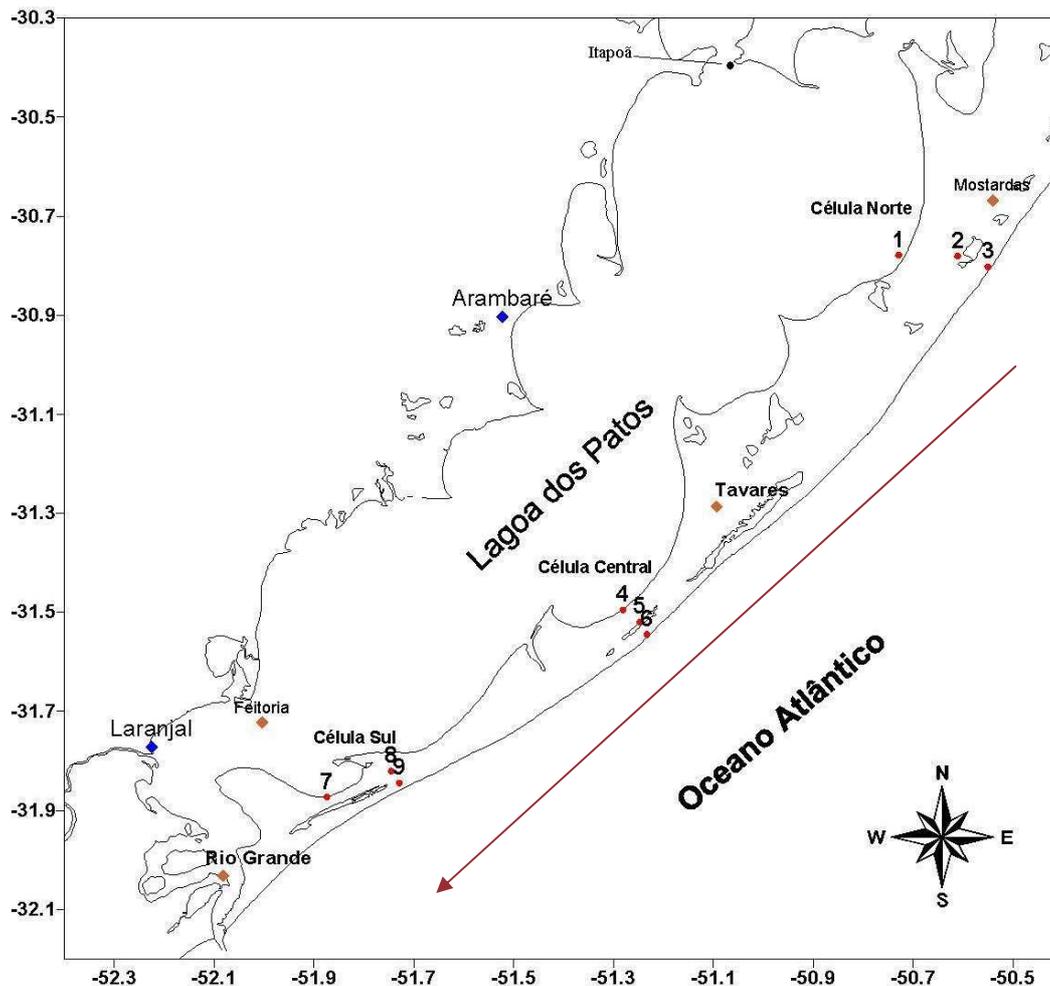


Figura 4.2 - Mapa com as localizações dos conjuntos de poços nas três células em estudo, onde → representa o sentido do perfil longitudinal com que os dados de silicato foram plotados.

Para avaliar o comportamento do nível da Lagoa dos Patos nas regiões próximas aos conjuntos de poços subterrâneos recorreu-se aos níveis fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) para células central e sul, estações de Arambaré (município de Arambaré) e Laranjal (município de Pelotas), respectivamente. Em virtude da ausência de dados de nível para a célula norte, utilizou-se dados de vento, que concomitantemente com os dados de nível das estações anteriores, permitiram estimar as condições superficiais da lagoa nesta célula no dia da coleta. Para tal utilizou-se dados de vento fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande. Para verificar se tais dados também são representativos da região norte da lagoa em virtude de serem coletados ao sul, recorreu-se à comparação de dados de ventos da região norte (Porto Alegre) e da região sul (Rio Grande) fornecidos pelo site russo: “Russia’s weather”, que possui um arquivo com dados diários dos últimos 5 anos. Os dados da região norte que abastecem o banco de dados do site são

provenientes do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia de Porto Alegre) e os dados da região sul são provenientes do Laboratório de Meteorologia da FURG (Fundação Universidade Federal do Rio Grande). No Anexo C observa-se, para os períodos das três primeiras saídas (período de dados disponíveis no site), que as direções predominantes do vento nestes períodos foram extremamente semelhantes, porém, os ventos da região norte, apresentaram menores intensidades. Tal observação será considerada na avaliação dos resultados.

Foram realizadas oito campanhas amostrais, entre outubro de 2003 e julho de 2005, onde foram coletadas amostras de água de sete poços (três na célula norte na região 1, dois na célula central na região 4 e dois na célula sul na região 7) para análise dos teores de silicato.

As coletas foram feitas com auxílio de garrafas plásticas (1,0 L) previamente lavadas. As amostras foram filtradas imediatamente após cada coleta, em filtro de acetato de celulose, com porosidade de 0,45 μm , utilizando-se bomba a vácuo. Após a filtração, as amostras destinadas à análise de silicato foram acondicionadas em frascos de polietileno e congeladas, para posterior análise, seguindo a metodologia adaptada de Mullin e Riley (1955), descrita por Aminot e Chaussepied (1983).

A interpolação dos dados de concentração de silicato foi feita a partir do programa Surfer 6.0.1, sendo a escolha do melhor método realizada a partir de informações obtidas no manual de tal programa. O método de interpolação utilizado correspondeu ao método “Krigging” por ser o melhor método sugerido em relação ao número de dados utilizados ($n=7$).

Para os gráficos de concentração de silicato, considerou-se um perfil longitudinal (Figura 4.2) dos três conjuntos de poços subterrâneos (norte, central e sul). Os dados de silicato foram avaliados num perfil longitudinal da lagoa, no sentido do norte para o sul, a partir de coletas nas regiões 1, 4 e 7, respectivamente, localizadas próximas à margem leste da lagoa (eixo x-Figura 4.3).

Considerou-se os poços localizados na célula norte, como partindo da distância zero, e a partir dele, os poços centrais distando 93km deste, e, os poços do sul distando 163km dos poços localizados na célula norte.

Para o norte, utilizou-se um perfil vertical (eixo y-Figura 4.3) com três profundidades (5m, 10m e 15m), já para a região central e sul, utilizou-se um perfil vertical somente até 10m (5m e 10m) devido à existência de uma camada impermeável verificada durante as perfurações destes.

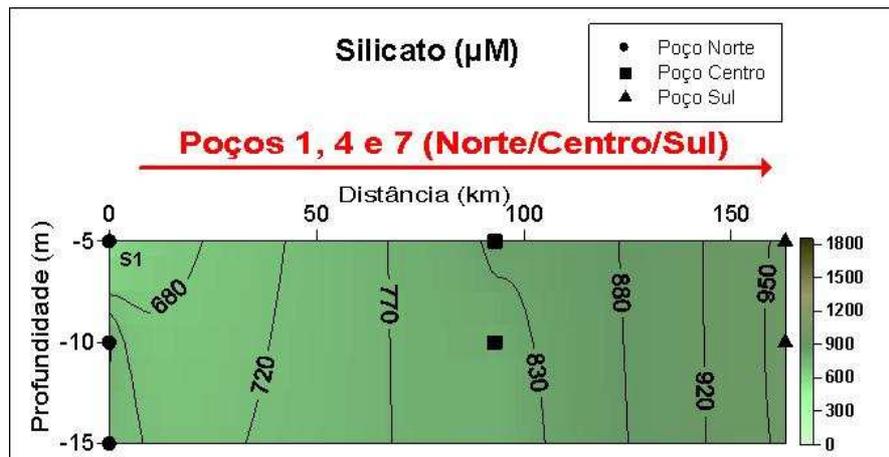


Figura 4.3 - Concentrações de silicato obtidas nas águas do lençol freático durante a primeira saída realizada (S1). Poços 1, 4 e 7 indicam os poços de diferentes profundidades localizados nas regiões 1, 4 e 7 da Figura 4.2.

Em cada poço, foram realizadas coletas de modo a obter-se um perfil vertical, a cada 5m, em até três profundidades diferentes, utilizando como profundidade máxima 15m. Porém a existência de uma camada impermeável a 10m de profundidade, nos poços 4 e 7, permitiram a utilização de dados somente até 10m para avaliação dos fenômenos ocorrentes ao longo do lençol freático. Nas avaliações utilizando-se os dados de silicato, plotou-se suas concentrações ao longo de um perfil vertical, partindo do norte em direção ao sul. Interpolações das concentrações de silicato, entre um ponto e outro de coleta, foram feitas partindo do princípio que tais concentrações variam de forma positiva com o fluxo de água, e a não existência de afluentes significativos na região central. Tal consideração se justifica em função da caracterização das águas superficiais da região central da lagoa, considerada como uma região nodal entre os níveis do norte e do sul. Desta forma, esta região deve funcionar também como uma região nodal entre as concentrações do norte e do sul. De acordo com Castelão & Möller (2003), região próxima a Arambaré (região dos poços centrais), situando-se na porção mediana da região central, funciona como a linha nodal do sistema, já que o nível neste ponto é aproximadamente o valor médio entre os níveis de Itapoã (norte) e da Feitoria (sul).

Para a obtenção dos dados de condutividade utilizou-se o condutivímetro modelo 315i WTW no poço de 10m. As análises de condutividade eletrolítica foram realizadas nos poços na célula sul (poços 7, 8 e 9).

As descargas fluviais dos principais rios que formam a bacia da lagoa são utilizadas em relação às máximas, médias e mínimas vazões obtidas considerando os períodos das

saídas, para tal, foi feita uma média dos 30 dias anteriores juntamente com os dias das saídas (Tabela 4.4).

Tabela 4.2 – Média mensal das vazões dos principais afluentes da Lagoa dos Patos.

Saídas	Período mensal (média das vazões)	Vazão(m ³ /s) (Camaquã)	Vazão(m ³ /s) (Jacuí)	Vazão(m ³ /s) (Taquari)
1	02/10/05 a 02/11/03	387,08	1003,83	455,66
2	09/12/03 a 09/01/04	419,26	1756,30	906,09
3	28/02/04 a 31/03/04	47,46	198,76	80,66
4	10/06/04 a 10/07/04	331,00	544,87	307,71
5	15/09/04 a 15/10/04	445,99	717,20	584,61
6	03/11/04 a 03/12/04	240,69	582,67	408,72
7	21/01/05 a 21/02/05	19,45	142,01	71,27*
8	01/06/05 a 30/06/05	174,10	774,78	719,82
9	05/12/05 a 05/01/06	45,91	227,31	123,38

* Série incompleta no site da ANA, utilizou-se dados de 09/01/05 a 18/01/2005

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

4.7.1 Avaliação do comportamento do íon silicato

4.7.1.1 Considerações iniciais:

Na tentativa de entender o comportamento do silicato nos poços subterrâneos, recorreu-se ao comportamento superficial da lagoa, uma vez que, sabe-se que juntamente com a precipitação, a recarga destes poços se dá principalmente a partir da água superficial da Lagoa dos Patos. Desta forma, a concentração de silicato no lençol freático deve estar intimamente ligada ao comportamento superficial da lagoa, principalmente em função da velocidade com que esta água entra no sedimento da restinga (força motriz). Tal hipótese é atribuída ao fato da sílica presente no ambiente aquático ser proveniente, principalmente, da decomposição de minerais de silicato de alumínio (e.g., feldspato), que são mais frequentes

em rochas sedimentares do que magmáticas. Portanto, é o sedimento quem fornece esse nutriente ao meio hídrico.

As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas, adquiridos ao longo de seu trajeto (Zimbres, 2000).

A constituição hidroquímica das águas subterrâneas também é afetada pela vazão dos corpos hídricos superficiais e principalmente, no caso da Lagoa dos Patos, por ventos.

Para avaliar as vazões ao norte da lagoa, utilizou-se as médias mensais (médias das vazões 30 dias antes incluindo os dias das coletas) dos rios Jacuí e Taquari. Na célula central, devido à ausência de afluentes em suas proximidades, o nível desta região acaba sendo reflexo das condições meteorológicas ali presentes (principalmente a intensidade e a direção do vento). Já para a célula sul, utilizou-se uma média mensal das vazões do rio Camaquã, considerando-se 30 dias anteriores, incluindo o dia da coleta, como feito para a célula norte. Considerou-se a influência do vento determinante dos processos físicos ocorrentes nos fluxos superficiais da Lagoa dos Patos uma vez que não observou-se elevadas vazões durante todo o período em estudo. A caracterização das vazões como altas, médias e baixas foi baseada nas médias, valores máximos e mínimos obtidos comparando-se as vazões mensais de todas as saídas.

Para a região sul, avaliou-se ainda, os fluxos provindos da Lagoa Mirim, a partir do nível observado em Laranjal, uma vez que tal nível representa de forma satisfatória a influência da Lagoa Mirim na Lagoa dos Patos, através do canal São Gonçalo (conforme foi demonstrado no primeiro capítulo deste trabalho).

Na análise dos resultados será considerado o comportamento descrito por Castelão & Möller (2003) a respeito do nível da Lagoa dos Patos em relação às condições meteorológicas (velocidade e direção do vento) sempre que houver presença de vento com intensidade superior à 4m/s por tempo suficiente. Tal velocidade será considerada, para o presente trabalho, como de alta intensidade, por permitir, segundo estes autores, que após 5 dias o sistema incorpore grande parte da energia transferida pelo vento. O comportamento descrito por estes autores corresponde a:

- ✓ *Influência de vento nordeste*: ocasiona uma redução do nível médio da Lagoa dos Patos e conseqüentemente, no nível em Arambaré, uma vez que este local funciona como uma região nodal entre os níveis obtidos nas células norte e sul. A presença do vento nordeste gera um transporte de águas em direção ao sul, o que causa uma

depressão no nível do corpo lagunar na parte norte (Itapoã) e uma elevação na parte sul (Feitoria),

✓ *Influência de vento sudoeste:* A resposta das águas da Lagoa dos Patos à ação do vento sudoeste é oposta à encontrada sob a ação do vento nordeste. O vento sudoeste, atuando sobre o corpo lagunar, causa um empilhamento de água em Itapoã e uma depressão na Feitoria. Arambaré possui valores de elevação da superfície uma vez que nestas condições o vento gera um aumento do nível médio da Lagoa dos Patos.

Para o presente trabalho, o nível da Feitoria é representado pelo nível da estação do Laranjal, devido à proximidade entre elas.

Para comparar as condições observadas nas águas superficiais da lagoa com os fluxos no lençol freático do aquífero costeiro em estudo, avaliou-se os processos ocorrentes para cada campanha separadamente.

Utilizou-se para o presente estudo concentrações de silicato em poços próximos à lagoa (regiões 1, 4 e 7), de modo a minimizar o tempo de residência, de tal forma que, a água superficial da lagoa atinja o lençol freático no menor tempo possível, para permitir assim, uma comparação entre estes dados (superficial e subterrâneo). Utilizou-se também dados de pressão interna de poços na região 9, nas profundidades de 10 e 15 metros.

Dados de pressão interna nos poços de 10 m de profundidade (poço 5 e 9) foram referenciados no capítulo anterior como possuindo uma boa correlação com os dados de nível da Lagoa dos Patos. Observando os dados de pressão a maiores profundidades, sendo elas 15m e 27m, (Figura 4.4), nota-se que a pressão no poço mais profundo se apresentou mais elevada e praticamente constante.

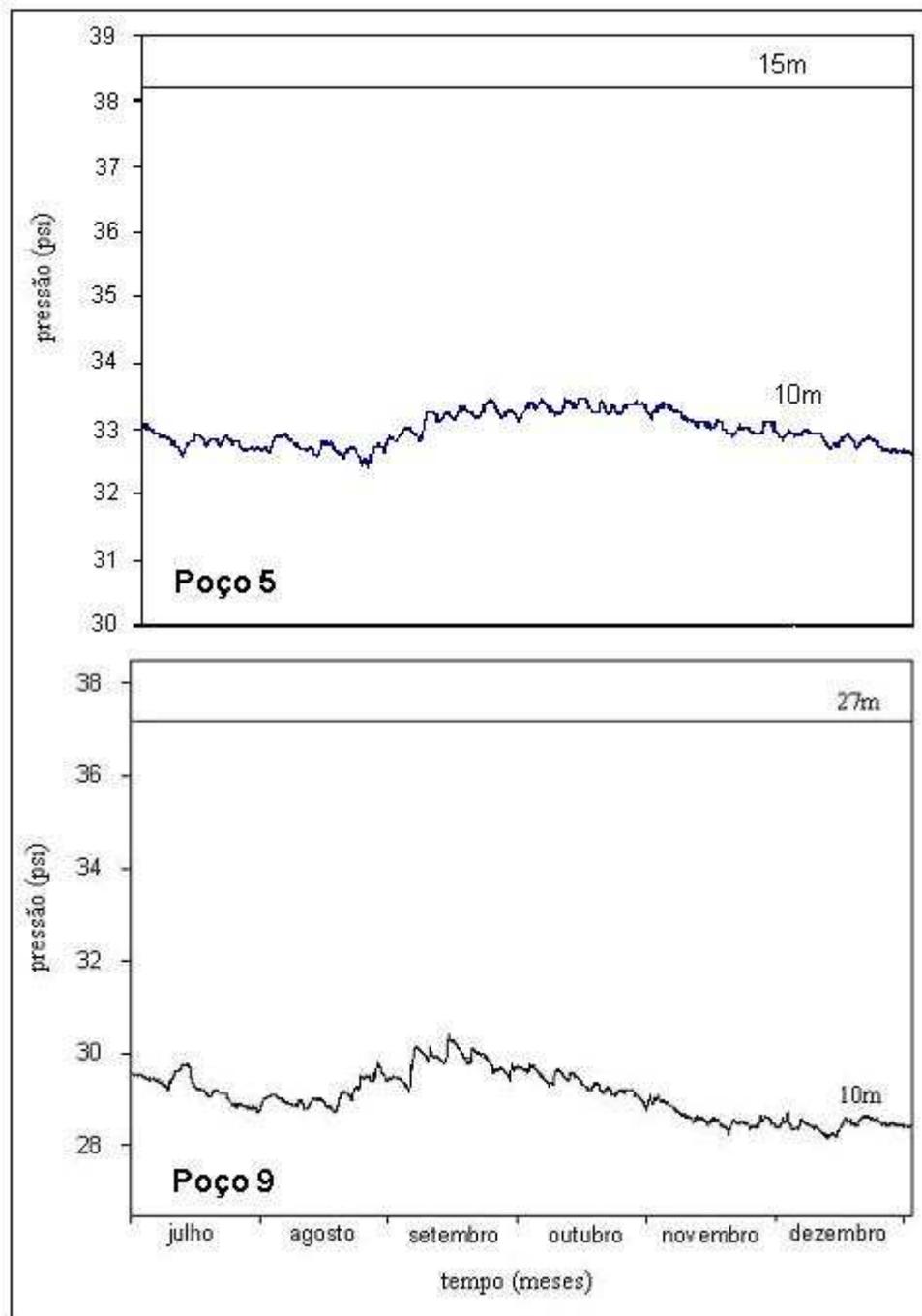


Figura 4.4 - Pressão hidrostática a 10m e a 15 e 27m ao longo de seis meses nos poços 5 e 9.

Essa constância corrobora com a informação de Cunha, 1997, de que existe uma camada impermeável, com condutividade hidráulica zero, separando assim os aquíferos suspenso e freático.

A constatação da presença da camada impermeável observada nos poços com profundidades superiores a 10m nas células central e sul, fizeram desta, uma camada limite inferior para os estudos que serão realizados. Acredita-se que o comportamento do fluxo

abaixo desta camada seja diferente do verificado acima, uma vez que esta limita a camada superior, funcionando desta forma como uma barreira para o movimento livre, propulsionando estas águas em direção ao oceano.

Para comparar o comportamento dos fluxos ocorrentes acima e abaixo da camada impermeável e, considerando-se o silicato um traçador destes fluxos (com concentrações diretamente proporcionais as velocidades de fluxos), comparou-se o comportamento das concentrações de silicato (Figura 4.5).

Na Figura 4.5 tem-se o comportamento das concentrações de silicato desconsiderando os dados obtidos a 15 m nas células central e sul (Figura 4.5 – de A até H), e considerando os dados obtidos a 15 m nas células central e sul (Figura 4.4 – de I até P).

Observa-se então, os dados de concentração de silicato de cada campanha amostral lado a lado, ou seja, os dados referentes à primeira campanha amostral correspondem aos indicados pelas letras A e I, indicando os dados sem os poços mais profundos das células central e sul e os dados incluindo os poços mais profundos, respectivamente. Comparando tais figuras torna-se visível as maiores concentrações existentes nos poços mais profundos e a diferença de comportamento nas maiores profundidades em relação às concentrações de silicato obtidas nas menores profundidades.

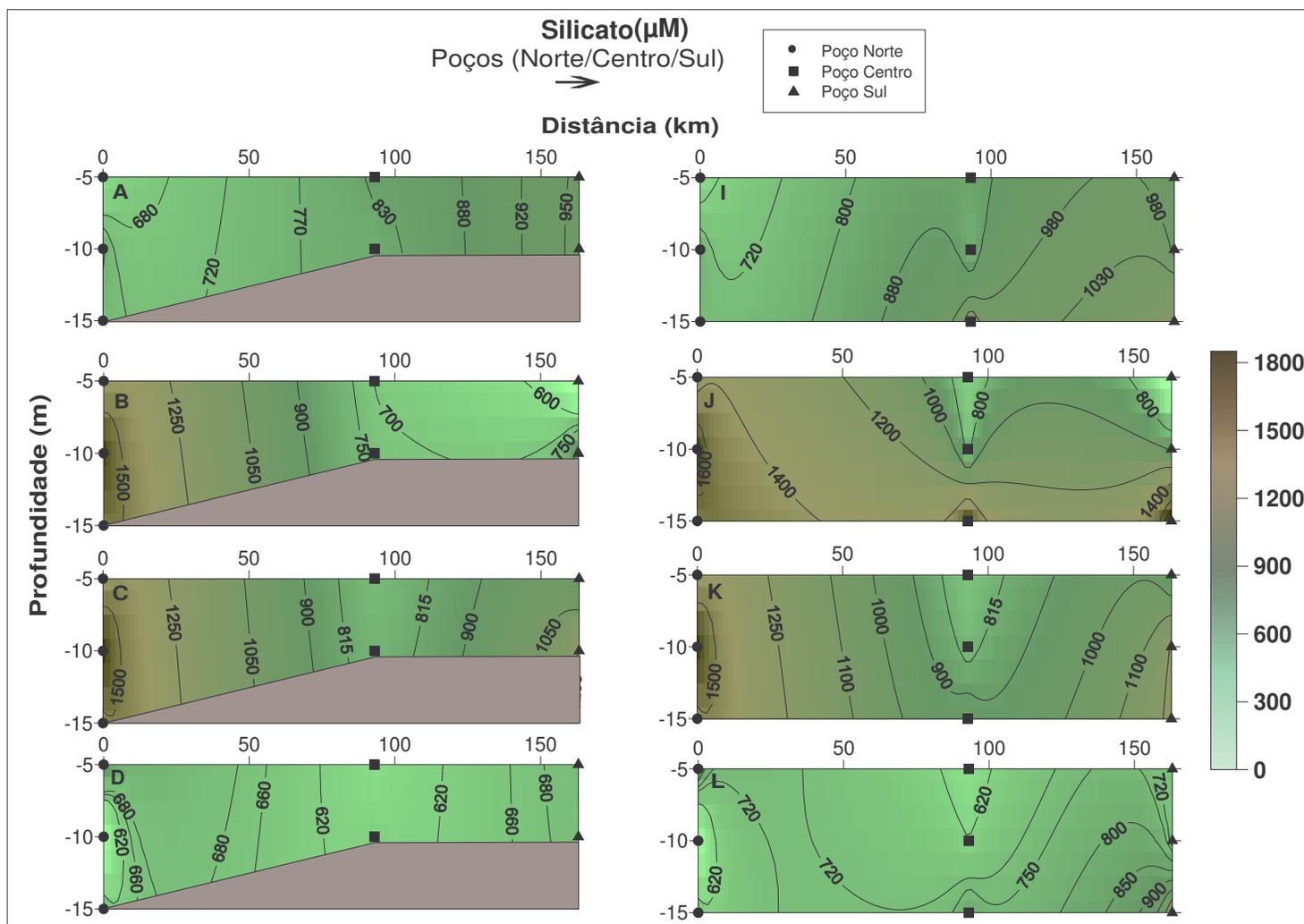


Figura 4.5– Concentração de Silicato (µM) nas quatro primeiras campanhas amostrais. À esquerda, encontram-se os dados de concentração sem os poços abaixo da camada impermeável. À direita, encontram-se os dados em todos os poços. Poços Norte/Centro/Sul indicam os poços de diferentes profundidades localizados nas regiões 1, 4 e 7 da Figura 4.2.

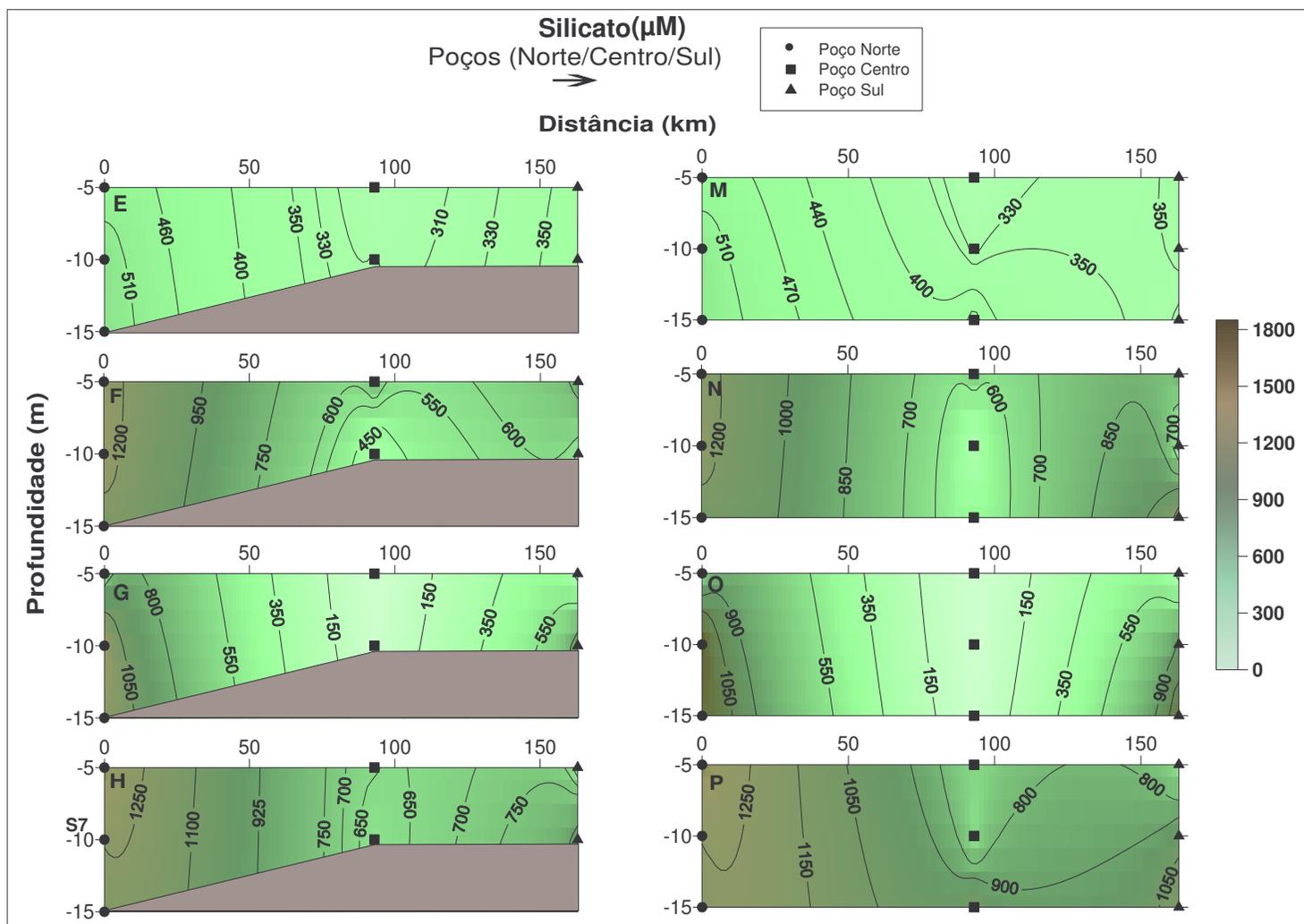


Figura 4.5 (continuação) – Concentração de Silicato (μM) nas quatro últimas campanhas amostrais. À esquerda, encontram-se os dados de concentração sem os poços abaixo da camada impermeável. À direita, encontram-se os dados de concentração em todos os poços.

Poços Norte/Centro/Sul indicam os poços de diferentes profundidades localizados nas regiões 1, 4 e 7 da Figura 4.2.

Com a Figura 4.6 pôde se avaliar o comportamento das concentrações de silicato ao longo das saídas onde verificou-se as maiores concentrações obtidas nos poços mais profundos (15 m) da região central (pc4) e sul (pc7). Já para os poços ao norte (pc 1) as maiores concentrações de silicato nos poços mais profundos não são observadas, uma vez que não se verifica a camada impermeável nesta região, estando portanto também sujeita aos mesmos processos ocorrentes nas outras profundidades.

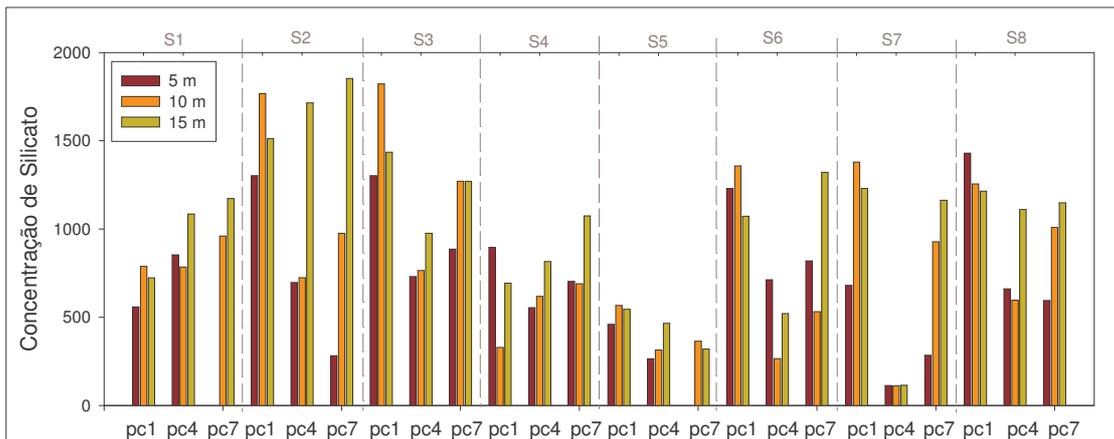


Figura 4.6 – Concentração de silicato (μM) nos poços 1, 4 e 7 (Norte, Centro e Sul).

Os maiores teores de silicato nos poços mais profundos das regiões central e sul foram verificados em praticamente todas as saídas. Quando as concentrações não se apresentaram superiores, estas se encontraram extremamente próximas as concentrações verificadas a 10m, o que indica que, de um modo geral, a presença da camada impermeável ajudou na ocorrência de maiores velocidades de fluxo subterrâneo, e conseqüentemente, contribuiu para os maiores teores de silicato presentes nestas águas.

Sendo assim, serão considerados a seguir dados obtidos acima da camada limite inferior, pois se assumiu que correspondem à superfície livre do lençol freático que reage de forma direta com as condições superficiais das águas da lagoa.

4.7.1.2 PRIMEIRA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 1)

De acordo com a Tabela 4.3, observa-se a ausência de chuva, na célula norte, no dia da coleta, e nos cinco dias anteriores. Porém, para as outras regiões, observa-se a existência de precipitação no dia da coleta (célula central) e no dia anterior à coleta (célula sul).

Tabela 4.3 – Precipitações ocorrentes em todas as saídas e nos cinco dias anteriores nas células sul (Rio Grande), central (Tavares) e norte (Mostardas).

Rio Grande	Tavares	Mostardas	Data	Saídas amostrais
6,4	0	0	26/10/2003	S1
0	37,1	0	27/10/2003	
0	0	0	28/10/2003	
0	0	0	29/10/2003	
0	0	0	30/10/2003	
0	0	0	31/10/2003	
13,6	14,7	0	01/11/2003	
0	0	16,6	02/11/2003	
0	0	0	02/01/2004	S2
0	0	0	03/01/2004	
0	0	0	04/01/2004	
0	0	0	05/01/2004	
0	0	0	06/01/2004	
0	0	0	07/01/2004	
0	0	0	08/01/2004	
0,2	0	0	09/01/2004	
0	0	0	25/03/2004	S3
0	0	0	26/03/2004	
0	0	0	27/03/2004	
0	0	1,3	28/03/2004	
0	0	0	29/03/2004	
0	0	0	30/03/2004	
0	0	0	31/03/2004	
0,6	0	0	03/07/2004	S4
0	0	0	04/07/2004	
0	0	0	05/07/2004	
0	0	0	06/07/2004	
0	0	0	07/07/2004	
0	0	2,7	08/07/2004	
0	0	0	09/07/2004	
0	0	0	10/07/2004	

0,3	0	0	09/10/2004	S5
0	0	0	10/10/2004	
0	0	0	11/10/2004	
0	0	0	12/10/2004	
98,9	0	6,8	13/10/2004	
0	0	2	14/10/2004	
0	0	0	15/10/2004	
1,1	0	0	26/11/2004	S6
1	0	0	27/11/2004	
0,4	0	0	28/11/2004	
0	0	0	29/11/2004	
0	0	0	30/11/2004	
0	10,2	0	01/12/2004	
0	0	0	02/12/2004	
0	0	0	03/12/2004	
0	0	1,1	14/02/2005	S7
0	0	0	15/02/2005	
1,3	0	3,2	16/02/2005	
0	0	0	17/02/2005	
0	0	5,1	18/02/2005	
1,6	2	0	19/02/2005	
0	0	0	20/02/2005	
0	0	0	21/02/2005	
0,2	0	0	23/06/2005	S8
0,1	0	0	24/06/2005	
0,2	0	0	25/06/2005	
1,8	6,7	12,5	26/06/2005	
0,2	0	0	27/06/2005	
0	0	3	28/06/2005	
0	0	0	29/06/2005	
0	0	0	30/06/2005	

Utilizou-se aqui cinco dias para informação das condições climáticas no período das coletas, porém devido a constatação de uma influência direta da precipitação nos níveis dos poços (capítulo anterior) e ao fato de se estar estudando poços pouco profundos (profundidade máxima de 15m), a influência da precipitação tendo relação direta com o aumento na concentração de silicato será verificada no máximo considerando sua presença um dia anterior à coleta.

A primeira coleta considerada foi realizada no período de 31/10/2003 a 02/11/2003 e caracterizou a primavera. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa estava da seguinte forma:

- ✓ **Rio Camaquã** = vazão alta.
- ✓ **Rio Jacuí** = vazão acima da média.
- ✓ **Rio Taquari** = vazão média

As coletas foram realizadas da direção norte para a sul. Os poços localizados ao norte foram amostrados no dia 31, os poços centrais no dia 01 e os poços ao sul no dia 02.

As vazões dos rios Jacuí e Taquari apresentaram, neste período, valores acima da média das vazões de todos os períodos de coleta. Quando a coleta de água subterrânea foi feita na região norte, havia predominância de vento nordeste (Figura 4.7) no dia da coleta e nos três dias anteriores. Tal vento facilita o regime de vazante nas águas superficiais da lagoa e permite um menor tempo de residência destas.

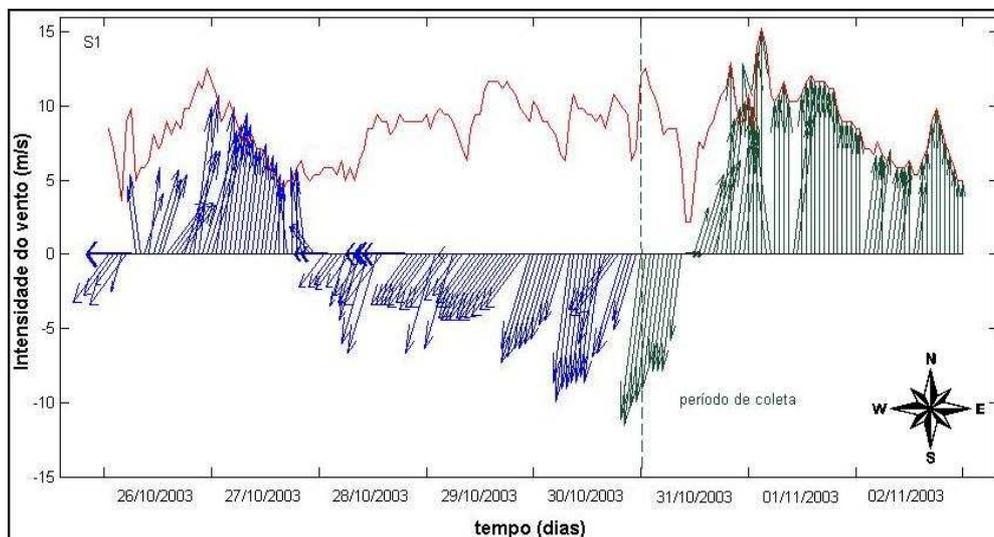


Figura 4.7 - Intensidade (m/s) e direção do vento na saída 1. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

De acordo com Castelão & Möller (2003), o vento nordeste, atuando sobre a região central da lagoa (região onde se localizam todos os conjuntos de poços), gera um transporte de águas em direção ao sul.

Observando o comportamento dos níveis de Arambaré e do Laranjal ao longo de todas as saídas (Figura 4.8 - gráfico superior), nota-se que o nível de Arambaré normalmente encontra-se inferior ao do Laranjal, tal fato se deve à ausência de afluentes atuando diretamente nesta região, uma vez que toda água que chega a Arambaré provém do norte.

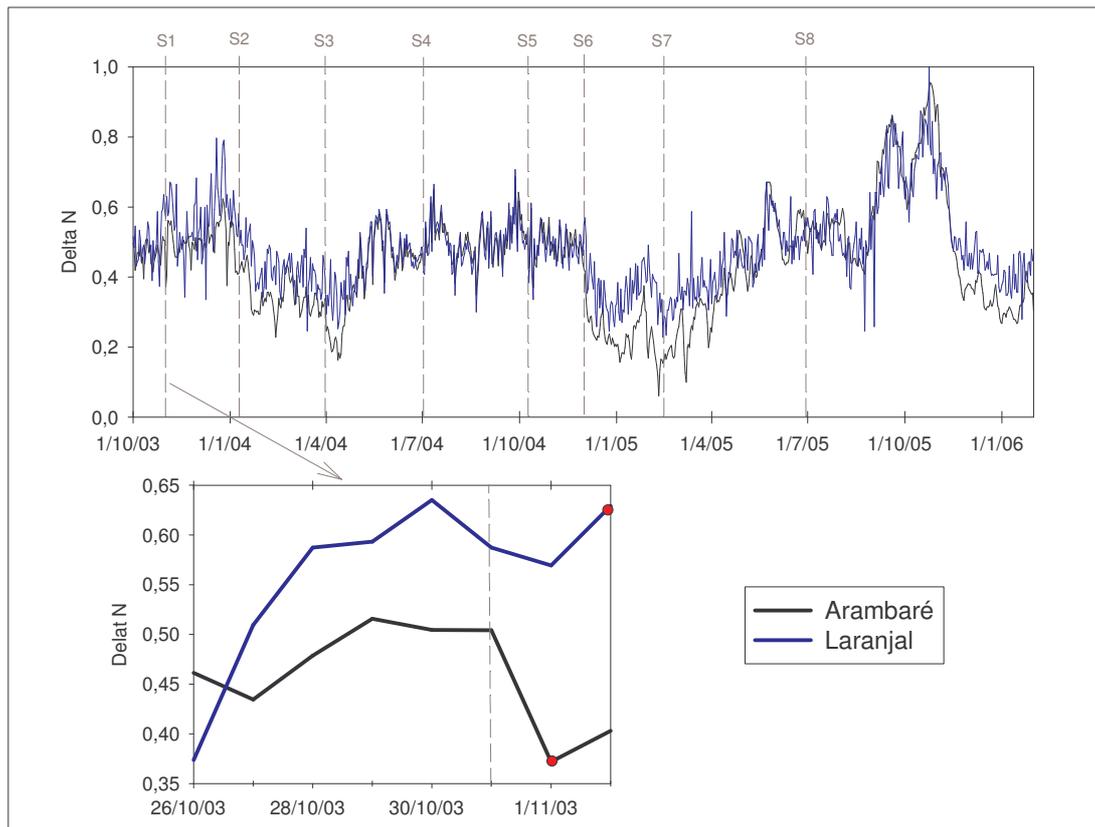


Figura 4.8 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S1 indica o nível na saída 1 e
 ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Já em Laranjal observa-se a interferência do rio Camaquã e do canal São Gonçalo, o que justifica os valores de nível mais elevados. Por este motivo, espera-se encontrar, ao longo de todas as saídas, valores mais elevados na concentração de silicato nas águas do lençol freático da célula sul, do que da central, salvo diante da interferência da precipitação. Tal afirmação se justifica em virtude da hipótese em estudo, que se baseia nas condições da água superficial da lagoa interferirem de forma direta na velocidade do fluxo subterrâneo, e com isso, na concentração de silicato presente nestas águas. A grande influência da descarga fluvial ao norte (superior à descarga do sul) permite que se espere encontrar concentrações ainda mais elevadas de silicato nesta região em relação ao sul. Portanto, o perfil de concentração de silicato previsto para as águas subterrâneas, corresponde à maiores concentrações ao norte, menores na região central e novamente deve se verificar um aumento na concentração de silicato ao sul, porém em menores proporções que ao norte. Em todas as saídas, o perfil previsto será avaliado levando-se em consideração a hipótese acima detalhada.

Possíveis alterações de tal perfil poderão surgir, e suas causas serão o foco das discussões para cada saída.

De acordo com os dados de nível (Figura 4.8 – gráfico inferior), observou-se uma depressão no nível da lagoa em Arambaré (célula central). Devido à ausência de descarga fluvial nesta região, tal depressão provavelmente deve-se à presença de ventos do quadrante norte de forte intensidade nos dias anteriores à coleta indicando que possivelmente a presença de vento do quadrante sul no dia da coleta, não foi suficiente para vencer a inércia criada no sistema pelos dias anteriores de vento nordeste.

Para a célula sul, observa-se que, além das elevadas vazões do rio Camaquã, as condições climáticas favoreceram um aumento no nível da lagoa, evidenciando um aumento da descarga do canal São Gonçalo nesta região. Segundo Fernandes e Niencheski (1998), a ação de vento sul induz o aporte de água doce da Lagoa Mirim na região estuarina através do canal São Gonçalo.

Portanto, tem-se, ao norte, entrada de água dos rios Jacuí e Taquari com vazões acima da média e com condições climáticas favorecendo a depressão do nível nesta célula, no centro houve uma depressão no nível no dia da coleta e ao sul, juntamente com as elevadas vazões do rio Camaquã, houve aumento no nível da lagoa.

Observando-se os dados de concentração de silicato nos poços das três regiões (Figura 4.5 - A), verifica-se uma menor concentração ao norte, quando comparada às concentrações obtidas no centro e no sul.

Devido às maiores descargas de água doce através da lagoa provirem do norte, que contribui com cerca de 85% de toda água doce que abastece a lagoa (Windom, et al, 2000) e ao fato desta região apresentar vazões acima da média no período em estudo, esperava-se que na região norte se encontrassem águas com maiores concentrações de silicato. Provavelmente isso deva ocorrer na maior parte do tempo. Porém, um dado importante ainda deve ser avaliado. Trata-se da precipitação, que como foi visto anteriormente, junto com a água da Lagoa dos Patos, contribui de forma satisfatória para a recarga do aquífero subterrâneo, e agora sua influência na contribuição de silicato para camadas inferiores (lençol freático) passa a ser avaliada.

De acordo com a Tabela 4.5, observa-se a ausência de chuva, na célula norte, no dia da coleta, e nos cinco dias anteriores. Porém, para as outras regiões, observa-se a existência de precipitação no dia da coleta (célula central) e no dia anterior à coleta (célula sul).

Utilizou-se aqui cinco dias para informação das condições climáticas no período das coletas, porém devido a constatação de uma influência direta da precipitação nos níveis dos

poços (capítulo anterior) e ao fato de estar se estudando poços pouco profundos (profundidade máxima de 15m), a influência da precipitação tendo relação direta com as aumento na concentração de silicato será verificada no máximo considerando sua presença um dia anterior à coleta.

Na presente saída, observa-se uma concentração crescente de silicato do norte para o sul. A ausência de precipitação na região norte justifica as menores concentrações de silicato obtidas nesta região em relação às demais. Para a região central, uma vez que o nível da lagoa apresentou-se baixo, e, devido à ausência de afluentes nesta região, esperava-se que as concentrações de silicato obtidas fossem inferiores às concentrações das demais células. Porém, a presença da precipitação verificada no dia da coleta, justifica as elevadas concentrações de silicato obtidas. Já ao sul, as elevadas concentrações de silicato se justificam não apenas pela influência da chuva verificada no dia anterior, mas também pela alta vazão do rio Camaquã e pelo aumento do nível verificado na célula sul, indicando assim que a influência do vento do quadrante sul, observado no dia da coleta, não conseguiu vencer a inércia criada pela predominância de vento do quadrante norte nos dias anteriores. Tal vento é responsável pela elevação do nível no Laranjal observada no dia da coleta.

4.7.1.3 SEGUNDA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 2)

A segunda coleta considerada foi realizada no período de 07/01/2004 a 09/01/2004 e caracterizou o verão. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte maneira:

- ✓ Rio Camaquã = vazão alta.
- ✓ Rio Jacuí = vazão alta (maior vazão de todos os períodos de coleta).
- ✓ Rio Taquari = vazão alta (maior vazão de todos os períodos de coleta).

As coletas foram feitas da direção norte para a sul, nas células norte, central e sul, respectivamente. Os poços localizados ao norte foram amostrados no dia 07, os poços centrais no dia 08 e os poços ao sul no dia 09.

As vazões dos rios Jacuí e Taquari ao norte e do rio Camaquã ao sul apresentaram-se, portanto, elevadas neste período.

Havia predominância de vento nordeste em todos os dias da coleta e nos dias anteriores (Figura 4.9).

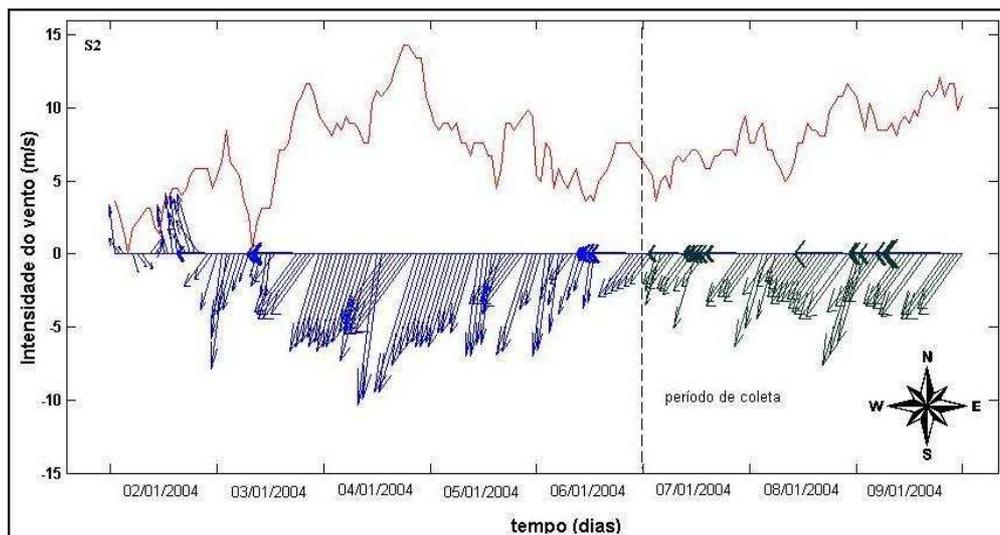


Figura 4.9 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 2. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

De acordo com Castelão & Möller (2003), tal vento acaba por gerar um abaixamento do nível médio da Lagoa dos Patos. Apesar de se observar, no período em que se iniciou a predominância de vento nordeste, uma elevação do nível no sul (Figura 4.10), observou-se após, uma depressão em tal nível, exatamente de acordo com comportamento descrito pelos autores acima citados, o que indica haver uma depressão no nível da lagoa em todas as células. Este padrão de vento diminui o tempo de residência das águas superficiais da lagoa (Pereira & Niencheski, 2004) e acaba por contribuir para um aumento na velocidade destas águas em direção ao sul.

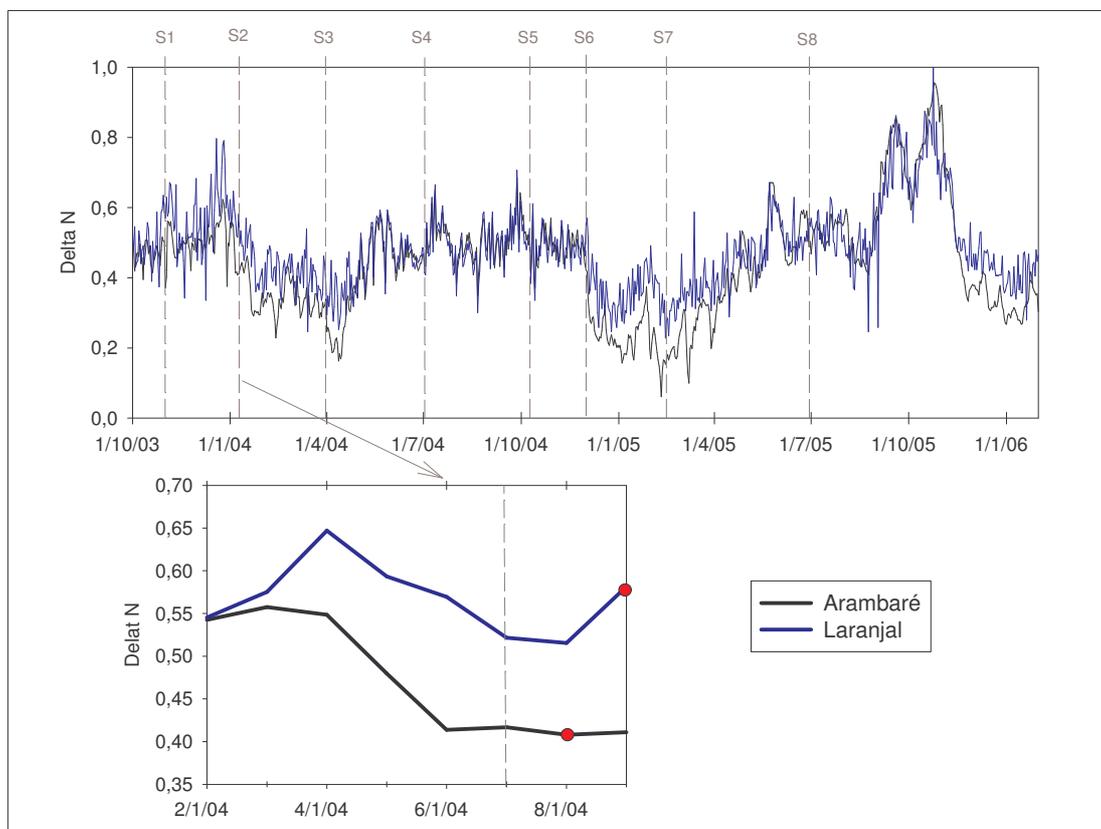


Figura 4.10 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S2 indica o nível na saída 2 e

● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Acredita-se que a existência de elevadas vazões e ventos que contribuam para um aumento na velocidade das águas superficiais em direção ao sul, forneçam condições favoráveis ao aumento na velocidade de percolação da água no sedimento, tendo como resultado, concentrações elevadas de silicato (atingindo valores superiores a 1500 μM).

Portanto tem-se, no norte, vazões elevadas dos rios Jacuí e Taquari, e, condições climáticas favorecendo velocidades altas no fluxo destas águas. Provavelmente, velocidades elevadas também ocorram na região central, porém, sem a influência direta de afluentes. Para o sul, observa-se juntamente com as elevadas vazões do rio Camaquã, condições climáticas semelhantes às anteriores. Em relação ao nível, a célula sul apresenta nível em torno da média ($\Delta N \approx 0,5$), o que indica prováveis valores médios de vazões do São Gonçalo para a Lagoa dos Patos.

Devido às maiores descargas de água doce através da lagoa provirem do norte, da região intermediária não possuir descargas diretas, e devido ao sul também ser influenciado por descargas de água doce, porém em menores proporções que as do norte, o comportamento das concentrações de silicato mostrado na Figura 4.5 - B condiz com as condições esperadas em relação aos fluxos observados nas águas superficiais da lagoa.

As elevadas concentrações de silicato ao norte justificam as concentrações de silicato também elevadas na célula central, uma vez que, estando as águas superficiais destas duas células sujeitas as mesmas condições climáticas (mesmos padrões de vento) e não existindo na região central consideráveis aportes da água doce a não ser os advindos do norte, os fluxos superficiais elevados no norte contribuem para que no sul, os fluxos também sejam elevados. Por conseqüência, as concentrações de silicato nesta célula também se mostraram altas, porém, inferiores às da célula norte. No sul, observa-se um aumento na concentração de silicato quando comparada às concentrações obtidas na célula central da lagoa, justificado, pela contribuição do rio Camaquã, com elevadas vazões. Portanto, nesta saída, observou-se elevada concentração de silicato na água subterrânea, justificada pelos fluxos superficiais da lagoa, que acabaram por fornecer a força motriz necessária para a existência de velocidades de percolação elevadas.

Não se observou precipitação nos dias das saídas, nem nos cinco dias anteriores a elas (Tabela 4.5).

4.7.1.4 TERCEIRA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 3)

A terceira coleta considerada foi realizada no período de 30/03/04 a 31/03/04 e caracterizou o outono. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte forma:

- ✓ Rio Camaquã = vazão baixa.
- ✓ Rio Jacuí = vazão baixa.
- ✓ Rio Taquari = vazão baixa.

As coletas foram feitas da direção norte para a sul. Os poços localizados ao norte e os poços centrais foram amostrados no dia 30, e os poços ao sul no dia 31.

Observa-se portanto que os rios Jacuí e Taquari ao norte e o rio Camaquã ao sul apresentaram baixas vazões neste período.

Porém, apesar das baixas vazões, altas concentrações de silicato nas águas do lençol freático em estudo foram observadas (Figura 4.5 - C).

Como dito anteriormente, diante de vazões baixas, a ação do vento corresponde à principal forçante, que determina as direções de fluxo das águas superficiais da Lagoa dos Patos. Por tal motivo, as altas concentrações de silicato verificadas nas águas subterrâneas, provavelmente ocorreram devido à ação do vento sobre as águas superficiais desta lagoa, que geraram uma força motriz responsável por elevados fluxos subterrâneos. Observa-se a predominância de vento nordeste nos dias das saídas e nos dois dias anteriores (Figura 4.11). A influência deste padrão de vento também ocorreu na saída anterior. Porém, mesmo diante de vazões superiores, acredita-se que a predominância concomitante de vento leste na referida saída tenha contribuído para valores inferiores de concentração de silicato, em relação aos obtidos na presente saída.

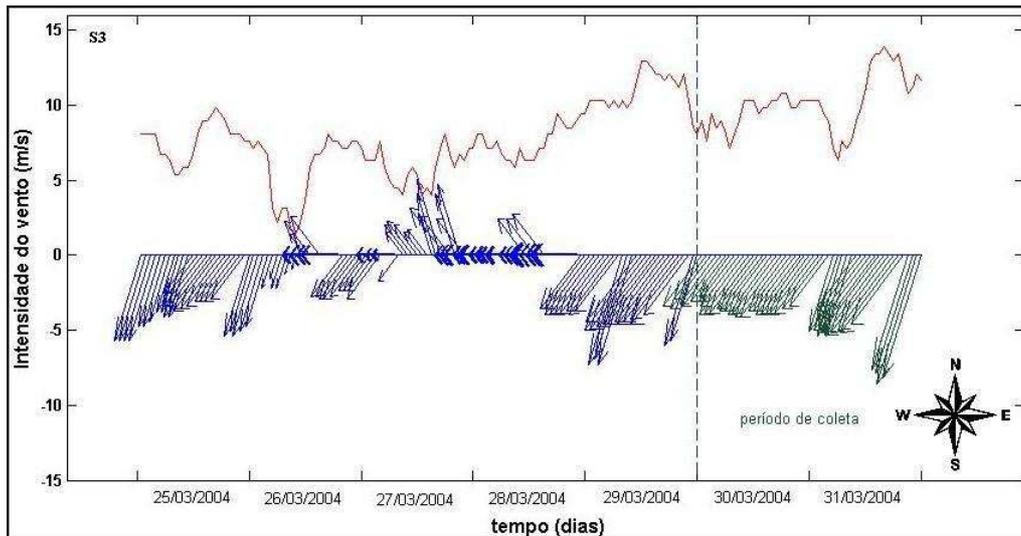


Figura 4.11 - Intensidade (m/s) e direção do vento na saída 3. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

O vento do quadrante norte empurra as águas superficiais em direção ao sul, fornecendo desta forma, condições que contribuem para o aumento na velocidade de percolação da água no sedimento. Na saída anterior verifica-se a presença de vento oeste nos dias em que foram realizadas as coletas (Figura 4.9). Tal vento empurra as águas na direção oposta à região dos poços, tendo como resultado concentrações inferiores, porém ainda elevadas, de concentração de silicato.

A influência da predominância de vento norte sobre as águas superficiais pode ser ainda verificada de acordo com o comportamento do nível da lagoa na célula central, observando-se baixo nível médio em Arambaré e na célula sul, onde se constata um aumento considerável do nível no mesmo período em que se reinicia a predominância de vento nordeste (Figura 4.12). Tais comportamentos, nos níveis das duas células, correspondem ao procedimento descrito por (Castelão e Möller, 2003) diante da predominância de vento nordeste.

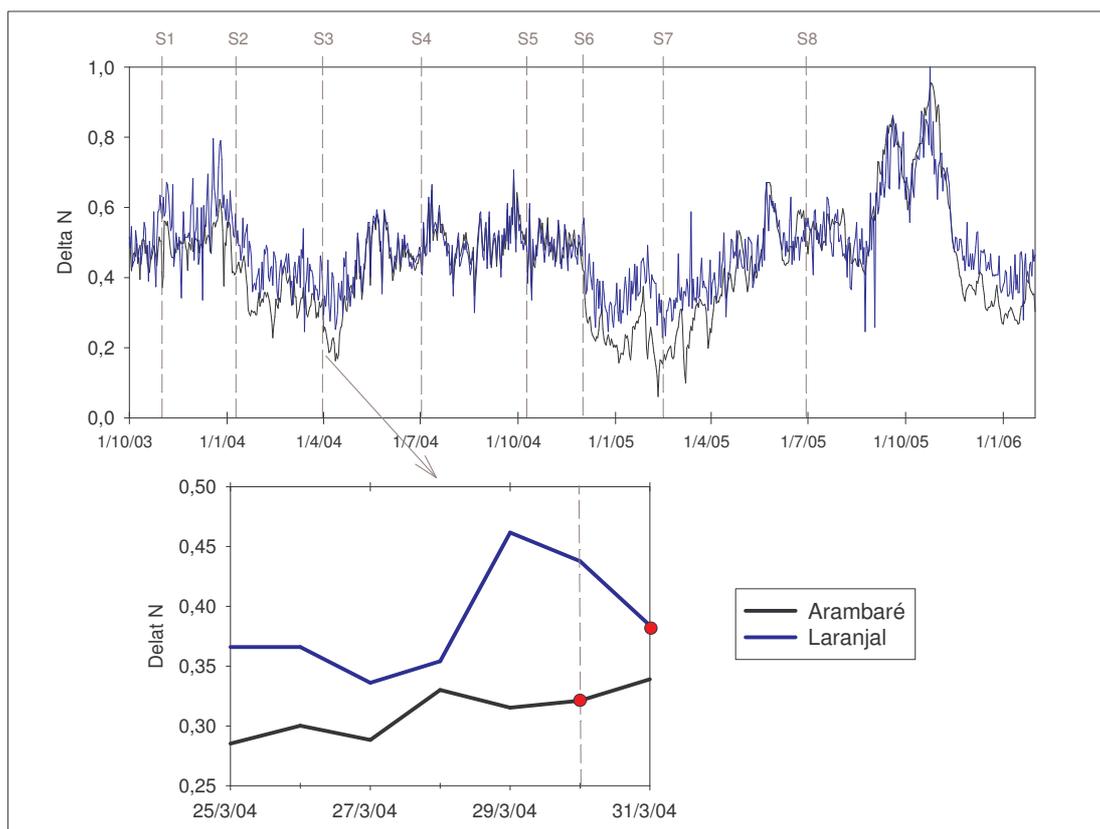


Figura 4.12 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S3 indica o nível na saída 3 e ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Como na saída anterior, não se verificou contribuição da precipitação nesta saída (Tabela 4.5).

4.7.1.5 QUARTA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 4)

A quarta coleta considerada foi realizada no período de 08/07/04 a 10/07/04 e caracterizou o outono. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte forma:

- ✓ Rio Camaquã = vazão acima da média
- ✓ Rio Jacuí = vazão média
- ✓ Rio Taquari = vazão média

As coletas foram feitas da direção norte para a sul. Os poços localizados ao norte foram amostrados no dia 08, os poços centrais no dia 09 e os poços ao sul no dia 10.

Observa-se então que, as vazões dos rios Jacuí e Taquari, ao norte, e do rio Camaquã, ao sul, apresentaram-se em torno da média de todos os períodos.

Nesta saída não se observou predominância de uma componente meridional (norte-sul) do vento como nas saídas anteriores. Nota-se aqui variação na direção do vento nos dias das saídas e nos dias anteriores (Figura 4.13).

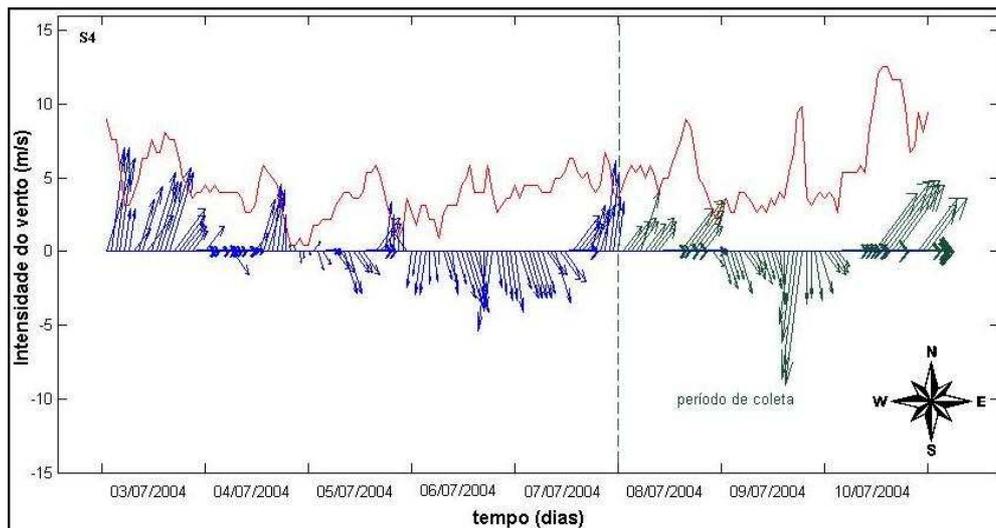


Figura 4.13 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 4. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

Como a ação do vento sul gera no sistema um regime de fluxo enchente e vento do quadrante norte um regime de fluxo vazante, na região onde estas massas de água se encontram ocorre um desequilíbrio na estrutura das camadas inferior e superior da lagoa (Fernandes & Niencheski, 1998). Tal fato justifica o comportamento observado no nível da lagoa na região central e na região sul (Figura 4.14), onde não se observa variação entre os níveis das duas regiões, indicando que a ação do vento neste período, influenciou de forma semelhante às duas células da lagoa.

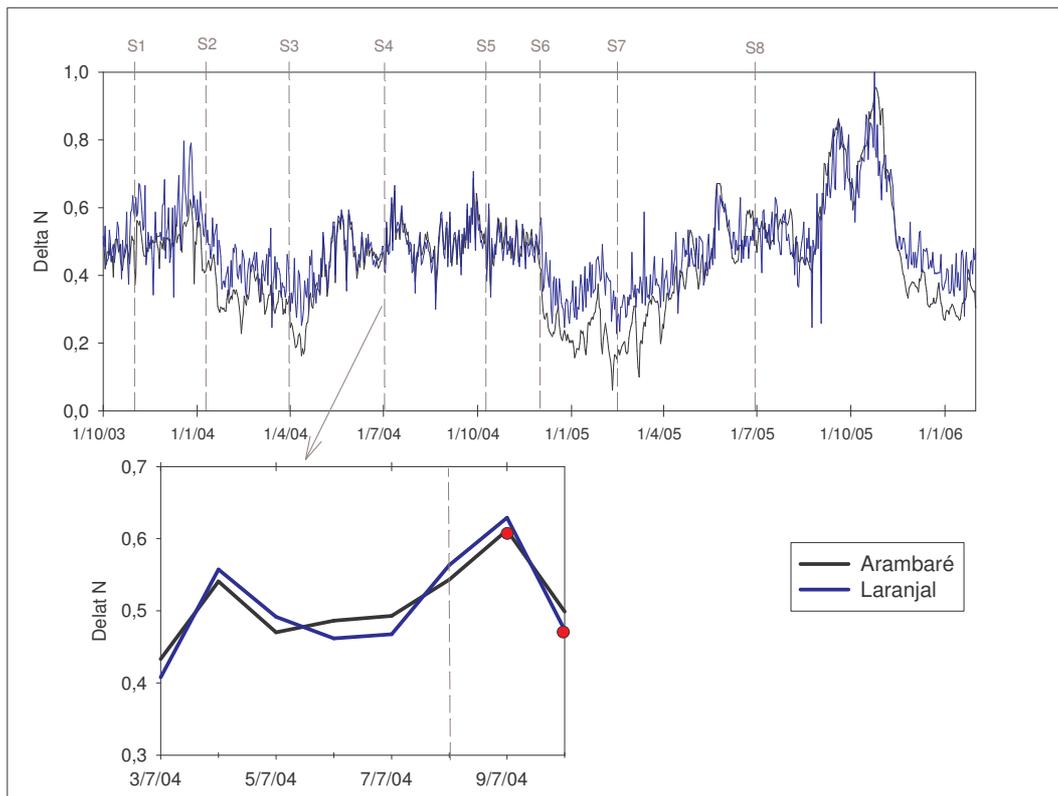


Figura 4.14 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S4 indica o nível na saída 4 e ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Provavelmente aqui, devido a ausência de uma direção predominante de vento, este não conseguiu transferir energia suficiente para o sistema, não permitindo assim, um transporte de água para uma direção específica. Sendo a região central, considerada uma região nodal entre os níveis da lagoa do norte e do sul quando influenciados pela ação do vento (Castelão & Möller, 2003), acredita-se que o nível na região norte seja semelhante aos demais (central e sul) neste período. Portanto, acredita-se que o nível da Lagoa dos Patos (na região intermediária em estudo) não apresente diferenças consideráveis entre uma célula e

outra, com comportamento do nível dominado pela ação dos ventos. Indicando assim, uma força motriz para o fluxo subterrâneo semelhante em todas as células, o que acaba por gerar concentrações de silicato próximas entre si em todas as regiões (Figura 4.5 - D).

Apesar de se observar concentrações praticamente constantes de silicato ao longo de todo o perfil longitudinal, nota-se uma elevação desta concentração verificada na superfície da região norte. Tal fato provavelmente se deve à precipitação verificada no dia da coleta em tal região (Tabela 4.5).

O aumento suave na concentração de silicato se justifica devido à baixa taxa pluviométrica observada.

Um fato importante a ser considerado corresponde à predominância de vento do quadrante oeste (Figura 4.13), responsável por empurrar as águas da lagoa na direção dos poços. Desta forma, tal direção de vento deve contribuir de forma positiva na velocidade de percolação da água no sedimento.

4.7.1.6 QUINTA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 5)

A quinta coleta considerada foi realizada no período entre 14/10/04 e 15/10/04 e caracterizou a primavera. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte forma:

- ✓ Rio Camaquã = vazão elevada
- ✓ Rio Jacuí = vazão acima da média
- ✓ Rio Taquari = vazão acima da média

As coletas foram feitas da direção norte para a sul. Os poços localizados ao norte foram amostrados no dia 14 e os poços centrais e o sul no dia 15.

Portanto, observa-se que as descargas dos rios Jacuí e Taquari ao norte e do rio Camaquã ao sul apresentaram-se elevadas para este período considerado.

Nesta saída não se observou predominância de uma componente meridional (norte-sul) nem de uma componente zonal (leste-oeste) do vento. Portanto, tem-se variação na direção do vento em todos os sentidos nos dias das saídas e nos dias anteriores (Figura 4.21).

Pelos motivos justificados na saída anterior, devido à ausência de um padrão de vento sobre as águas superficiais da lagoa, os níveis das células central e sul apresentaram comportamentos semelhantes (Figura 4.15).

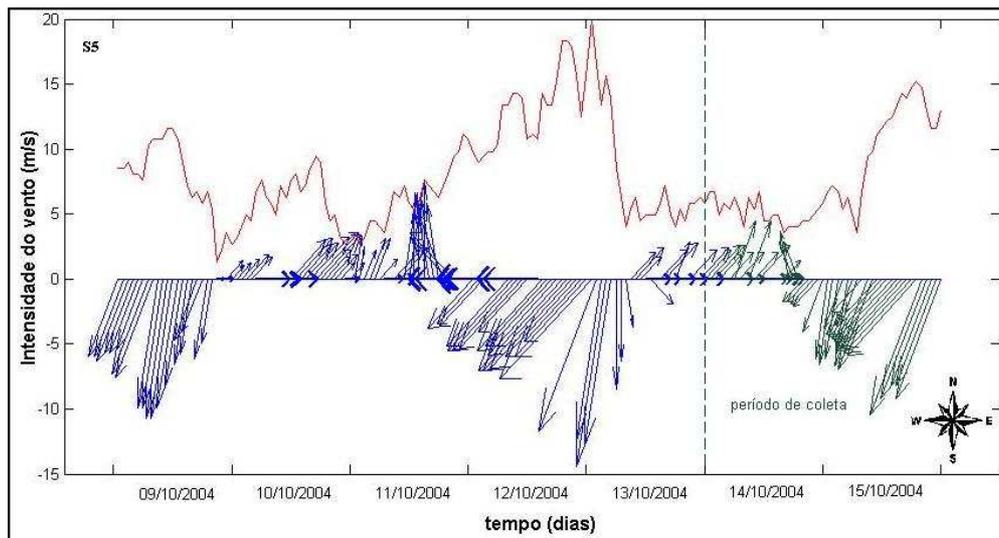


Figura 4.15 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 5. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

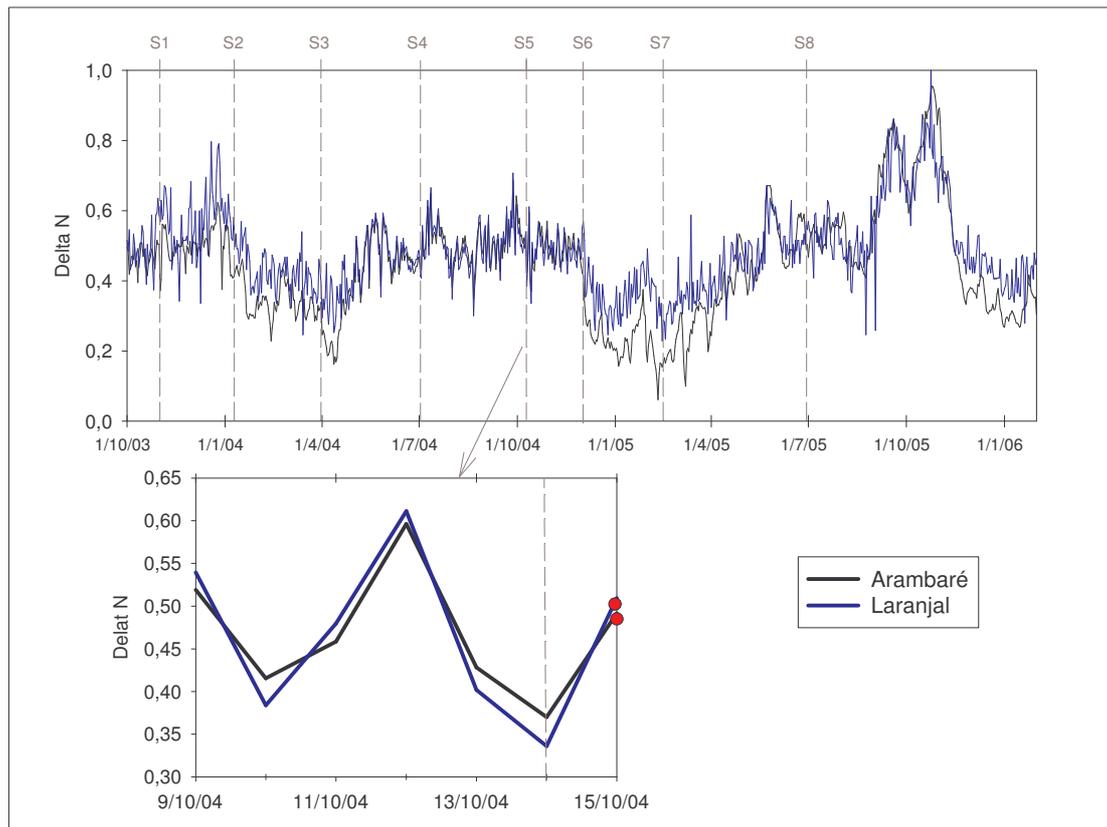


Figura 4.16 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S5 indica o nível na saída 5 e ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Provavelmente aqui, devido à ausência de uma direção predominante de vento, também não ocorreu transporte de água para uma direção específica, ficando o nível da Lagoa dos Patos sem diferenças consideráveis entre uma célula e outra, com comportamento do nível dominado pela ação dos ventos. Indicando assim, o mesmo comportamento em termos de fluxo subterrâneo sugerido na saída anterior, ou seja, a existência de uma força motriz semelhante em todas as células, o que acaba por gerar concentrações de silicato próximas em todas as regiões na ausência de influência da precipitação. De acordo com a Figura 4.5 - E, observa-se um comportamento praticamente constante nas concentrações de silicato das células central e sul. Porém, na célula norte, a concentração de silicato apresentou-se superior às das outras células.

A existência de pequenas taxas pluviométricas (Tabela 4.5) no dia da coleta e no dia anterior contribuiu com o aumento da concentração de silicato na água subterrânea da célula norte, justificando assim os valores superiores de silicato aqui verificados.

Para a região sul, observa-se um grande volume de precipitação dois dias antes da coleta. Como já dito anteriormente, chuvas torrenciais, como a observada na região sul, favorecem o escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração é inferior ao grande volume de água precipitada, justificando assim, a ausência da influência da precipitação na concentração de silicato, uma vez que, as altas taxas pluviométricas foram verificadas somente dois dias antes da coleta.

Ao contrário, chuvas regularmente distribuídas, (como visto na região norte), promovem uma infiltração maior, pois, desta maneira, a velocidade de infiltração acompanha o volume de precipitação (Karmann, 2000).

Apesar das elevadas descargas fluviais na lagoa, tanto ao norte quanto ao sul, observa-se baixas concentrações de silicato na água subterrânea, quando comparadas às obtidas na saída anterior. Acredita-se que tal fato se deva ao domínio das condições meteorológicas sobre o nível e sobre as direções de fluxos superficiais da lagoa. Apesar das descargas fluviais observadas na presente saída apresentarem-se relativamente superiores as descargas da saída anterior, as condições do vento corresponderam ao fator determinante para as concentrações de silicato verificadas nas águas do lençol freático. Sendo, portanto, a predominância de vento do quadrante oeste responsável pelas maiores concentrações de silicato verificadas na saída anterior, uma vez que, como dito anteriormente, acredita-se que tal direção de vento contribua de forma positiva na velocidade de percolação da água no sedimento.

4.7.1.7 SEXTA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 6)

A sexta coleta considerada foi realizada no período entre 01/12/04 a 03/12/04 e caracterizou a primavera. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte forma:

- ✓ Rio Camaquã = vazão média.
- ✓ Rio Jacuí = vazão média.
- ✓ Rio Taquari = vazão média.

As coletas foram feitas do sul para o norte. Os poços localizados ao sul foram amostrados no dia 01, os poços centrais no dia 02 e os poços ao norte no dia 03.

As descargas fluviais provindas tanto do norte quanto do sul apresentaram vazões médias.

Nos dias anteriores às coletas, observou-se a ocorrência de ventos do quadrante sul de baixa intensidade (Figura 4.17). Já um dia antes da primeira coleta, ocorrida nos poços da célula sul, observa-se suaves tendências de vento nordeste, que predominou após, com elevadas intensidades, em todas as saídas.

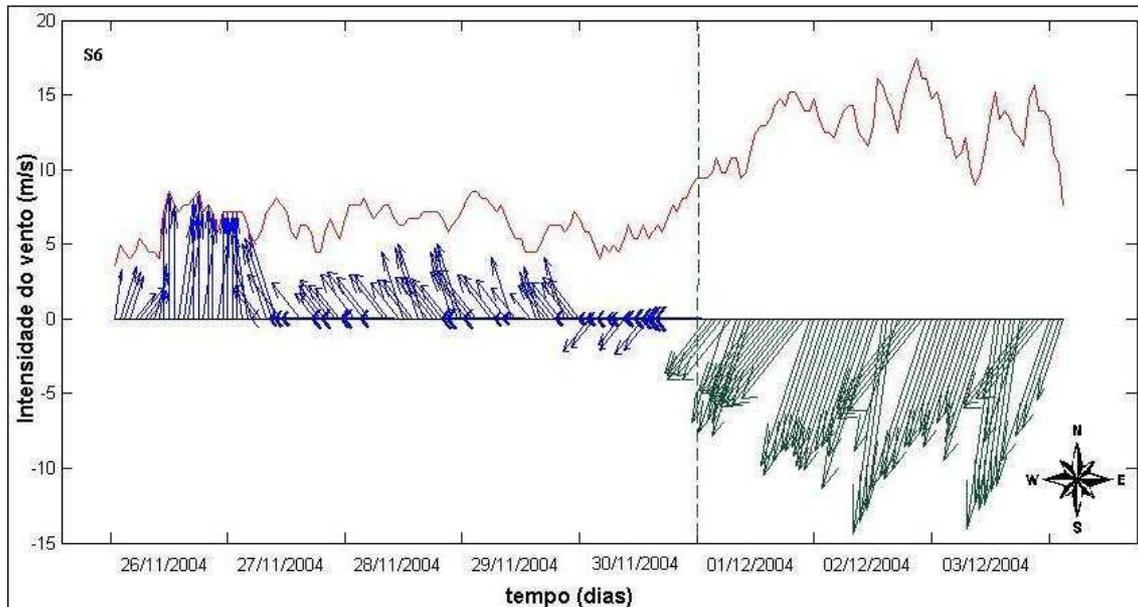


Figura 4.17 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 6. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

De acordo com o comportamento do nível da lagoa a partir do dia da primeira coleta (Figura 4.18), observa-se a influência do vento nordeste, uma vez que, a ação inicial deste padrão de vento tem como consequência a elevação do nível ao sul (Laranjal) e a depressão do nível em Arambaré (Castelão e Möller, 2003).

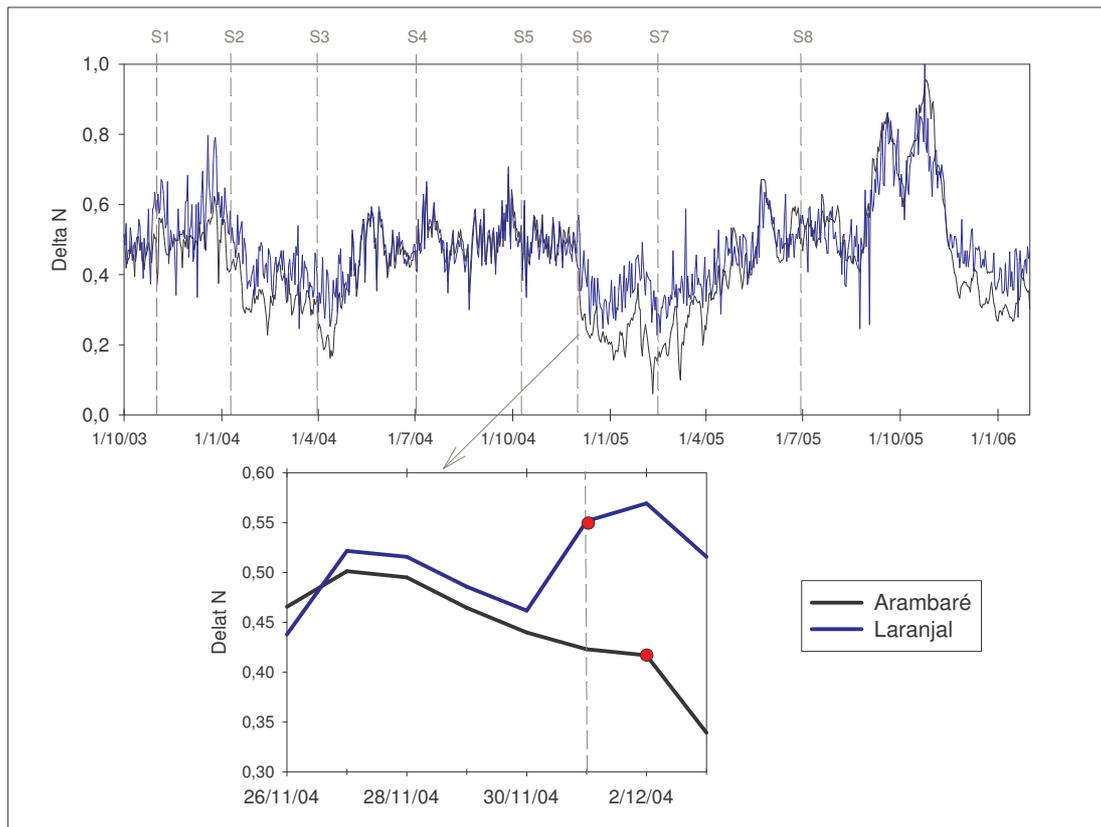


Figura 4.18 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S6 indica o nível na saída 6 e ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Devido à intensidade do vento no dia da coleta e a ocorrência deste no dia anterior, constata-se, a partir dos dados de nível, que tal vento conseguiu transferir energia suficiente ao sistema, de modo a influenciar o movimento das águas superficiais da lagoa. Acredita-se que tal vento, por direcionar a massa de água para o sul, aumentando, desta forma, a velocidade dos fluxos, seja o responsável pelas maiores concentrações de silicato observadas.

Devido à predominância do vento nordeste, de intensidade elevada, ter início juntamente com a realização da primeira coleta, ao sul, e por se observar diante deste padrão de vento as maiores concentrações de silicato, atribui-se a ocorrência de maiores concentrações de silicato nas camadas superiores da célula sul (Figura 4.5 - J) à mudança de direção predominante de vento ocorrida neste período. Já ao norte, devido à predominância de vento nordeste por tempo suficiente, observou-se concentrações de silicato constantes ao longo do perfil vertical.

Em termos de precipitação, observou-se a ocorrência somente na região central, o que justifica as maiores concentrações de silicato observadas nas camadas mais superficiais desta célula.

4.7.1.8 SÉTIMA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 7)

A sétima coleta considerada foi realizada no período entre 19/02/05 a 21/02/05 e caracterizou o verão. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte forma:

- ✓ Rio Camaquã = vazão mínima.
- ✓ Rio Jacuí = vazão mínima.
- ✓ Rio Taquari = vazão mínima.

As coletas foram feitas do norte para o sul. Os poços localizados ao norte foram amostrados no dia 19, os poços centrais no dia 20 e os poços ao sul dia 21.

Observa-se predominância de vento do quadrante sul nos dias anteriores e no primeiro dia de coleta e fracos e não predominantes ventos do quadrante norte nos dois últimos dias de coleta (Figura 4.19).

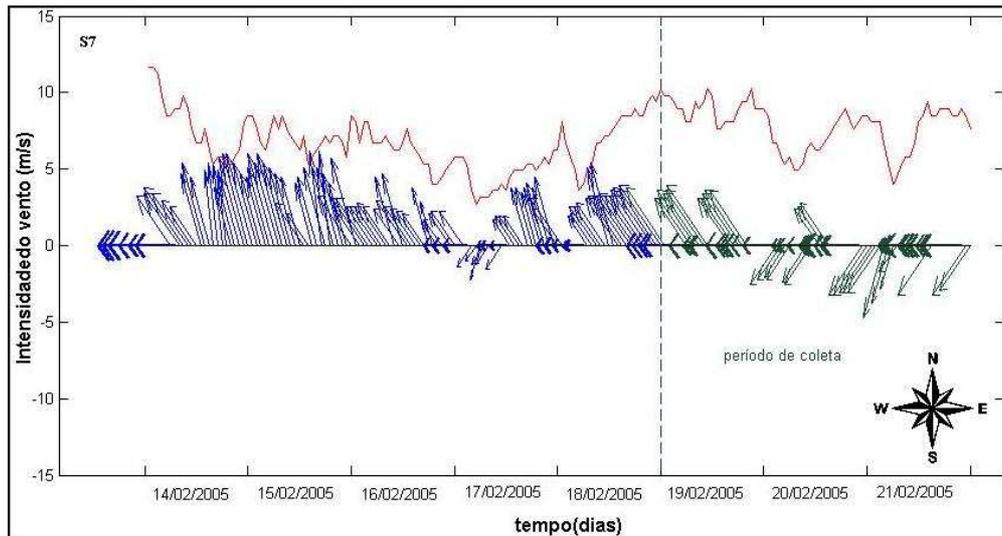


Figura 4.19 - Intensidade(m/s) e direção do vento na saída 7. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

O comportamento do nível da lagoa observado na Figura 4.19 corresponde ao obtido sob influência de vento do quadrante sul, ou seja, diante deste padrão de vento espera-se um aumento no nível médio da lagoa (Castelão e Möller, 2003). É importante notar os baixos níveis deste período. Mesmo diante da predominância de uma direção de vento que contribua para o aumento do nível da lagoa, os níveis foram os menores, entre os de todas as saídas em estudo. Tal direção predominante do vento contribui para uma diminuição do tempo de residência (Pereira e Niencheski, 2004), e conseqüentemente, diminui a velocidade dos fluxos superficiais da lagoa e a força motriz que determina a velocidade de percolação, justificando assim as menores concentrações de silicatos obtidas quando comparadas às encontradas diante de predominância de vento norte. Verifica-se baixas concentrações de silicato nas águas subterrâneas da região central (Figura 4.5-O), justificada pelos baixos níveis observados. Sendo esta uma região sem influência direta de afluentes, os baixos níveis e a predominância de direção de vento, que contribui para menores velocidades de fluxo (quadrante sul), justificam as baixas concentrações de silicato obtidas nesta região.

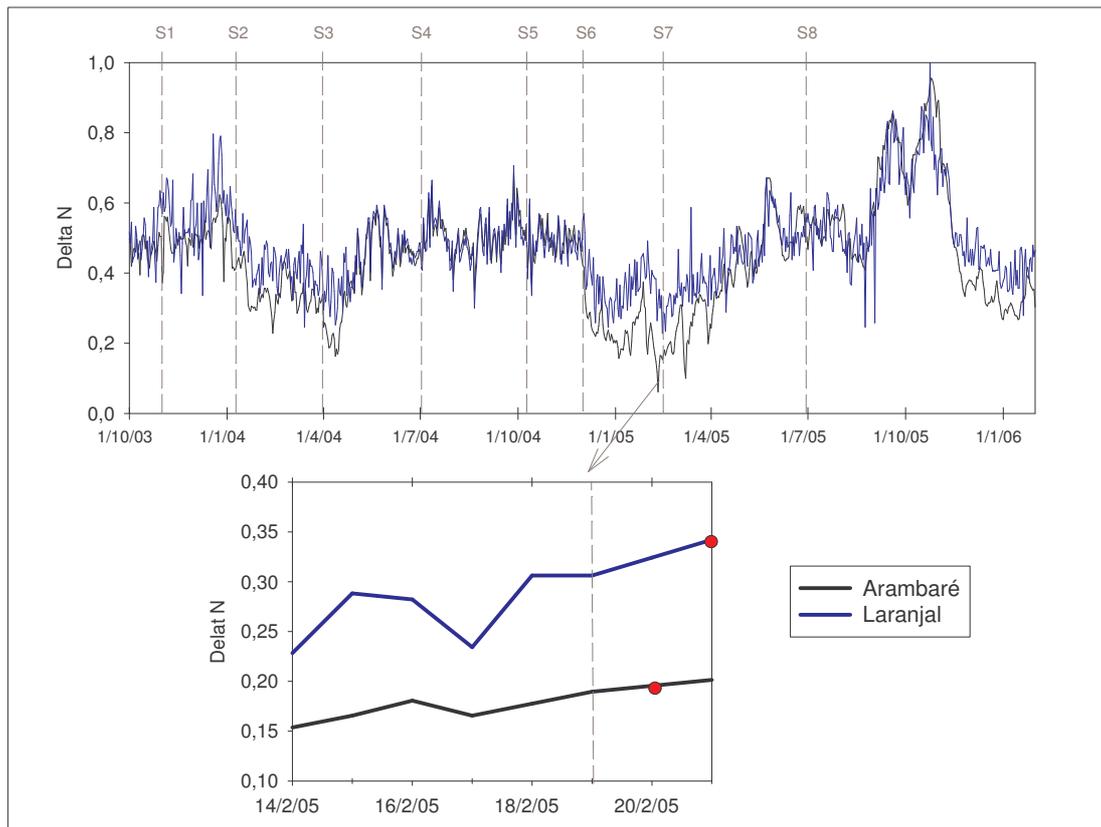


Figura 4.20 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S7 indica o nível na saída 7 e ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

Já as menores concentrações observadas nas camadas superiores, pode ser justificada pela predominância de vento do quadrante leste, que empurra a água da lagoa para a margem oposta a do aquífero freático em estudo

Verificou-se a presença de precipitação no dia anterior à coleta na célula central e dois dias anteriores à coleta na célula sul.. Porém as taxas pluviométricas foram baixas, não conseguindo influenciar as concentrações de silicato no lençol freático (Tabela 4.5).

4.7.1.9 OITAVA CAMPANHA AMOSTRAL (Saída 08)

A oitava coleta considerada foi realizada no período entre 28/06/05 a 30/06/05 e caracterizou o inverno. A descarga fluvial dos principais rios que formam a bacia da lagoa apresentava-se da seguinte forma:

- ✓ Rio Camaquã = abaixo da média
- ✓ Rio Jacuí = acima da média
- ✓ Rio Taquari = acima da média

As coletas foram feitas do sul para o norte. Os poços localizados ao sul foram amostrados dia 28, os poços centrais dia 29 e os poços ao norte dia 30.

A predominância de vento do quadrante norte verificada durante os dias anteriores e no primeiro dia de coleta mostrou condições climáticas semelhantes às observadas na segunda saída (S2). Porém, a partir do segundo dia de coleta observou-se variações nas direções do vento (Figura 4.21).

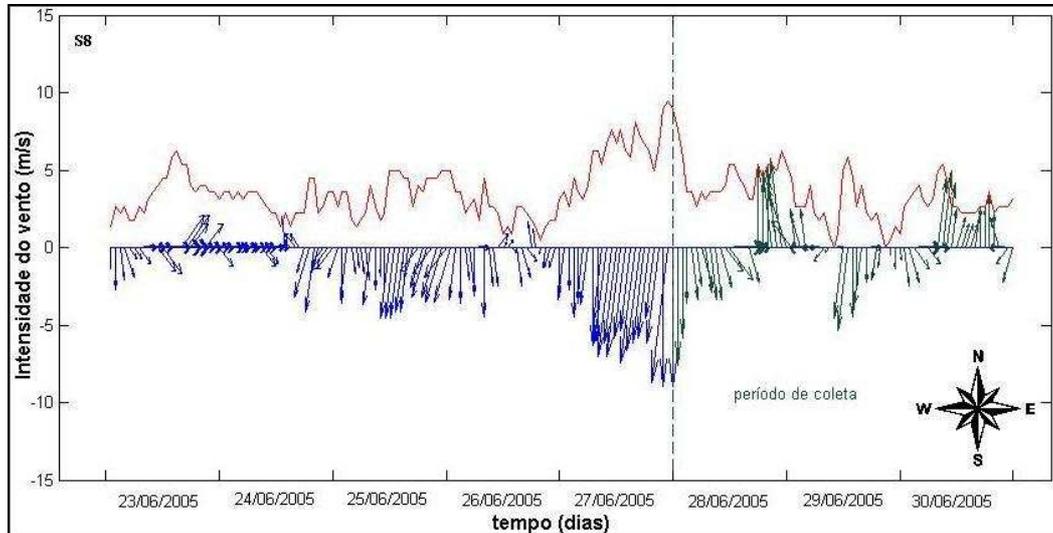


Figura 4.21 - Intensidade (m/s) e direção do vento na saída 8. Dados fornecidos pela estação meteorológica fixa da empresa Práticos da Barra do Rio Grande.

A avaliação da influência das variações nas direções do vento na água superficial da lagoa, verificadas nos últimos dias do período de coleta, pode ser obtida a partir dos dados de nível na célula central e sul da lagoa. Baseado no que já foi dito anteriormente, a influência do

vento nordeste atua no nível da lagoa elevando a célula sul e abaixando o nível em Arambaré. Portanto, de acordo com o comportamento do nível observado na Figura 4.22, a variação na direção do vento verificada nos dois últimos dias de coleta não foi suficiente para vencer a inércia criada no sistema pelos dias anteriores, onde predominou-se vento do quadrante norte.

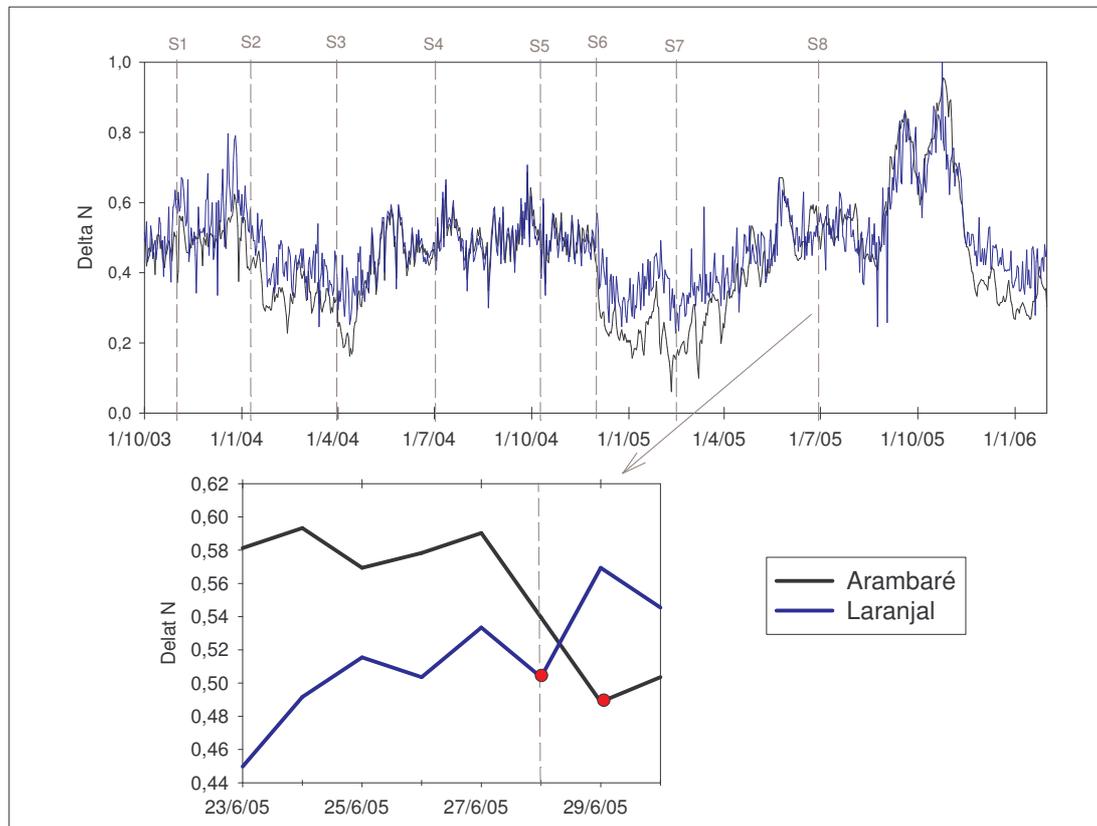


Figura 4.22 - Dados de variação de nível superficial da Lagoa dos Patos, nas estações de Arambaré (célula central) e do Laranjal (célula sul), onde S8 indica o nível na saída 8 e ● indica o dia da coleta. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

A predominância desta direção de vento contribui para um aumento na velocidade destas águas, fornecendo condições para elevar a velocidade de percolação da água no sedimento, tendo como resultado, concentrações elevadas de silicato.

As concentrações de silicato na água subterrânea observadas na Figura 4.5-P, apresentam-se semelhantes às obtidas na saída 2, para as células central e sul. Na célula norte, observa-se concentrações elevadas, porém, inferiores as observadas na segunda saída. Isso se deve ao fato da referida coleta ter sido realizada no último dia do período de coleta, onde, apesar de não ter alterado o regime de fluxo da lagoa, se verifica a ação de outras direções de

vento, que provavelmente interferiram na influência do vento norte antes predominante. Observa-se também maiores intensidades do vento em S2 quando comparadas às em S8.

As taxas pluviométricas observadas na Tabela 4.5 indicam não haver interferência da precipitação nas concentrações de silicato da água subterrânea, uma vez que, a ocorrência de precipitação no dia mais próximo da coleta, correspondeu a observada em Mostradas, dois dias anteriores à coleta.

Constata-se aqui, que em condições meteorológicas semelhantes (direção do vento), as concentrações de silicato também apresentaram semelhanças, o que indica a influência das condições meteorológicas ocorrentes nas águas superficiais da lagoa nas concentrações de silicato do lençol freático em estudo. Tal comparação só foi possível devido à ausência de influência da precipitação verificada nas duas saídas (S2 e S8).

4.7.1.10 Considerações finais:

A avaliação do comportamento das concentrações de silicato no lençol freático, a partir das condições dos fluxos superficiais da lagoa responsável pela recarga deste, evidenciou a existência de uma tendência de concentração de silicato mais elevada na célula norte, uma diminuição na parte central, e, novamente houve um aumento na célula sul do lençol freático, porém em proporções inferiores as concentrações da célula norte. Tal tendência se justifica pela existência de afluentes nas águas superficiais da lagoa nas células norte e sul, sendo os maiores aportes provindos do norte, exatamente na mesma região onde se observou os maiores teores de silicato.

As vazões, observadas para a Lagoa dos Patos em todo o período em estudo, não apresentaram valores elevados. Por esta razão o grande domínio da influência do vento sobre estas águas foi verificado, sendo a ação dele a principal determinante das concentrações de silicato obtidas nas águas do lençol freático, uma vez que, estas concentrações são diretamente proporcionais às velocidades dos fluxos subterrâneos.

Devido à grande influência do comportamento do vento sobre as direções dos fluxos superficiais da lagoa, e sendo tal fluxo, a força motriz responsável pela velocidade de percolação da água no sedimento, verifica-se que o padrão de vento observado na lagoa, exerce também grande influência sobre as velocidades dos fluxos subterrâneos.

Devido à constatação da dependência do teor de silicato presente na água em relação à velocidade do fluxo subterrâneo, sendo estes, diretamente proporcionais, observou-se que as concentrações de silicato presentes nas águas do lençol freático, indicam as velocidades dos fluxos existentes, ou seja, diante de maiores velocidades, encontram-se maiores concentrações e vice-versa.

Em termos de padrões de vento, observou-se que, a predominância de vento do quadrante norte foi responsável pelas maiores concentrações de silicato observadas, tal fato se atribui a esta direção de vento ser a responsável pelas as maiores velocidades dos fluxos superficiais da lagoa. A predominância de vento do quadrante sul também contribuiu com concentrações elevadas de silicato, porém inferiores às obtidas com predominância de vento norte, uma vez que, esta direção de vento é responsável por uma diminuição da velocidade dos fluxos superficiais. Concomitante com estas duas direções de vento observou-se que, a presença de vento do quadrante oeste, contribuiu com o aumento nos teores de silicato e, diante de vento do quadrante leste observou-se uma diminuição deste teores no lençol freático. Tal fato se deve à localização do aquífero freático em estudo, uma vez que este se encontra na região leste da lagoa, e é justamente a predominância de vento do quadrante oeste, a responsável por empurrar as águas da lagoa para esta região.

As menores concentrações de silicato foram verificadas diante da ausência de uma direção predominante de vento. Constatou-se uma semelhança nas concentrações de silicato nas três células em estudo, na ausência de uma direção predominante de vento nas águas superficiais da lagoa. Tais ventos acabam por gerar um turbilhonamento nas águas superficiais resultado das interações das condições meteorológicas presentes, gerando um desequilíbrio na estrutura das camadas superior e inferior das águas superficiais da lagoa (Fernandes & Niencheski, 1998). Essa mistura ocorrente nas águas superficiais acabou por influenciar também as águas subterrâneas, tendo como consequência os menores teores de silicato observados em todo o período de estudo.

4.7.2 O Comportamento da Condutividade Eletrolítica neste ambiente

Devido à ausência de informações a respeito da presença de sais na água de um aquífero freático costeiro acima da interface gerada pela intrusão salina, plotou-se dados de condutividade eletrolítica diária, obtida a partir de três poços localizados próximo à lagoa, numa região intermediária e próximo ao mar (Figura 4.22).

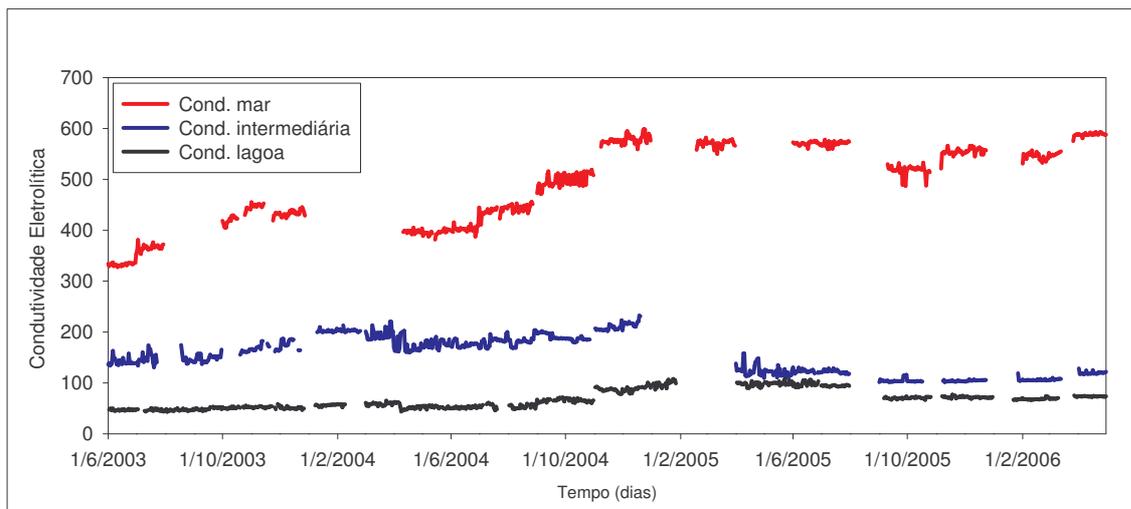


Figura 4.23 - Condutividade eletrolítica (μS) diária ao longo de três anos obtidas nos poços 7, 8 e 9.

Apesar de se considerar a água do lençol freático acima da intrusão salina como sendo de influência continental, observa-se que devido à diferença de densidade entre as águas da lagoa e do mar, ocorre um transporte de sais em direção à lagoa.

Nota-se que a condutividade varia com a distância em relação ao mar, ou seja, o poço mais próximo ao mar possui maior condutividade (entre 327,6 μS e 599 μS), o intermediário, condutividade intermediária (entre 101,4 μS e 232,2 μS) e o mais próximo à lagoa, possui menor condutividade em relação aos anteriores (entre 43,4 μS e 108 μS). Pode-se, então, notar que a condutividade máxima de um poço, corresponde a aproximadamente a mínima do outro (poços 7, 8 e 9, respectivamente), verificando-se, desta forma, o processo de difusão das águas mais próximas do oceano em direção à lagoa.

Observa-se então, a existência de um transporte de massa, por difusão molecular, com direção inversa aos fluxos subterrâneos estudados anteriormente, ou seja, o transporte aqui observado ocorre no sentido oceano - lagoa.

4.8 CONCLUSÕES:

Verificou-se, com o presente trabalho, que a descarga fluvial na Lagoa dos Patos determinou o comportamento geral das concentrações de silicato no lençol freático, e o vento, juntamente com a precipitação foram os responsáveis pelas variações de teores verificadas dentro deste comportamento. A presença da precipitação, quando atuando de forma significativa, permitiu inclusive uma alteração neste comportamento geral.

Filmann,1990 & Ciotti,1995 indicaram o silicato como um excelente traçador de massas de água, especialmente para água costeira, na qual a salinidade se mantém abaixo de 32.

No presente trabalho também se verifica a importância deste parâmetro como traçador, porém agora, dos fluxos subterrâneos, uma vez que, observações de altos teores de silicato, indicaram a presença de elevados fluxos subterrâneos, já diante de baixos teores de silicato os fluxos subterrâneos mostraram-se inferiores.

Mesmo as maiores concentrações de silicato observadas nas águas superficiais da Lagoa dos Patos (Vilas Boas, 1990; Windom *et al.*, 1999 e Baumgarten e Niencheski, 1998) mostraram seus teores próximos as menores concentrações observadas nas águas subterrâneas. Os teores de silicato na água do lençol freático durante as campanhas em estudo chegaram a atingir valores até 10 vezes superiores aos máximos observados para as águas superficiais da lagoa. Como o silicato é um parâmetro importante como nutriente para algumas espécies e sua concentração nos oceanos é baixa, considera-se as águas subterrâneas do aquífero freático em estudo, fontes significativas deste nutriente para a costa adjacente.

Observa-se um comportamento diferencial dos fluxos ocorrentes abaixo da camada impermeável, e tal comportamento tem como consequência fluxos mais elevados nesta região onde verifica-se maiores concentrações de silicato.

Mesmo diante do fluxo contínuo das águas continentais em direção ao oceano, devido à diferença de densidade entre as águas continentais e marinhas, observou-se um transporte ocorrente no sentido inverso, com força motriz a partir de um gradiente de concentração. Observou-se ainda uma variação na condutividade eletrolítica em um mesmo local de coleta, em diferentes épocas do ano, indicando assim uma variação na interface que limita as águas costeiras das águas oceânicas (intrusão salina) em função dos fluxos subterrâneos existentes.

Portanto, a força motriz originada pelos fluxos superficiais da lagoa movimenta as águas subterrâneas continentais em direção ao mar. Porém, um processo inverso também ocorre. Dessa vez, a força motriz corresponde ao gradiente de concentração e um transporte

em direção à lagoa é verificado, justificando assim, os valores decrescentes de condutividade eletrolítica em direção à lagoa, verificados nesta região.

5. CONCLUSÃO GERAL

Devido a pouca variação verificada no nível superficial da Lagoa dos Patos entre uma margem e outra, utilizou-se dados de nível de fácil acesso fornecidos pela Agência Nacional de Águas na margem oeste como representativo da margem leste para identificar que as fontes de recarga para o aquífero freático costeiro localizado entre a Lagoa dos Patos e o oceano Atlântico correspondem às águas superficiais da lagoa e as taxas pluviométricas ocorrentes no solo da região em estudo. O tempo de residência obtido entre a recarga e a descarga no lençol freático corresponderam a aproximadamente 12 dias. A descarga fluvial nas águas superficiais da Lagoa dos Patos determinou o comportamento geral das concentrações de silicato no lençol freático, observando-se maiores concentrações ao norte, um decréscimo na região central e novamente um aumento nas concentrações de silicato no sul, porém com intensidades inferiores as verificadas ao norte. Devido à ausência de vazões superficiais elevadas na lagoa durante as campanhas amostrais realizadas, o vento atuou como principal determinante da força motriz responsável pelas velocidades de percolação da água no sedimento. Os teores de silicato presentes nas águas subterrâneas mostraram ser bons traçadores dos fluxos subterrâneos. Verificou-se ainda, no presente trabalho, a existência de uma camada impermeável no aquífero funcionando como uma barreira cujos fluxos superiores e inferiores apresentaram características distintas. Tal camada barrou o movimento livre ocorrente na parte superior impulsionando estas águas em direção ao oceano e permitindo que os fluxos inferiores a tal camada se apresentassem mais elevados uma vez que se verificou maiores concentrações de silicato nesta região.

6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

A importante constatação de que o lençol freático é recarregado pelas águas da Lagoa dos Patos e da chuva foi baseada em sensores de pressão instalados em dois poços, indicando, portanto, serem estes sensores importantes na contribuição de informações a respeito dos processos subterrâneos ocorrentes.

Recomenda-se a instalação de sensores em diferentes profundidades nos poços mais próximos do mar na região central, uma vez que, a ausência destes correspondeu a uma lacuna que pode ser preenchida em trabalhos posteriores, permitindo assim, uma melhor compreensão dos processos ocorrentes na região central, baseando-se aqui na constatação de que a metodologia utilizada se mostrou eficaz nesta região. Devido a ausência de sensores na região norte, esta não pôde ser avaliada da mesma forma que as anteriores. A presença de sensores de pressão em poços no norte permitiria uma avaliação mais abrangente em virtude de se ter também dados de precipitação desta região disponíveis no site da ANA.

O presente estudo avaliou somente as concentrações de silicato no lençol freático, porém, outros parâmetros também devem ser considerados com o intuito de se avaliar, ou mesmo quantificar, a importância das águas subterrâneas em termos de contribuição à costa adjacente.

Poderia se calcular ainda, a contribuição do lençol freático, em termos de fluxo mássico, para a costa adjacente, podendo-se ter uma idéia de quantificação dos nutrientes para a zona costeira.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). On line. <http://www.ana.gov.br>. Acessado em 01/02/2007.

AMINOT, A. E CHAUSSEPIED, M. Manuel dès analyses chimiques em milieu marin. Brest:CNEXO. 1983. 395p.

ANDERSON, G. F. Silica, diatoms and freshwater productivity maximum in atlantic coastal plain estuaries, Chesapeake Bay. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. V.22.p.183-197. 1986.

BAGNOLD, R. A. 1940. Beach formation by waves: some model- experiments in the wave tank. *J. Inst.Civ. Eng* **15**(7): 27-52.

Banco de Dados Meteorológicos da estação principal da Fundação Universidade de Rio Grande. On line. <http://www.meteorologia.furg.br>

BAIRD, A. J. E HORN, D. P. 1996. Monitoring and Modelling Groundwater Behaviour in Sandy Beaches. **Journal of Costal Research** 12(3): 630-640.

BARLETTA, R. C. Aspectos morfodinâmicos das praias situadas ao norte da desembocadura da Laguna dos Patos- Farol da Conceição e praias adjacentes, R.S. Rio Grande, 1997. 64p. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia, FURG - Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

BARLETTA, R. C. Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Rio Grande do Sul, Brasil. Rio Grande, 2000. 134p. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, FURG - Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

- BARLETTA, R. C., CALLIARI, L.J., 1996. Caracterização morfodinâmica de praias compreendidas entre o Farol da Conceição e São José do Norte- RS. Anais X Congresso Brasileiro de Oceanografia. Itajaí. pp 24-26.
- BAUMGARTEN, M. G. Z. & NIENCHESKI, L. F. H.;1998. Avaliação da qualidade hidroquímica da área portuária da cidade de Rio Grande – RS. Rio Grande: Editora da fundação Universidade do Rio Grande. Série Documentos Técnicos; n.9. 57p.
- BURNETT, W.C., & DULAIIOVA, H., 2003. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. Journal of Environmental Radioactivity, 69(1-2): 21-35.
- CABRAL, J., KOIDE, S., SIMÕES, S. E MONTENEGRO, S. 2000. Recursos Hídricos Subterrâneos: Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Piava, J. B. D., Paiva, E.M.C.D., Santa Maria, RS.
- CALLIARI, L. J. **Aspectos sedimentalógicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos.** 1980. 190 p. Dissertação (Mestrado em Geociências)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- CASTELÃO, R.M. e MÖLLER JR. O. O. 2003. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na lagoa dos Patos. Atlântica, Rio Grande, 25(2): 91-106.
- CHAPPELL, J., ELIOT, I. G., BRADSHAW, M. P. E LONSDALE, E. 1979. Experimental control of beach face dynamics by water-table pumping. Engineering Geology 14: 29-34.
- CLM- MINISTÉRIO DO INTERIOR. SEÇÃO BRASILEIRA DO COMISSÃO DA LAGOA MIRIM, 1970. Barragem do canal São Gonçalo; estudos preliminares de viabilidade. Generalidades e estudos básicos, v.2. (Relatório).
- CUNHA, N. G., 1997. Caracterização dos solos de São José do Norte, Tavares e Mostradas - RS. Pelotas, RS: EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel. 47p.:il. (Documentos CPACT; 7/94) 2ª edição.

D'ELIA, C. F.; WEBB, K.L.; PORTER J.W. **Bull. Mar. Sci.** v31, p903-910, 1981.

DEAN, R.G. 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. Proceedings of Conference on Engineering Dynamics in the Coastal Zone: 208-214.

DELANEY, P. 1965. Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publ. Especial Escola de Geologia 6, 1-105, UFRGS, Porto Alegre.

DELANEY, P. 1965. Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publ. Especial Escola de Geologia 6, 1-105, UFRGS, Porto Alegre.

ESTEVES, FRANCISCO DE ASSIS, 1950. Fundamentos de limnologia. 2^a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERNANDES E. H.L. & NIENCHESKI L. F. H. (1998). Um modelo de caixas simplificado para o estudo dos processos de transporte na região estuarina da lagoa dos Patos (RS-Brasil). Atlântica, Rio Grande, V20. p.73-85.

FERNANDES, E. H. L. 2001. Modelling the hydrodynamics of the Patos Lagoon, Brazil. Tese de Doutorado, University of Plymouth, Inglaterra.

FERNANDES, E. H. L., DYER, K. R., MÖLLER O. O. & NIENCHESKI, L. F. H. 2002. The Patos Lagoon hydrodynamics during an "El Niño" event. Continental Shelf Research, 22, 1699-1713.

FETTER, A. F. H. 1999. Estudo da circulação da Lagoa dos Patos através da adaptação do Modelo de Circulação da Universidade de Princeton (POM). Dissertação de Mestrado. FURG, Rio Grande.

FIGUEIREDO, S. A. 2005. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes a desembocaduras lagunares e fluviais da costa do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, Fundação Universidade Federal do Rio Grande: 189p.

- FRIEDRICH, A. C.; 2004. Hidroquímica da Lagoa Mirim-RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – FURG. 129p
- GARCIA, C. A. E. Hydrographic Characteristics. IN: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. Subtropical Convergence Environmental. Germany: Springer-Verlag, 1997.p.20-24.
- GRANT, U. S. 1948. Influence of the water table on beach aggradation and degradation. Journal of Marine Research **VII**(3): 655-660.
- GUZA, R. T. E INMAN, D. L. 1975. Edge waves and the beach cusps. Journal of Geophysical Research **80**: 2997-3012.
- HARTMANN, C. & HARKOT, P. F. C., 1990. Influência do canal São Gonçalo no aporte de sedimentos para o estuário da Laguna dos Patos – RS. Revista Brasileira de Geociências.20(1-4):329-332.
- HERZ, R. **Circulação de águas de superfície da Lagoa dos Patos.** 1977. 722f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
- HIRATA, F. E. 2006. Balanço hídrico, circulação e processos de mistura na Lagoa dos Patos. Relatório final de atividades no período de vigência da bolsa de iniciação científica (processo 119008/2004-1) ligada ao projeto (processo 475538/2003-0). 52p.
- KARMANN, I., 2000. Ciclo da água, Água subterrânea e sua ação geológica. p. 113-138. IN: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R. & TAIOLI, F. 2000. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 2ª Reimpressão, 2003. 568 pp 558.
- KJERVE, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Estuarine variability, Wolfe, D.A., (Ed.). Academic Press. EUA.

- KLEIN, A. H. F. E CALLIARI, L. J. 1997. Praias oceânicas entre Cassino e Chuí (RS): variações da permeabilidade e sua influência no processo de troca de sedimentos. VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Curitiba, PR.
- KRUMBEIN, W. C. E MONK, G. D. 1942. Permeability as a function of the size parameters of unconsolidated sand. American Institute of Mining and Metallurgical Engineering, Technical Publication: p.11.
- LINO, O.T. Handbook of common methods in limnology. 2ªed. By Kendall/Hunt Publishing Company: Dubuque. 1985. 199p.
- MACHADO C., NIENCHESKI, L. F. H. E PEREIRA R. S. (2006). Influência da Lagoa dos Patos sobre a água subterrânea superficial da barreira arenosa que a separa do Oceano Atlântico. II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, publicação digital. Novembro de 2006.
- MADUREIRA Fº. J. B.; ATENCIO, D. & MCREATH, I., 2000. Minerais e rochas: constituintes da Terra sólida. p. 27-42. IN: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R. & TAIOLI, F. 2000. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 2ª Reimpressão, 2003. 568 pp 558.
- MANOEL FILHO, J., 2000. Água Subterrânea: Histórico e Importância. In Hidrogeologia MARTINS, L. R., URIEN, C. M. E EICHLER, B. B. 1967. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental sul brasileira e uruguaia. 21º Congresso Brasileiro de Geologia., Curitiba., Anais. SBG.
- MASSELINK, G. E LI, L. 2001. The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study. Marine Geology 176: 139-156.
- MCLACHLAN, A. 1979. Volumes of sea water filtered through Eastern Cape sandy beaches. S.Afr. J. Sci **75**: 75-79.

- MCLACHLAN, A. 1990. Dissipative Beaches and Macrofauna Communities on exposed Intertidal Sands. **Journal of Coastal Research** 6(1): 57-71.
- METSUL, 2006. METEOROLOGIA. <http://www.metsul.com>. Acessado em 19/11/2006.
- MILLON, M. M. B., 2004. Águas subterrâneas e política de recursos hídricos. Estudo de caso: Campeche, Florianópolis-SC. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis-SC.
- MÖLLER JR. O. O., CASTAING P. e LAZURE P. 1997. The analysis of mixing, circulation and estuarine/shelf exchange processes in Patos Lagoon from a 3D model. Proceedings of BORDOMER'97, Vol. I, 293-298.
- MÖLLER, O. O. 1996. Hydrodynamique de la Lagune dos Patos. Mesures et Modelisation. Tese de Doutorado, Universidade de Bordeaux I, França.
- MÖLLER, O. O., J. A. LORENZZETTI, J. L. STECH e M. M. MATA 1996. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research* 16, 335-351.
- MÖLLER, O. O., P. CASTAING, J-C. SALOMON e P. LAZURE 2001. The influence of local and non local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, 24(2),297-311.
- MOORE, W.S., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of groundwater and sea water. *Marine Chemistry*, 65: 111-126.
- NIELSEN, P., ROBERT, S., MOLLER-CHRISTIANSEN, B. E OLIVA, P. 2001. Infiltration effects on sediment mobility under waves. **Coastal Engieniring** 42: 105-114.
- PEREIRA, P. S. 2003. A morfodinâmica praias como ferramenta para a segurança dos banhistas da praia do Cassino: estudo de caso da temporada 2002. Monografia de conclusão de curso em Oceanologia. Rio Grande, RS, Fundação Universidade Federal do Rio Grande: 77.

- PEREIRA, P. S., CALLIARI, L. J. E LÉLIS, R. J. F. 2004. High frequency beach profile monitoring: implications in beach safety at Cassino beach, southern Brazil. **Journal of Coastal Research** Special Issue(39): In press.
- PEREIRA, R. S. & NIENCHESKI, L. F. H.; 2004. Simulação do Tempo de Residência da Lagoa dos Patos. XXI Congresso Latino-americano de Hidráulica. São Pedro/ São Paulo, Brasil.
- PEREIRA, P. S. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos.. Rio Grande, 2005. 160p. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, FURG - Fundação Universidade Federal do Rio Grande.
- PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. (Org.) Hidrologia Ambiental. São Paulo: editora da universidade de São Paulo, 1991. v. 3.
- REBOUÇAS, A da C. O Sistema Aquífero Guarani – SAG. **Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas** N.16 – Mai/2002,São Paulo. 119p.
- RUSSIA’S WEATHER: On line: <http://meteo.infospace.ru/wcarch/html/index.sht>. Acessado em 16/12/2006.
- SHORT, A. D. 1999. Beach and shoreface morphodynamics, John Wiley, Chinchester.
- SIEGLE, E. 1996. Distribuição dos sedimentos litorâneos entre o Farol da Conceição e Farol do Chuí, RS, e fatores condicionantes. Departamento de Geociências. Rio Grande, Fundação Universidade Federal do Rio Grande: 1-88.
- STECH, J.L. e LORENZZETTI, J.A. 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research* 97, C6, 9507-9520.

- SUDESUL. SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL, 1970. Dados de Vazão do canal São Gonçalo no período de 1939-1968. Porto Alegre, SUDESUL.(Rel. Técnico).
- TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A., DILLENBURG, S. R., BACHI, F. A. E DEHNHARDT, B. A. 1997. A erosão costeira e a transgressão marinha atual na costa do Rio Grande do Sul. VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (VI ABEQUA), Curitiba, Paraná, Brasil.
- TÖTH, J. in REBOUÇAS, A. da C. A Política Nacional de Recursos Hídricos e as Águas Subterrâneas. **Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas** N.16 – Mai/2002,São Paulo. 119p
- TURNER, I. L. E LEATHERMAN, S. P. 1997. Beach dewatering as a soft engineering solution: a history and critical review. **Journal of Coastal Research** 13: 1050-1063.
- VARGAS, M. 1977. Introdução a mecânica dos solos. São Paulo, Editora MCgraw-Hill do Brasil da Universidade de São Paulo.
- VAZ, A. C. 2003. O efeito da descarga de água doce em processos ocorrentes na Lagoa dos Patos. Trabalho de conclusão do curso de Oceanologia, FURG, Rio Grande.
- VIEIRA, EURÍPEDES FALCÃO. 1983. Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação. Porto Alegre:Sagra. 184p.
- VIERA, H., CALLIARI, L. J. E OLIVEIRA, G. P. 2004. O estudo do impacto da circulação de veículos em praias arenosas através de parâmetros físicos: um estudo de caso. **ENGEVISTA** 6(3): 54-63.
- VILAS BOAS, D.F. Distribuição e comportamento dos sais nutrientes, elementos maiores e metais pesados na Lagoa dos Patos – RS. Rio Grande, 1990. 122p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – FURG.

- VILLWOCK, J. A. E TOMAZELLI, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas **8**: 1-45.
- WERNER, A. D. E LOCKINGTON, D. A. 2003. Influence of hysteresis on tidal capillary fringe dynamics in a well-sorted sand. *Advances in Water Resources* 26: 1199-1204.
- WINDOM, H.L., NIENCHESKI, L.F.; SMITH Jr. R.G. Biogeochemistry of nutrients and trace metals in the estuarine region of the Patos Lagoon (Brazil). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1999. 48: 113-123.
- WINDOM, H.; SMITH, R.; NIENCHESKI, F. & ALEXANDER, C.; 2000. Uranium in rivers and estuaries of globally diverse, smaller watersheds. *Marine Chemistry* 68(3-4): 307-321.
- WINDOM, H., & NIENCHESKI, F., 2003. Biogeochemical processes in a freshwater-seawater mixing zone in permeable sediments along the coast of Southern Brazil. *Marine Chemistry*, 83(3-4): 121-130.
- WINDOM, H. L.; MOORE, W. S.; NIENCHESKI, L. F. H. & JAHNKE R. A., 2006. Submarine groundwater discharge: A large, previously unrecognized source of dissolved iron to the South Atlantic Ocean. *Marine Chemistry*, 102(3-4): 252-266.
- WRIGHT, L. D. E SHORT, A. D. 1984. Morphodynamics variability of high energy surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology* **56**: 93-118.
- WRIGHT, L. D., CHAPPELL, J., THOM, B. G., BRAGSHAW, M. P. E COWELL, P. 1979. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems, southeastern Australia. *Marine Geology*, **32**: 105-140.
- WRIGHT, L. D., GUZA, R. T. E SHORT, A. D. 1982. Dynamics of a High-energy Dissipative Surf Zone. *Marine Geology* **45**: 41-62.

ZIMBRES, E. Guia avançado sobre água subterrânea (Hipertexto), 2000. On line.
<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>. Acessado em
26/07/2006

ANEXO A. Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, num período de 20 anos, separados em períodos baseados na presença do fenômeno ENOS (El Niño/La Niña).

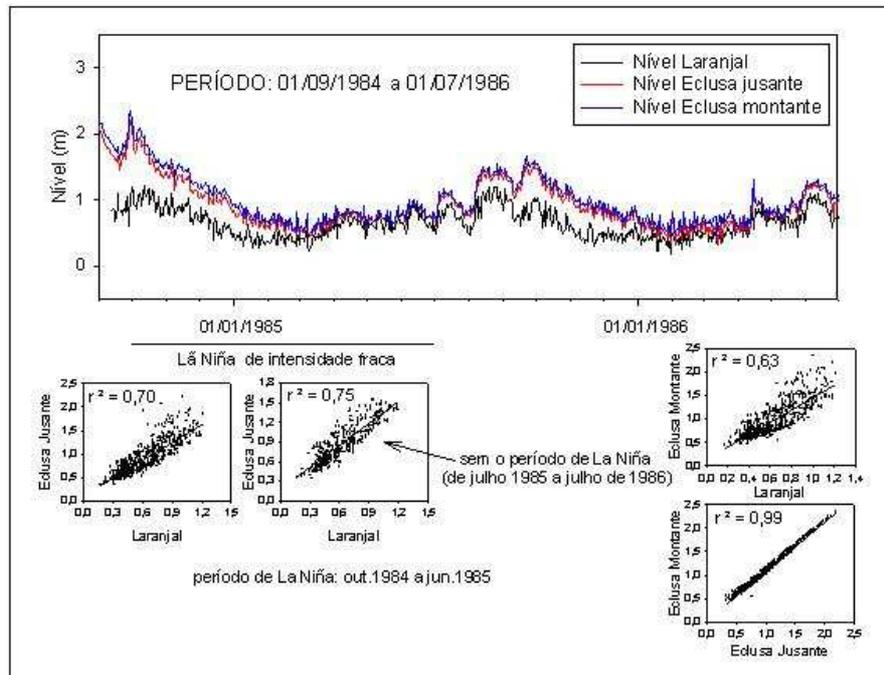


FIGURA A.1 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de setembro de 1984 a julho de 1986, incluindo um período de Lã Niña de intensidade fraca (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

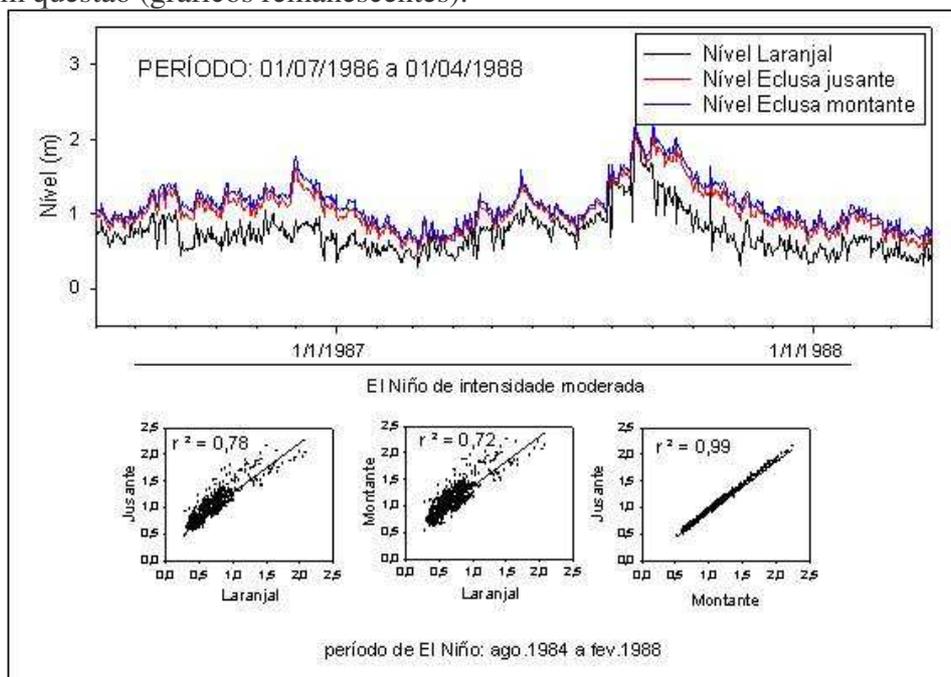


FIGURA A.2 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de julho de 1986 a abril de 1988, incluindo um período de El Niño de intensidade moderada (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

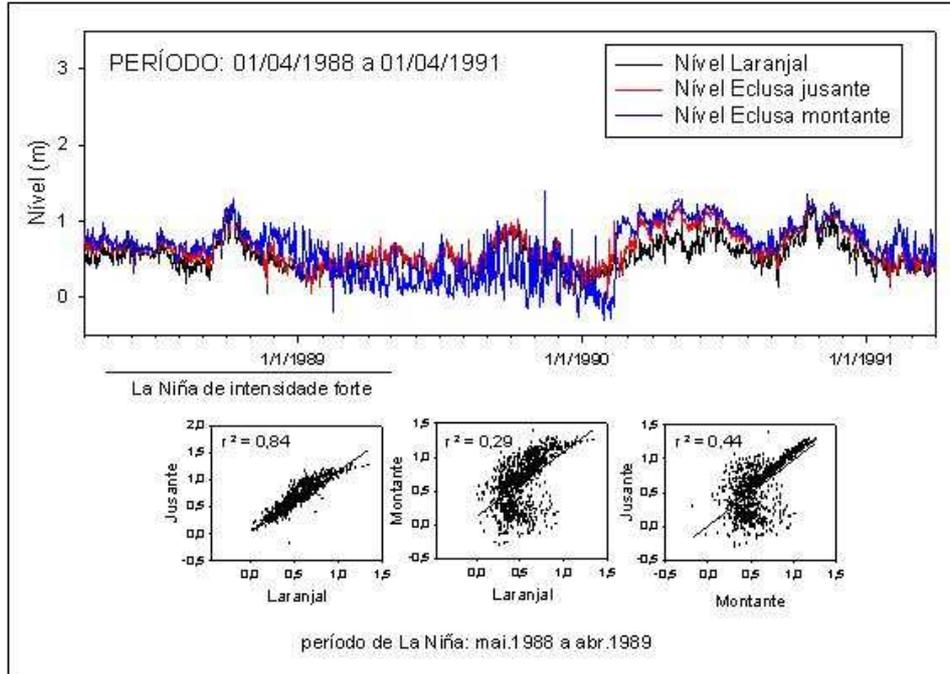


FIGURA A.3 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de abril de 1988 a abril de 1991, incluindo um período de La Niña de intensidade forte (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

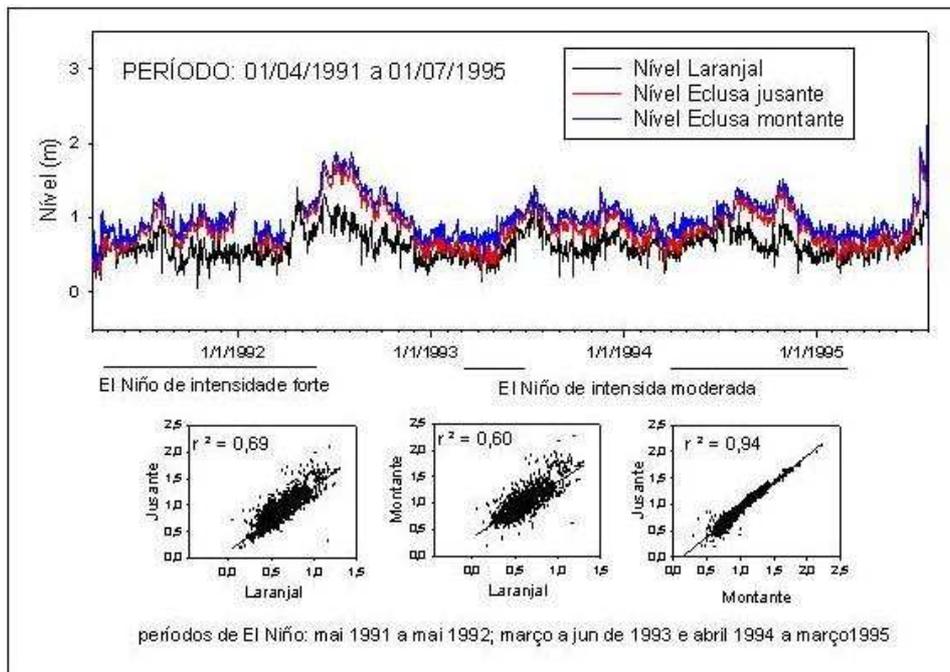


FIGURA A.4 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de abril de 1991 a julho de 1995, incluindo três períodos de El Niño, um de intensidade forte e dois de intensidade moderada, respectivamente (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

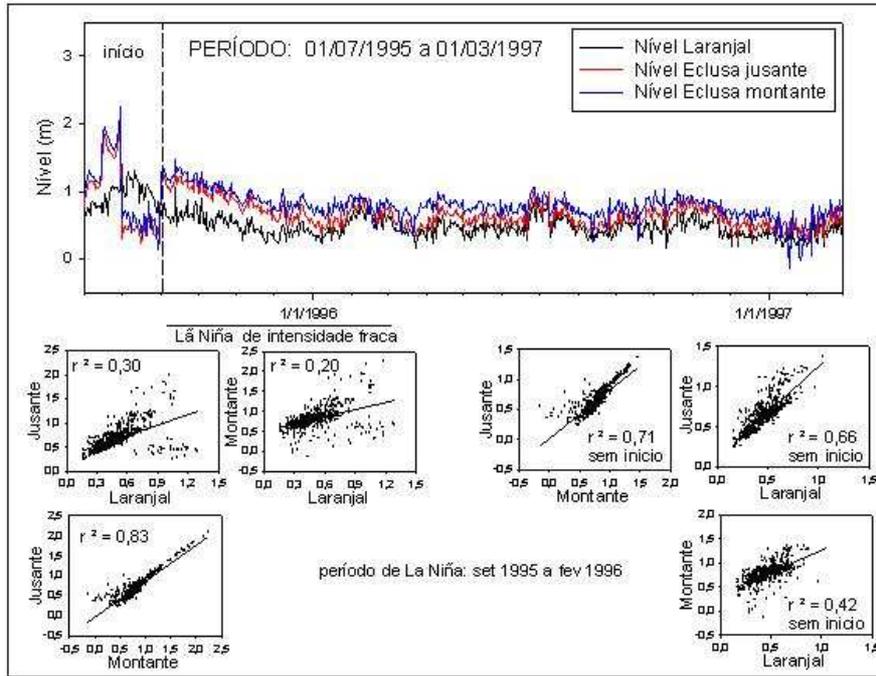


FIGURA A.5 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de julho de 1995 a março de 1997, incluindo um período de La Niña de intensidade fraca (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

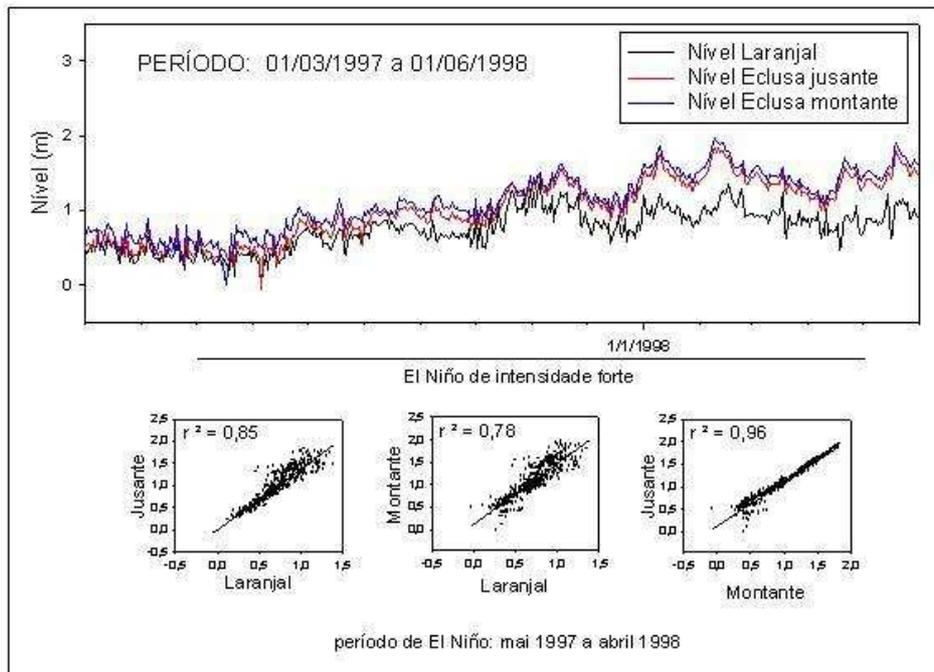


FIGURA A.6 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de março de 1997 a junho 1998 a, incluindo um período de El Niño de intensidade forte (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

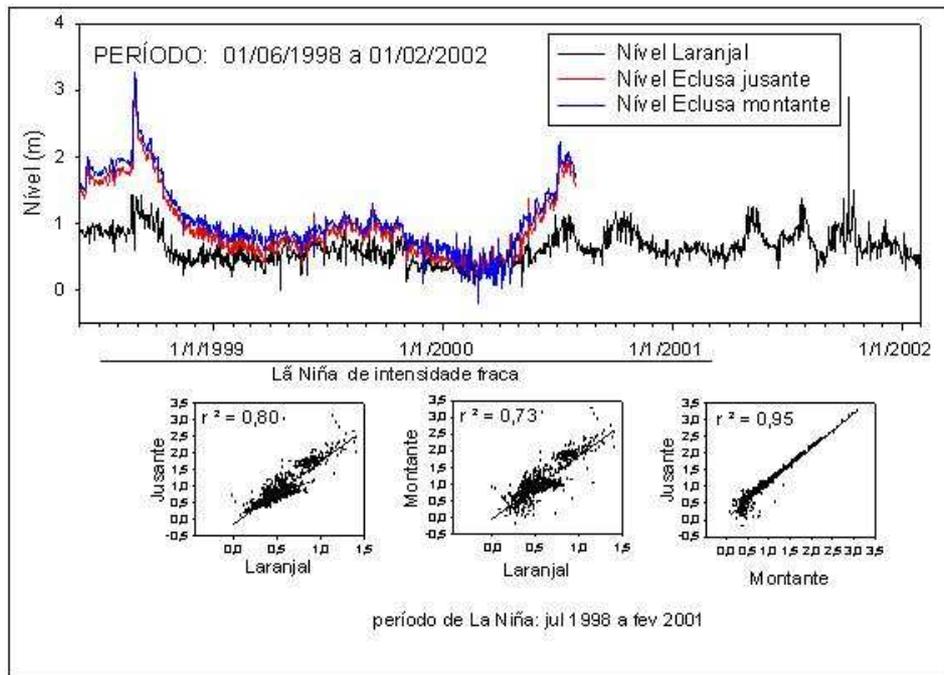


FIGURA A.7 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de junho 1998 a fevereiro de 2002, incluindo um período de La Niña de intensidade fraca (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

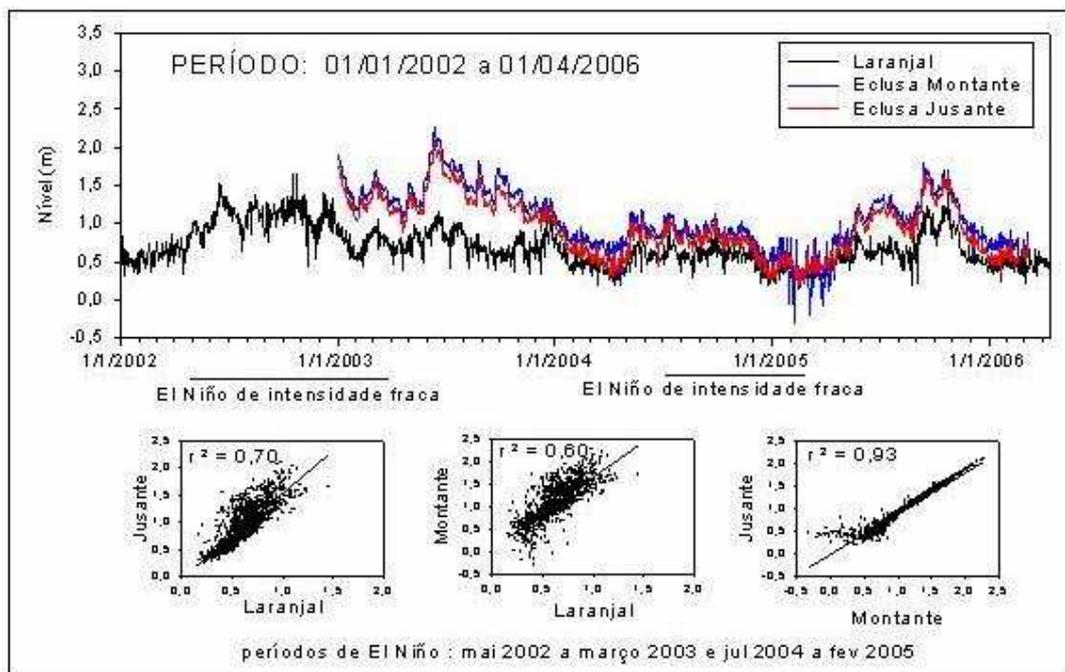


FIGURA A.8 - Dados de Nível (m) na Estação do Laranjal e a jusante e montante da Eclusa do canal São Gonçalo, no período de janeiro 2002 a abril de 2006, incluindo dois períodos de El Niño de intensidade fraca (gráfico superior). Correlações entre os dados de nível no período em questão (gráficos remanescentes).

ANEXO B.**Tabela B.1 – Dados de pressão hidrostática dos poços 5 e 9 de profundidade 10m**

Data	Pressão Poço 5 (psi)	Pressão Poço 7 (psi)	Data	Pressão Poço 5 (psi)	Pressão Poço 7 (psi)
6/7/2005	33,00	29,51	18/3/2006	32,54	28,88
7/7/2005	33,03	29,55	19/3/2006	32,53	28,86
8/7/2005	33,01	29,54	20/3/2006	32,54	28,89
9/7/2005	32,97	29,51	21/3/2006	32,61	28,95
10/7/2005	32,91	29,46	22/3/2006	32,58	28,93
11/7/2005	32,87	29,44	23/3/2006	32,50	28,83
12/7/2005	32,87	29,44	24/3/2006	32,51	28,86
13/7/2005	32,81	29,39	25/3/2006	32,66	29,03
14/7/2005	32,77	29,34	26/3/2006	32,72	29,09
15/7/2005	32,69	29,26	27/3/2006	32,67	29,03
16/7/2005	32,62	29,42	28/3/2006	32,61	28,96
17/7/2005	32,73	29,60	29/3/2006	32,58	28,94
18/7/2005	32,81	29,66	30/3/2006	32,61	28,97
19/7/2005	32,89	29,73	31/3/2006	32,66	29,02
20/7/2005	32,88	29,70	1/4/2006	32,66	29,01
21/7/2005	32,81	29,37	2/4/2006	32,66	29,01
22/7/2005	32,78	29,24	3/4/2006	32,65	28,98
23/7/2005	32,83	29,22	4/4/2006	32,59	28,91
24/7/2005	32,81	29,15	5/4/2006	32,55	28,87
25/7/2005	32,78	29,08	6/4/2006	32,56	28,88
26/7/2005	32,86	29,18	7/4/2006	32,55	28,87
27/7/2005	32,85	29,17	8/4/2006	32,53	28,84
28/7/2005	32,80	29,13	9/4/2006	32,47	28,78
29/7/2005	32,78	29,06	10/4/2006	32,42	28,73
30/7/2005	32,70	28,92	11/4/2006	32,41	28,73
31/7/2005	32,68	28,87	12/4/2006	32,45	28,76
1/8/2005	32,71	28,89	13/4/2006	32,48	28,79
2/8/2005	32,69	28,86	14/4/2006	32,46	28,77
3/8/2005	32,69	28,83	15/4/2006	32,54	28,86
4/8/2005	32,70	28,82	16/4/2006	32,65	28,99
5/8/2005	32,68	28,78	17/4/2006	32,65	29,11
6/8/2005	32,74	28,89	18/4/2006	32,60	29,09
7/8/2005	32,85	29,02	19/4/2006	32,58	29,09
8/8/2005	32,88	29,06	20/4/2006	32,52	29,03
9/8/2005	32,90	29,09	21/4/2006	32,45	29,01
10/8/2005	32,86	29,04	22/4/2006	32,49	29,05
11/8/2005	32,80	28,99	23/4/2006	32,48	29,07
12/8/2005	32,75	28,94	24/4/2006	32,52	29,14
13/8/2005	32,71	28,89	25/4/2006	32,48	29,13
14/8/2005	32,68	28,87	26/4/2006	32,51	29,17
15/8/2005	32,73	28,95	27/4/2006	32,52	29,19
16/8/2005	32,67	28,87	28/4/2006	32,51	29,18
17/8/2005	32,62	28,83	29/4/2006	32,46	29,14
18/8/2005	32,76	28,99	30/4/2006	32,47	29,15
19/8/2005	32,79	29,01	1/5/2006	32,46	29,15
20/8/2005	32,78	29,00	2/5/2006	32,45	29,18
21/8/2005	32,69	28,90	3/5/2006	32,51	29,22
22/8/2005	32,64	28,84	4/5/2006	32,53	29,21
23/8/2005	32,57	28,76	5/5/2006	32,56	29,25
24/8/2005	32,64	28,92	6/5/2006	32,56	29,24
25/8/2005	32,71	29,13	7/5/2006	32,59	29,31
26/8/2005	32,67	29,14	8/5/2006	32,61	29,35
27/8/2005	32,55	29,04	9/5/2006	32,61	29,36
28/8/2005	32,50	29,22	10/5/2006	32,59	29,33
29/8/2005	32,46	29,38	11/5/2006	32,56	29,31

30/8/2005	32,63	29,48	12/5/2006	32,55	29,30
31/8/2005	32,76	29,48	13/5/2006	32,58	29,33
1/9/2005	32,74	29,45	14/5/2006	32,58	29,33
2/9/2005	32,72	29,67	15/5/2006	32,57	29,31
3/9/2005	32,85	29,65	16/5/2006	32,53	29,27
4/9/2005	32,83	29,47	17/5/2006	32,50	29,24
5/9/2005	32,86	29,45	18/5/2006	32,45	29,19
6/9/2005	32,96	29,47	19/5/2006	32,46	29,21
7/9/2005	33,01	29,46	20/5/2006	32,48	29,24
8/9/2005	33,00	29,40	21/5/2006	32,55	29,30
9/9/2005	32,94	29,28	22/5/2006	32,62	29,37
10/9/2005	32,84	29,59	23/5/2006	32,65	29,42
11/9/2005	33,04	30,09	24/5/2006	32,65	29,41
12/9/2005	33,24	30,08	25/5/2006	32,59	29,34
13/9/2005	33,26	29,98	26/5/2006	32,50	29,25
14/9/2005	33,19	29,95	27/5/2006	32,42	29,18
15/9/2005	33,14	29,98	28/5/2006	32,50	29,26
16/9/2005	33,21	29,92	29/5/2006	32,49	29,25
17/9/2005	33,23	29,84	30/5/2006	32,46	29,23
18/9/2005	33,17	29,87	31/5/2006	32,53	29,38
19/9/2005	33,20	30,30	1/6/2006	32,63	29,48
20/9/2005	33,32	30,24	2/6/2006	32,63	29,46
21/9/2005	33,31	30,14	3/6/2006	32,55	29,37
22/9/2005	33,25	29,98	4/6/2006	32,49	29,31
23/9/2005	33,22	29,85	5/6/2006	32,57	29,39
24/9/2005	33,17	29,88	6/6/2006	32,56	29,37
25/9/2005	33,27	30,04	7/6/2006	32,54	29,35
26/9/2005	33,37	30,00	8/6/2006	32,52	29,32
27/9/2005	33,41	29,97	9/6/2006	32,48	29,28
28/9/2005	33,36	29,85	10/6/2006	32,55	29,37
29/9/2005	33,26	29,68	11/6/2006	32,63	29,45
30/9/2005	33,20	29,64	12/6/2006	32,65	29,46
1/10/2005	33,29	29,66	13/6/2006	32,59	29,39
2/10/2005	33,27	29,61	14/6/2006	32,56	29,38
3/10/2005	33,18	29,53	15/6/2006	32,59	29,42
4/10/2005	33,13	29,68	16/6/2006	32,66	29,49
5/10/2005	33,28	29,70	17/6/2006	32,66	29,48
6/10/2005	33,37	29,68	18/6/2006	32,60	29,42
7/10/2005	33,36	29,63	19/6/2006	32,51	29,33
8/10/2005	33,34	29,73	20/6/2006	32,49	29,32
9/10/2005	33,41	29,68	21/6/2006	32,58	29,43
10/10/2005	33,38	29,57	22/6/2006	32,65	29,49
11/10/2005	33,31	29,46	23/6/2006	32,67	29,50
12/10/2005	33,24	29,36	24/6/2006	32,58	29,41
13/10/2005	33,23	29,35	25/6/2006	32,46	29,27
14/10/2005	33,31	29,61	26/6/2006	32,46	29,29
15/10/2005	33,42	29,61	27/6/2006	32,69	29,61
16/10/2005	33,39	29,47	28/6/2006	32,78	29,65
17/10/2005	33,36	29,51	29/6/2006	32,75	29,59
18/10/2005	33,45	29,55	30/6/2006	32,72	29,55
19/10/2005	33,46	29,46	1/7/2006	32,70	29,52
20/10/2005	33,39	29,35	2/7/2006	32,71	29,53
21/10/2005	33,32	29,27	3/7/2006	32,69	29,50
22/10/2005	33,27	29,22	4/7/2006	32,66	29,46
23/10/2005	33,38	29,34	5/7/2006	32,67	29,46
24/10/2005	33,33	29,26	6/7/2006	32,67	29,46
25/10/2005	33,25	29,16	7/7/2006	32,60	29,38
26/10/2005	33,34	29,24	8/7/2006	32,49	29,26
27/10/2005	33,28	29,14	9/7/2006	32,56	29,42
28/10/2005	33,27	29,13	10/7/2006	32,68	29,51
29/10/2005	33,35	29,19	11/7/2006	32,65	29,46
30/10/2005	33,37	29,19	12/7/2006	32,61	29,43
31/10/2005	33,38	29,21	13/7/2006	32,65	29,47

1/11/2005	33,38	29,16	14/7/2006	32,80	29,67
2/11/2005	33,36	29,07	15/7/2006	32,90	29,74
3/11/2005	33,32	28,99	16/7/2006	32,87	29,65
4/11/2005	33,22	28,86	17/7/2006	32,84	29,60
5/11/2005	33,29	28,98	18/7/2006	32,78	29,52
6/11/2005	33,32	28,98	19/7/2006	32,75	29,47
7/11/2005	33,36	29,03	20/7/2006	32,75	29,44
8/11/2005	33,35	28,96	21/7/2006	32,71	29,39
9/11/2005	33,32	28,90	22/7/2006	32,67	29,32
10/11/2005	33,29	28,85	23/7/2006	32,73	29,40
11/11/2005	33,24	28,78	24/7/2006	32,77	29,44
12/11/2005	33,18	28,70	25/7/2006	32,71	29,38
13/11/2005	33,14	28,66	26/7/2006	32,68	29,35
14/11/2005	33,12	28,63	27/7/2006	32,68	29,40
15/11/2005	33,07	28,55	28/7/2006	32,76	29,48
16/11/2005	33,09	28,60	29/7/2006	32,84	29,54
17/11/2005	33,08	28,60	30/7/2006	32,93	29,66
18/11/2005	33,04	28,51	31/7/2006	32,96	29,68
19/11/2005	33,05	28,52	1/8/2006	32,98	29,68
20/11/2005	33,11	28,59	2/8/2006	32,97	29,65
21/11/2005	33,04	28,51	3/8/2006	32,92	29,58
22/11/2005	32,98	28,43	4/8/2006	32,85	29,51
23/11/2005	32,91	28,35	5/8/2006	32,80	29,46
24/11/2005	32,96	28,47	6/8/2006	32,84	29,50
25/11/2005	33,02	28,52	7/8/2006	32,81	29,44
26/11/2005	33,01	28,50	8/8/2006	32,79	29,42
27/11/2005	33,02	28,50	9/8/2006	32,73	29,36
28/11/2005	32,98	28,44	10/8/2006	32,90	29,58
29/11/2005	32,94	28,41	11/8/2006	32,90	29,62
30/11/2005	32,96	28,45	12/8/2006	32,93	29,98
1/12/2005	33,06	28,58	13/8/2006	32,99	29,93
2/12/2005	33,09	28,61	14/8/2006	32,97	29,88
3/12/2005	33,02	28,55	15/8/2006	33,13	29,97
4/12/2005	32,92	28,45	16/8/2006	33,19	29,96
5/12/2005	32,85	28,41	17/8/2006	33,26	30,01
6/12/2005	32,91	28,52	18/8/2006	33,23	29,97
7/12/2005	32,96	28,57	19/8/2006	33,20	29,91
8/12/2005	32,90	28,38	20/8/2006	33,21	29,80
9/12/2005	32,91	28,38	21/8/2006	33,28	29,76
10/12/2005	32,95	28,48	22/8/2006	33,23	29,58
11/12/2005	32,98	28,51	23/8/2006	33,18	29,47
12/12/2005	32,95	28,45	24/8/2006	33,18	29,43
13/12/2005	32,93	28,41	25/8/2006	33,11	29,31
14/12/2005	32,92	28,38	26/8/2006	32,99	29,16
15/12/2005	32,83	28,29	27/8/2006	33,07	29,27
16/12/2005	32,75	28,22	28/8/2006	33,19	29,37
17/12/2005	32,74	28,23	29/8/2006	33,26	29,41
18/12/2005	32,76	28,25	30/8/2006	33,21	29,31
19/12/2005	32,80	28,33	31/8/2006	33,11	29,18
20/12/2005	32,89	28,50	1/9/2006	33,05	29,09
21/12/2005	32,87	28,56	2/9/2006	32,93	28,96
22/12/2005	32,80	28,52	3/9/2006	33,08	29,23
23/12/2005	32,73	28,47	4/9/2006	33,19	29,43
24/12/2005	32,80	28,57	5/9/2006	33,26	29,48
25/12/2005	32,85	28,63	6/9/2006	33,27	29,45
26/12/2005	32,84	28,62	7/9/2006	33,19	29,33
27/12/2005	32,81	28,59	8/9/2006	33,09	29,20
28/12/2005	32,78	28,55	9/9/2006	33,08	29,16
29/12/2005	32,70	28,48	10/9/2006	33,12	29,14
30/12/2005	32,67	28,45	11/9/2006	33,04	29,04
31/12/2005	32,67	28,46	12/9/2006	33,10	29,11
1/1/2006	32,67	28,46	13/9/2006	33,13	29,21
2/1/2006	32,66	28,45	14/9/2006	33,18	29,45

3/1/2006	32,66	28,44	15/9/2006	33,38	29,70
4/1/2006	32,64	28,42	16/9/2006	33,57	29,69
5/1/2006	32,57		17/9/2006	33,57	29,57
6/1/2006	32,52	28,43	18/9/2006	33,53	29,48
7/1/2006	32,51	28,40	19/9/2006	33,48	29,40
8/1/2006	32,48	28,38	20/9/2006	33,37	29,26
9/1/2006	32,49	28,40	21/9/2006	33,41	29,30
10/1/2006	32,48	28,38	22/9/2006	33,39	29,25
11/1/2006	32,51	28,44	23/9/2006	33,37	29,24
12/1/2006	32,47	28,38	24/9/2006	33,46	29,38
13/1/2006	32,51	28,43	25/9/2006	33,48	29,38
14/1/2006	32,50	28,41	26/9/2006	33,47	29,32
15/1/2006	32,42	28,34	27/9/2006	33,39	29,20
16/1/2006	32,43	28,38	28/9/2006	33,37	29,20
17/1/2006	32,53	28,50	29/9/2006	33,41	29,24
18/1/2006	32,49	28,51	30/9/2006	33,39	29,18
19/1/2006	32,47	28,51	1/10/2006	33,32	29,09
20/1/2006	32,61	28,62	2/10/2006	33,27	29,04
21/1/2006	32,70	28,68	3/10/2006	33,24	28,99
22/1/2006	32,78	28,74	4/10/2006	33,20	28,93
23/1/2006	32,80	28,73	5/10/2006	33,21	28,95
24/1/2006	32,78	28,69	6/10/2006	33,31	29,03
25/1/2006	32,76	28,67	7/10/2006	33,30	29,01
26/1/2006	32,89	28,78	8/10/2006	33,30	29,00
27/1/2006	32,90	28,76	9/10/2006	33,26	28,94
28/1/2006	32,86	28,71	10/10/2006	33,18	28,86
29/1/2006	32,81	28,64	11/10/2006	33,18	28,87
30/1/2006	32,79	28,62	12/10/2006	33,18	28,83
31/1/2006	32,84	28,67	13/10/2006	33,16	28,77
1/2/2006	32,83	28,64	14/10/2006	33,12	28,70
2/2/2006	32,80	28,59	15/10/2006	33,15	29,07
3/2/2006	32,75	28,53	16/10/2006	33,26	29,23
4/2/2006	32,72	28,51	17/10/2006	33,26	29,15
5/2/2006	32,67	28,44	18/10/2006	33,22	29,06
6/2/2006	32,68	28,45	19/10/2006	33,21	29,02
7/2/2006	32,69	28,55	20/10/2006	33,22	29,02
8/2/2006	32,71	28,53	21/10/2006	33,19	28,94
9/2/2006	32,74	28,43	22/10/2006	33,15	28,87
10/2/2006	32,77	28,53	23/10/2006	33,14	28,85
11/2/2006	32,75	28,53	24/10/2006	33,08	28,77
12/2/2006	32,70	28,49	25/10/2006	33,02	28,69
13/2/2006	32,69	28,49	26/10/2006	33,02	28,81
14/2/2006	32,67	28,46	27/10/2006	33,02	28,84
15/2/2006	32,65	28,44	28/10/2006	33,01	28,88
16/2/2006	32,62	28,41	29/10/2006	32,96	28,83
17/2/2006	32,61	28,41	30/10/2006	32,93	28,83
18/2/2006	32,64	28,44	31/10/2006	32,94	28,86
19/2/2006	32,66	28,46	1/11/2006	32,93	28,87
20/2/2006	32,62	28,41			
21/2/2006	32,51	28,31			
22/2/2006	32,45	28,25			
23/2/2006	32,46	28,27			
24/2/2006	32,44	28,27			
25/2/2006	32,49	28,47			
26/2/2006	32,56	28,61			
27/2/2006	32,59	28,65			
28/2/2006	32,59	28,64			
1/3/2006	32,57	28,65			
2/3/2006	32,58	28,66			
3/3/2006	32,55	28,63			
4/3/2006	32,56	28,61			
5/3/2006	32,60	28,65			
6/3/2006	32,61	28,67			

7/3/2006	32,61	28,65			
8/3/2006	32,57	28,60			
9/3/2006	32,55	28,59			
10/3/2006	32,65	28,72			
11/3/2006	32,66	28,85			
12/3/2006	32,63	28,84			
13/3/2006	32,59	28,83			
14/3/2006	32,59	28,86			
15/3/2006	32,56	28,84			
16/3/2006	32,54	28,83			
17/3/2006	32,51	28,81			

ANEXO C.

Tabela C.1 – Intensidade e direção do vento em Rio Grande e em Porto Alegre para os períodos das três primeiras saídas.

Data	Hora	(Rio Grande)	Rio Grande (m/s)	(Porto Alegre)	Porto Alegre (m/s)
26/10/2003	12:00	SW	2	NW	1
26/10/2003	18:00	SW	4	SW	1
27/10/2003	00:00	SW	5	S	1
27/10/2003	12:00	S	2	SE	3
27/10/2003	18:00	SE	3	SE	4
28/10/2003	00:00	SE	2	SE	2
28/10/2003	12:00	NE	2	NE	2
28/10/2003	18:00	E	4	E	2
29/10/2003	00:00	NE	5	E	3
29/10/2003	12:00	E	4	NE	1
29/10/2003	18:00	E	4	E	2
30/10/2003	00:00	NE	5	NE	2
30/10/2003	12:00	NE	2	NE	3
30/10/2003	18:00	NE	3	NE	2
31/10/2003	00:00	NE	6	NE	1
31/10/2003	12:00	S	1	NE	2
31/10/2003	18:00	SW	5	NE	1
1/11/2003	00:00	S	8	SE	2
1/11/2003	12:00	S	6	S	4
1/11/2003	18:00	S	8	SE	5
2/11/2003	00:00	S	8	SE	4
2/11/2003	12:00	S	5	SE	3
2/11/2003	18:00	SE	5	SE	3
2/1/2004	00:00	S	1	SE	1
2/1/2004	12:00	NW	1	NE	1
2/1/2004	18:00	SE	1	SE	2
3/1/2004	00:00	NE	1	SE	1
3/1/2004	12:00	NE	2	E	1
3/1/2004	18:00	E	4	NE	3
4/1/2004	00:00	NE	4	NE	3
4/1/2004	12:00	NE	5	NE	2
4/1/2004	18:00				
5/1/2004	00:00	NE	5	NE	3
5/1/2004	12:00	NE	3	NE	2
5/1/2004	18:00	NE	3	NE	2
6/1/2004	00:00	NE	1	NE	2
6/1/2004	12:00	N	1	NE	2
6/1/2004	18:00	E	3	NE	2
7/1/2004	00:00	E	1	NE	2
7/1/2004	12:00	NE	2	NE	1
7/1/2004	18:00	E	3	NE	1
8/1/2004	00:00	NE	1	NE	2
8/1/2004	12:00	E	2	NE	1

8/1/2004	18:00	E	3	NE	2
9/1/2004	00:00	E	3	E	1
9/1/2004	12:00	NE	2	NE	1
9/1/2004	18:00	E	4	NE	2
25/3/2004	00:00	NE	1	NE	1
25/3/2004	12:00	NE	2	NE	1
25/3/2004	18:00	NE	1	SE	1
26/3/2004	00:00	NE	3	E	1
26/3/2004	12:00	C	0	SE	1
26/3/2004	18:00	E	2	SE	2
27/3/2004	00:00	E	2	SE	2
27/3/2004	12:00	NE	1	S	1
27/3/2004	18:00	SE	1	S	3
28/3/2004	00:00	SE	2	SW	3
28/3/2004	12:00	E	2	NE	4
28/3/2004	18:00	E	4	NE	3
29/3/2004	00:00	E	2	NE	3
29/3/2004	12:00	NE	4	NE	1
29/3/2004	18:00	E	5	NE	1
30/3/2004	00:00	NE	3	NE	2
30/3/2004	12:00	E	5	SE	1
31/3/2004	00:00	NE	5	N	2
31/3/2004	12:00	NE	3	N	1
31/3/2004	18:00	E	4	NE	1

ANEXO D. VAZÕES MENSIS DOS RIOS JACUÍ, CAMAQUÃ E TAQUARI

Tabela D.1 - Séries de médias mensais de vazão em metros cúbicos por segundo. Para o rio Jacuí foram utilizados dados da estação Rio Pardo (85900000); para o Camaquã, da estação Passo do Mendonça (87905000); para o Taquari, da estação Muçum (86510000). O número entre parênteses indica o código de cada estação no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Acessado em 02/12/2006.

Vazão Rio Camaquã (m³/s)	Vazão Rio Jacuí (m³/s)	Vazão Rio Taquari (m³/s)
Vazão mensal máxima = 1843 (entre maio de 1964 e janeiro de 2006)	Vazão mensal máxima = 6305 (entre janeiro de 1940 e janeiro de 2006)	Vazão mensal máxima = 1977 (entre janeiro de 1940 e janeiro de 2006)
Vazão mensal mínima = 13,3 (entre maio de 1964 e janeiro de 2006)	Vazão mensal mínima = 26,41 (entre janeiro de 1940 e janeiro de 2006)	Vazão mensal mínima = 8,33 (entre janeiro de 1940 e janeiro de 2006)
Vazão mensal média = 344 (entre maio de 1964 e janeiro de 2006)	Vazão mensal média = 876,82 (entre janeiro de 1940 e janeiro de 2006)	Vazão mensal média = 362,60 (entre janeiro de 1940 e janeiro de 2006)
Vazão mensal máxima = 446 (no período de coleta)	Vazão mensal máxima = 1756 (no período de coleta)	Vazão mensal máxima = 906 (no período de coleta)
Vazão mensal mínima = 19,5 (no período de coleta)	Vazão mensal mínima = 142 (no período de coleta)	Vazão mensal mínima = 71,3 (no período de coleta)
Vazão mensal média = 234,5 (no período de coleta)	Vazão mensal média = 661 (no período de coleta)	Vazão mensal média = 406,4 (no período de coleta)