

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

DINÂMICA DA VEGETAÇÃO NO BANHADO DO TAIM, RS

LAURINDO ANTONIO GUASSELLI

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: David da Motta Marques

Banca Examinadora

Prof. Dr. Albano Schwarzbold
Profª Drª Tatiana Mora Kuplich
Profª Drª Dirce Suertegaray

Depto. Ecologia/UFRGS
Div. de Sensoriam. Remoto/INPE
Depto. Geografia/IG/UFRGS

Porto Alegre, julho de 2005

APRESENTAÇÃO

O presente estudo foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. David da Motta Marques do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Este estudo está inserido no Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) Sistema Hidrológico do Taim – Sítio 7, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O PELD é composto por uma rede de sítios selecionados dos principais ecossistemas brasileiros e tem como foco a pesquisa integrada, contando com uma rede internacional, International Long Term Ecological Research Program (ILTER), composta por 21 países.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. David da Motta Marques, que possibilitou a oportunidade de desenvolver esta pesquisa na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, área de grande interesse científico e afetivo para mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A Prof. Jorge Ducati diretor do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que possibilitaram o meu envolvimento nesta Tese.

A Universidade de Santa Cruz do Sul / UNISC, que possibilitou o meu envolvimento nesta Tese.

Aos Profs. Dirce Suertegaray e Vitor Haertel, e ao funcionário José Carlos Nunes, minhas referências de empenho a pesquisa, dedicação a esta Universidade, ética nas suas atitudes, e pela amizade e conhecimentos compartilhados.

A Prof. Dejanira Saldanha e a geog. Ana Bertê, pelo auxílio na revisão deste texto.

As amigas Mônica e Magdalena pelos anos de convivência e amizade no CEPSRM.

Ao João Carlos grande amigo.

Aos colegas que compartilharam conhecimento e o orientador: Eduardo, Simone, Vanessa, Tiago e Rogério.

Aos meus pais Angelo e Adelaide pelo exemplo de simplicidade e de caráter frente as coisas do mundo, e as minhas irmãs Lucila, Laura e Lucia.

RESUMO

Este estudo analisou a dinâmica espacial e temporal dos padrões das macrófitas aquáticas no Banhado do Taim - RS, por meio de imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD, no período compreendido entre 1973 e 2005. Foi analisada a influência da variação da estrutura de fundo do banhado e dos diferentes extratos que a compõem, para caracterizar a distribuição dos padrões espaciais e temporais das macrófitas aquáticas. Esta abordagem buscou avaliar o quanto a estrutura de fundo pode desempenhar um papel mais importante do que lhe vem sendo atribuído na definição destes padrões. Este questionamento se deu, devido à existência de uma recorrência do padrão de distribuição das macrófitas no banhado, que pode ser observado na série temporal de imagens de satélite e produtos derivados. Foram abordadas duas escalas espaciais de análise. Na primeira escala são analisados os padrões de superfícies de lâmina de água aparente, de distribuição das classes de macrófitas aquáticas, da variação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da variação textural para a superfície do Banhado do Taim como um todo. Nessa escala o limite da área do Banhado do Taim, nas imagens de satélite e produtos derivados, tem uma superfície total de 17882hectares que representam 53% dos 33815hectares da área total da Unidade de Conservação Federal Estação Ecológica do Taim. A segunda escala de análise corresponde a denominada janela do DNOS. Nessa escala, foram analisados os padrões espaciais e temporais considerando como agente principal na definição dos padrões de distribuição das macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, a variação da estrutura de fundo. Esta abordagem é inicialmente restrita a esta área, tendo em vista as informações disponíveis. Nesta escala o limite utilizado para delimitar a área nas imagens de satélite e produtos derivados, tem uma superfície total de 2700hectares que representam 15% dos 17882hectares da área total do Banhado do Taim. As relações estabelecidas para a área de maior detalhe foram então ampliadas para a área definida pela primeira escala, quando então, foram espacializadas estas relações para a superfície do Banhado do Taim como um todo. Esta abordagem permitiu concluir que a espécie de macrófita predominante no Banhado do Taim, em termos de área total, é a espécie *Z.bonariensis*, e que existe uma recorrência da estrutura básica dos padrões de distribuição das macrófitas. Este padrão, se mantém, mesmo depois dos pulsos de inundação ou de prolongados períodos de águas baixas, e está vinculado às estruturas de fundo no Banhado do Taim.

ABSTRACT

The present study analyzes the dynamics of the spatial and temporal distribution patterns of the aquatic macrophytes in the Taim wetland in the state of Rio Grande do Sul. It uses images obtained with the Landsat MSS, Landsat TM and Cbers CCD satellites from 1973 to 2005. The influence of bottom morphology variation of the wetland and of its different strata was analyzed to characterize the spatial and temporal distribution patterns of the aquatic macrophytes and thus assess if bottom morphology plays a far more important role than currently attributed to it in the definition of these patterns. This questioning arose from the observation of a recurrent distribution pattern of the macrophytes in the wetland, which can be seen in the temporal series of satellite images and its derived products. Two spatial analysis scales have been addressed. In the first scale, following patterns were analyzed: surface of visible water sheet, distribution of aquatic macrophyte classes, variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and textural variation of the Taim wetland as a whole. According to this scale, in the satellite images and derived products, the entire Taim wetland has 17,882 hectares, i.e. 53 % of the 33,815 hectares that comprise the total area of the federal conservation unit Taim Ecological Station. The second scale corresponds to the so called DNOS window. In this scale, the spatial and temporal patterns have been analyzed in the light of bottom morphology variation being the main agent defining the distribution patterns of the aquatic macrophytes in the Taim wetland. Initially, in view of available data, this approach was restricted to this area. In this scale, the area delimited in the satellite images and derived products has 2,700 hectares, i.e. 15 % of total area of the Taim wetland (17,882 hectares). The relationships established in the area of greater detail were then extended to the area defined in the first scale, and these relationships were afterwards spatialized to the surface of the Taim wetland as a whole. This approach brought us to the conclusion that the predominant macrophyte in the Taim wetland, in terms of total area, is the *Z. bonariensis* species and that there is a recurrence of the basic structure of macrophytes distribution patterns. This pattern persists even after flood pulses or lengthy periods of water lowstand and it is linked to the structure of the bottom morphology of the Taim wetland.

SUMÁRIO

Capa	
Apresentação	
Agradecimentos	
Resumo	
Abstract	
Sumário	
Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas	
1 - Introdução	01
1.1 - Justificativa.....	01
1.2 - Estrutura da Tese.....	04
1.3 - Objetivos	05
1.3.1 - Objetivo Geral.....	05
1.3.2 - Objetivos específicos.....	05
1.4 - Banhados ou Terras Úmidas.....	07
1.5 - A variável tempo na análise de terras úmidas.....	09
1.6 - Materiais e métodos.....	10
1.6.1 - Levantamento de dados.....	11
1.6.2 - Pré-processamento das imagens de satélite.....	15
1.6.3 - Geração de produtos derivados.....	16
1.7 - Referências bibliográficas.....	17
2 - Localização da área de estudo	21
2.1 - Referências bibliográficas.....	25
3 - Efeitos das flutuações do nível da água sobre a dinâmica do Banhado do Taim-RS.	27
3.1 - Introdução.....	27

3.2 - Materiais e métodos.....	30
3.3 - Resultados e discussão.....	32
3.4 - Conclusões.....	44
3.5 - Referências bibliográficas.....	44
4 - Padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim - RS.....	47
4.1 - Introdução.....	47
4.2 - Materiais e métodos.....	52
4.3 - Resultados e discussão.....	55
4.4 - Conclusões.....	70
4.5 - Referências bibliográficas.....	71
5 - Padrões do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no Banhado do Taim - RS.....	74
5.1 - Introdução.....	74
5.2 - Materiais e métodos.....	77
5.3 - Resultados e discussão.....	79
5.4 - Conclusões.....	94
5.5 - Referências bibliográficas.....	94
6 - Efeitos da oscilação do nível da água na definição de padrões espaciais das paisagens no Banhado do Taim - RS.....	96
6.1 - Introdução.....	96
6.2 - Materiais e métodos.....	100
6.3 - Resultados e discussão.....	102
6.4 - Conclusões.....	111
6.5 - Referências bibliográficas.....	112
7 - Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas, no área total do Banhado do Taim - RS.....	115
7.1 - Introdução.....	115
7.2 - Materiais e métodos.....	119
7.3 - Resultados e discussão.....	122
7.3.1 - Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas, na janela do DNOS.....	122

7.3.2 - Relações entre a estrutura de fundo e a ocorrência de lâmina de água aparente.....	122
7.3.3 - Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas.....	130
7.3.4 - Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim - RS.....	140
7.4 - Conclusões.....	151
7.5 - Referências bibliográficas.....	152
8 - Dinâmica da vegetação no Banhado do Taim - RS.....	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.6.1.1 - Imagens do Banhado do Taim, em composição colorida falsa-cor, Landsat MSS (R7G5B4), e Landsat TM (R4G5B3).....	13
Figura 1.6.1.2 - Imagens do Banhado do Taim, em composição colorida falsa-cor, Landsat TM (R4G5B3), e Cbers CCD (R4G3B2).....	14
Figura 2.1 – Sistema Hidrológico do Taim - RS, e localização da área de estudo.....	23
Figura 2.2 – Mapa de localização do Banhado do Taim - RS, e padrão de uso do solo no seu Entorno, imagem Landsat TM5, composição colorida 5R4G3B de 24/02/00.....	24
Figura 3.3.1 - Hidroperíodo do Banhado do Taim - RS, 1960-2002 (Tassi e Villanueva, 2003), e posição das imagens analisadas.....	32
Figura 3.3.2 – Variação das médias do nível da água no Banhado do Taim - RS, com base no hidroperíodo de Tassi e Villanueva (2003), para as imagens de satélite (1973-2002).....	33
Figura 3.3.3 - Área ocupada por lâmina de água aparente no Banhado do Taim - RS, Imagens Landsat MSS (1973-1979) e TM (1984 - 1996), obtida por classificação digital da banda do infravermelho médio.....	38
Figura 3.3.4 - Área ocupada por lâmina de água aparente no Banhado do Taim - RS, imagens Landsat TM (1997-2003) e Cbers CCD (2004-2005), obtida por classificação digital da banda do infravermelho médio.....	39
Figura 3.3.5 - Variação da superfície com lâmina de água aparente no Banhado do Taim - RS (1973 - 2005).....	40
Figura 3.3.6 - Áreas mais suscetíveis à cobertura de lâmina de água aparente, no Banhado do Taim - RS, obtida pela soma de 21 imagens de lâmina de água aparente.....	42

Figura 4.1.1 - Perfil esquemático mostrando a zonação das plantas hidrófilas (modificado de Arbo <i>et al.</i> , 2001).....	48
Figura 4.1.2 - Curva espectral de uma folha de vegetação sadia. Fonte: Moreira (2003).....	50
Figura 4.1.3 - Curva de reflectância de folhas verdes e de folhas senescentes. Fonte: Moreira (2003).....	51
Figura 4.1.4 - Reflectância espectral de água-pé (<i>Eichhornia crassipes</i>) como uma função do percentual de cobertura. Fonte: Peterson <i>et al.</i> (2002).....	52
Figura 4.2.1 - Localização das amostras das classes de cobertura de macrófitas aquáticas.....	55
Figura 4.3.1 - Padrões espectrais e áreas predominantes de ocorrência das classes das macrófitas flutuantes, submersas, <i>S.californicus</i> , <i>Z.bonariensis</i> e <i>S.giganteus</i> , Banhado do Taim, (imagem Landsat TM, colorida falsa cor (4R5G3B), com realce linear de contraste, de 09/05/95).....	58
Figura 4.3.2 - Características das paisagens com ocorrência de <i>espécies flutuantes</i> , foto junto a margem da BR-471, no Banhado do Taim - RS.....	59
Figura 4.3.3 - Características das paisagens com ocorrência de <i>Scirpus californicus</i> , foto junto a margem da BR-471 próximo ao canal da Sarita no Banhado do Taim - RS.....	60
Figura 4.3.4 - Características das paisagens com ocorrência de <i>Zizaniopsis bonariensis</i> , foto junto a margem da BR-471, no Banhado do Taim - RS.....	61
Figura 4.3.5 - Características das paisagens com ocorrência de <i>Scirpus giganteus</i> , foto junto ao canal do Negreiros, na margem direita do Banhado do Taim - RS.....	62
Figura 4.3.6 - Classes de cobertura vegetal no Banhado do Taim – imagens Landsat MSS (1973-1979) e TM (1984 -1996).....	65
Figura 4.3.7 - Classes de cobertura vegetal no Banhado do Taim – imagens Landsat TM (1997-2003) e Cbers CCD (2004-2005).....	66

Figura 5.1.1 – Relação inversa entre a reflectância da folha e a absorção da água. Fonte: Swain e Davis (1978).....	75
Figura 5.3.1 - Imagens NDVI do Banhado do Taim, obtidas de imagens Landsat MSS (1973-1979) e TM (1984-1996).	80
Figura 5.3.2 - Imagens de NDVI do Banhado do Taim, obtidas de imagens Landsat TM (1997-2003) e Cbers CCD (2004-2005).....	81
Figura 5.3.3 - Variação das médias de NDVI para (1) toda a superfície do banhado; e (2) só a superfície coberta por macrófitas.....	82
Figura 5.3.4 - Variação das médias de NDVI, classe de macrófitas <i>Z.bonariensis</i>	86
Figura 5.3.5 - Variação das médias das amostras de NDVI, classe de macrófita <i>S.giganteus</i>	87
Figura 5.3.6 - Variação das médias das amostras de NDVI, classe de macrófita <i>S.californicus</i>	87
Figura 5.3.7 - Variação das médias das amostras de NDVI, macrófitas flutuantes.....	88
Figura 5.3.8 - Variação das médias das amostras de NDVI, macrófitas submersas e / ou água de água livre.....	89
Figura 5.3.9 - Médias de NDVI para as seis classes de macrófitas em relação ao nível das águas no Banhado do Taim.	90
Figura 5.3.10 - Imagens de classes de NDVI do Banhado do Taim, obtidas por fatiamento das imagens de NDVI (1973-1996).	92
Figura 5.3.11 - Imagens de classes de NDVI do Banhado do Taim, obtidas por fatiamento das imagens de NDVI (1997-2005).....	93

Figura 6.1.1 - Exemplo de elementos de paisagem e interação entre suas manchas.....	97
Figura 6.2.1 - Imagens Landsat TM, banda TM4, das imagens de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, no Banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).....	101
Figura 6.3.1 - Imagens de textura, índice de diversidade, a partir da banda TM4 das imagens de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, no Banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).....	104
Figura 6.3.2 - Histogramas da imagens de textura, índice de diversidade, a partir da banda TM4 das imagens de (a) 04/12/84, (b) 09/05/95 e (c) 28/01/02, no Banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).....	105
Figura 6.3.3 - Classes de índice de diversidade no banhado do Taim - RS, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).....	108
Figura 7.1.1 - Carta Geomorfológica - Transecto do Taim, modificado de Gomes (1987)....	116
Figura 7.2.1 - Localização das escalas de análise: (a) Banhado do Taim; e (b) janela do DNOS.....	120
Figura 7.3.2.1 - Perfil do transecto A, para os fundos de areia, argila e matéria orgânica, Banhado do Taim - RS (DNOS, 1968).....	123
Figura 7.3.2.2 - Perfil do transecto B, para os fundos de areia, argila e matéria orgânica, Banhado do Taim - RS (DNOS, 1968).....	123
Figura 7.3.2.3 - Perfil do transecto C, para os fundos de areia, argila e matéria orgânica, Banhado do Taim - RS (DNOS, 1968).....	124
Figura 7.3.2.4 - Mapas de profundidade: (a) matéria orgânica; (b) argila; e mapas de espessura: (c) matéria orgânica e (d) argila, para a janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	125
Figura 7.3.2.5 - Variação da superfície de lâmina de água aparente, janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	126

Figura 7.3.2.6 - Áreas mais suscetíveis a cobertura de lâmina de água aparente, janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	127
Figura 7.3.3.1 - Imagens Landsat TM, de 04/12/84, em composição colorida 4R5G3B (a); e imagem de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	131
Figura 7.3.3.2 - Imagens Landsat TM, 09/05/95, em composição colorida 4R5G3B (a); e imagem de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	132
Figura 7.3.3.3 - Imagens Landsat TM, 28/01/02, em composição colorida 4R5G3B (a); e imagem de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	133
Figura 7.3.3.4 - Imagem de NDVI (a); e imagem de classes de NDVI (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.....	135
Figura 7.3.3.5 - Imagens de Principais Componentes, no Banhado do Taim - RS, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI (1973-2005): (a) PC1; (b) PC2; (c) PC3 e (d) composição colorida dos três PCs.....	136
Figura 7.3.3.6 - Contribuição das três Principais Componentes (autovetores), geradas por Análise de Séries Temporais (TSA), de 21 imagens de NDVI.....	138
Figura 7.3.4.1 - Perfil esquemático mostrando a zonação das plantas hidrófilas (modificado de Arbo <i>et al.</i> , 2001).....	141
Figura 7.3.4.2 - Localização dos transectos A, B e C do DNOS, no Banhado do Taim - RS, com destaque para os pontos mais secos e os vértices de argila, sobre imagem Landsat TM em composição colorida (4R5G3B) de 09/05/95.....	143
Figura 7.3.4.3 - Nível de água baixo no Banhado do Taim - RS, imagens de satélite: (a) 25/11/75 (sensor MSS); (b) 09/05/95 e (c) 04/03/97 (sensor TM), com respectivamente 2,89; 2,09 e 1,86 respectivamente de nível de água.....	146
Figura 7.3.4.4 - Banhado do Taim - RS: (a) Mapa de curvas de nível, e (b) Mapa das zonas não inundadas e com vegetação aparente, segundo Paz (2003).....	147

Figura 7.3.4.5 - Nível de água alto no Banhado do Taim - RS, as setas indicam pontos de acumulação de macrófitas, imagens de satélite: (a) 24/09/79 (sensor MSS); (b) 14/08/84; (c) 17/10/03 (sensor TM), com respectivamente 4,49; 4,40 e 4,40 respectivamente de nível de água.....149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.7.1.1 - Data das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD	11
Tabela 1.7.1.2 - Características das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD.....	12
Tabela 3.3.1 - Variação do nível médio da água (régua do arroio Veado) no Banhado do Taim - RS, e das médias dos totais mensais de precipitação (Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar,RS).....	34
Tabela 3.3.2 - Correlação (r) entre o nível médio da água e a precipitação, banhado do Taim - RS.....	35
Tabela 3.3.3 - Correlação entre o nível médio das águas (régua do Veado montante) e áreas de lâmina de água aparente (classificação digital) entre 1973 e 2002, no Banhado do Taim	41
Tabela 3.3.4 - Correlação entre precipitação (Santa Vitória do Palmar-RS) e as áreas de lâmina de água aparente (classificação digital) entre 1973 e 2002, Banhado do Taim - RS....	41
Tabela 3.3.5 - Número de ocorrências de lâmina de água aparente, Banhado do Taim - RS...43	
Tabela 4.3.1 - Área média. (ha) das classes de cobertura de macrófitas aquáticas. no Banhado do Taim – RS.....	68
Tabela 4.3.2 - Percentual de acerto da classificação digital para <i>Z.bonariensis</i> , no Banhado do Taim - RS.....	69
Tabela 4.3.3 - Percentual de acerto da classificação digital para as espécies: <i>S.californicus</i> ; <i>S.giganteus</i> ; macrófitas flutuantes; macrófitas submersas e/ou lâmina de água aparente, no Banhado do Taim.....	69

Tabela 5.1.1 - Alguns tipos de índices de vegetação.....	76
Tabela - 6.3.1 - Variação do nível médio da água (régua do arroio Veado) e das médias dos totais de precipitação (Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar, RS).....	103
Tabela 6.3.2 - Área (ha) das classes de macrófitas aquáticas em relação às classes de diversidade (imagens de 04/12/84, nível de água alto).....	109
Tabela 6.3.3 - Área (ha) das classes de macrófitas aquáticas em relação às classes de diversidade (imagens de 09/05/95, nível de água baixo).....	109
Tabela 6.3.4 - Área (ha) das classes de macrófitas aquáticas em relação às classes de diversidade (imagens de 28/01/02, nível de água médio).....	109
Tabela 7.1.1 – Topografia de superfície do Banhado do Taim nos transectos A, B e C.....	118
Tabela 7.3.2.6 - Número de ocorrências de lâmina de água aparente, nas 21 imagens classificadas.	127
Tabela 7.3.2.2 - Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de espessura de argila, no Banhado do Taim - RS.....	128
Tabela 7.3.2.3 - Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de espessura de matéria orgânica, no Banhado do Taim - RS.....	128
Tabela 7.3.2.4 - Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de profundidade de argila, no Banhado do Taim - RS.....	129
Tabela 7.3.2.5 - Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de profundidade de matéria orgânica, no Banhado do Taim - RS.....	130
Tabela 7.3.3.1 - Cruzamento entre as classes de espessura de argila e as classes de macrófitas aquáticas.	134
Tabela 7.3.3.2 - Contribuição das três Principais Componentes, geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 21 datas de imagens de NDVI.	137

LISTA DE ABREVIATURAS

CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellites

CCD – Câmara imageadora de alta resolução

DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico

ETM – Enhanced Thematic Mapper

Ha - Hectare

MSS – Multispectral Scanner System

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NDWI - Normalized Difference Water Index

PELD - Pesquisas Ecológicas de Longa Duração

RGB – Red green blue

SHT – Sistema Hidrológico do Taim

TM - Thematic Mapper

UTM – Universal Transverse de Mercator

WGS – World Global System

1 INTRODUÇÃO

1.1 – Justificativa

Este estudo está inserido no PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO (PELD), SITE 7 - SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM. O Programa é composto de uma rede de sítios dos principais ecossistemas brasileiros e tem como objetivo a pesquisa integrada de longa duração. O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) é caracterizado essencialmente por um continuum de áreas alagáveis composto por banhados e lagoas associadas, de água doce. A área deste estudo, o BANHADO DO TAIM está inserida na ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TAIM (ESEC TAIM), uma unidade de conservação federal com 33815 hectares entre a Lagoa Mirim e o Oceano Atlântico, criada através do Decreto nº 92.963, de 21 de julho de 1986. Localiza-se na região sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar.

O PROJETO Sistema Hidrológico do Taim procura aliar a Ecologia de Ecossistemas Aquáticos e a Hidrologia/Hidrodinâmica (hoje entendido como Ecohidrologia), para verificar como o meio biológico (comunidade/ecossistema) se relaciona com o meio físico, a água (quantidade/movimento), em interação recíproca. Pretende também a quantificação e a modelação desta interação além da busca de métodos próprios para estudo de sistemas de terras úmidas (banhados) subtropicais (Motta Marques, 2002).

Os banhados são componentes dinâmicos dos ecossistemas, suportando altos níveis de diversidade biológica e de produtividade primária e secundária. Banhados modulam o escoamento das águas, dos nutrientes e outros materiais através da paisagem, e provêm importantes componentes de habitats de vida selvagem (Holland *et al.*, 1991).

A percepção humana do ciclo natural desses ambientes, como os eventos de inundação e seca, tem conotações e alcances muito distintos. Essencialmente as inundações e em menor grau os períodos de secas, são problemas eminentemente humanos, já que a estrutura dos ecossistemas inundáveis e a biota em seus diferentes níveis de integração estão ajustadas

mediante mecanismos de seleção adaptativa e que têm operado de forma contínua durante períodos muito prolongados.

A definição e a quantificação dos elementos e estados de sistemas como o Banhado do Taim requer a incorporação da variável tempo para entender a variabilidade de sua dinâmica. Valores pontuais e/ou suas medidas não expressam a função da variabilidade, se não se expressa ao mesmo tempo a taxa de renovação. A distribuição e abundância dos organismos não estão condicionadas nas áreas úmidas somente à intercalação de fase de secas e de inundação, senão pelas trocas ambientais que nelas se produzem.

Estes ajustes têm diferentes implicações, dependendo da frequência, duração, magnitude e estacionalidade destes pulsos. Acompanhado a períodos extraordinariamente secos ou úmidos, produzem-se modificações drásticas na capacidade de carga, de aparência irreversível. Entretanto, em tempos relativamente curtos, opera-se a recuperação biótica do sistema, logo que cessar o período crítico, como consequência da memória biológica acumulada nos sistemas em tempos evolutivos (Neiff, 1997).

A complexidade que apresentam as terras úmidas se relaciona com o número de compartimentos que apresentam em diferentes pulsos de inundação ao longo de uma série temporal, e a complexidade interna de cada mosaico que compõe a paisagem, depende da amplitude que tenha em sua capacidade de carga.

Os diferentes estudos realizados sobre o Sistema Hidrológico do Taim (Tucci (1996); Motta Marques *et al.*, (1997); Motta Marques e Villanueva (2001); Villanueva e Tucci (2001); Paz (2003)) definem como sendo três os níveis de informações determinantes na configuração desse subsistema Banhado: 1) a estrutura de fundo do banhado; 2) o hidroperíodo; 3) a cobertura vegetal. Outros estudos (Hammer, 1992; Villanueva, 1997; Thomaz *et al.*, 1997; Narumalani *et al.*, 1997; Santos e Thomaz, 1999; Abdo e Silva, 2002; Tsuyuzaki, 2004), definem que o padrão de variação do nível da água é o principal fator condicionante na distribuição espacial da vegetação aquática em áreas úmidas. Mas Figiel *et al.*, 1995; Wetzel e van der Valk, 1998; Green e Galatowitsch, 2001; Maurer e Zedler, 2002 e Miller e Zedler, 2003; entretanto, descartam o nível da água e definem como fator condicionante a disponibilidade de nutrientes.

Estudos sob diferentes abordagens têm buscado estabelecer correlação entre a composição e distribuição espacial das macrófitas aquáticas e a variação do nível das águas (Knighton, 1985; David, 1996; Giovannini e Motta Marques, 1999; Santos e Thomaz, 2002), sua frequência e distribuição (Brinson, 1993; Clymo *et al.*, 1995, Giovannini, 2004), a relação com o regime ou comportamento hidrodinâmico de banhados (Giovannini *et al.*, 2001; Paz, 2003) e mesmo a classificação, identificação e delineamento de terras úmidas (Giovannini e Motta Marques, 2002; Giovannini, 2003). Segundo Dale (1999) a variabilidade dos fatores ambientais tem um efeito direto sobre o crescimento e o padrão espacial da vegetação. Muitos estudos, entretanto, têm simplesmente buscado a identificação da composição de espécies que compõem as áreas dos banhados e entendido suas relação de forma pontual sem, entretanto, analisar sua distribuição espacial.

Neste sentido, a utilização de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento permitem uma análise temporal e espacial da vegetação do Banhado do Taim, possibilitando uma maior agilidade no mapeamento da variação da cobertura vegetal, tendo em vista que levantamentos no local são de onerosa execução devido às dificuldades de acesso ao banhado, e também aos recursos necessários. Os diferentes grupos vegetais apresentam propriedades espectrais diferenciadas entre si, as bandas espectrais dos sensores orbitais possibilitam a análise multiespectral dessas macrófitas e sua diferenciação em função da pigmentação, estrutura e quantidade de água presente nas macrófitas, torna possível estabelecer padrões de unidades de vegetação determinados pela organização de cada sistema estudado. Na prática pode-se diferenciar e quantificar estas unidades de paisagem, ainda que os limites nem sempre sejam bem definidos devido às transições entre dois ou mais padrões de cobertura de macrófitas. O mapeamento da cobertura espacial e temporal das comunidades de macrófitas permite conhecer onde elas se localizam, qual sua extensão, seus diferentes grupos de espécies e suas variações temporais.

Assim este estudo busca avaliar a variação da cobertura vegetal de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, através de dados de sensoriamento remoto, tendo como foco principal a influência da variação da estrutura de fundo do banhado e oscilação do nível da água. Para avaliar a dinâmica espacial e temporal da vegetação no Banhado do Taim e entender a variação dos ciclos desse ecossistema, foi elaborada uma série de imagens derivadas referentes aos padrões da variação da distribuição das macrófitas no Banhado do Taim: (a) de lâmina de água aparente, (b) de classes de macrófitas aquáticas, (c) de classes de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e (d) de classes de Índice de

diversidade da paisagem. Para tanto, foi utilizada uma série temporal de imagens Landsat MSS, Landsat TM5 e ETM7 além de imagens do sensor Cbers CCD.

O crescimento de problemas ambientais que envolvem a preservação desses recursos naturais, mesmo os de áreas protegidas, como é o caso da ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TAIM, têm causado sérios impactos nesses ambientes. Estes impactos indicam que os banhados devem ser monitorados e suas funções protegidas, sendo importante para isso que sua dinâmica e suas propriedades espaciais sejam bem entendidas. Pretende-se dessa forma, com esse estudo, contribuir com informações espaciais e temporais relevantes relativas aos padrões e estruturas desse ambiente, visando o gerenciamento do Banhado do Taim e do SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM, e a preservação de suas funções.

1.2 - Estrutura da Tese

O texto desta Tese foi organizado da seguinte maneira: inicialmente no capítulo da introdução, após a justificativa e a definição dos objetivos, é feita uma breve revisão sobre o conceito de banhados (terras úmidas), e a importância da variável tempo para sua análise, apresentando também a metodologia utilizada para toda Tese no processamento digital das imagens de satélite. A partir daí o texto está subdividido e estruturado na forma de artigos complementares sob diferentes abordagens, envolvendo temas que se relacionam e interferem na “Dinâmica da Vegetação do Banhado no Taim - RS”, por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Os temas abordados por estes artigos são os seguintes:

O primeiro texto aborda os “Efeitos das flutuações do nível da água sobre a dinâmica do Banhado do Taim”, onde se estabelecem relações entre a variação das médias do nível da água no banhado, das médias de precipitação e as áreas de lâmina de água aparente, gerando como produto final uma imagem de áreas mais suscetíveis à ocorrência de lâmina de água aparente no banhado;

O segundo texto é sobre “Padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim”. Nesta análise a partir da definição de 06 classes de macrófitas aquáticas por meio da classificação digital de imagens orbitais, é feita uma avaliação dos padrões de sua distribuição espacial e temporal, obtendo como produto final uma série temporal de 21 imagens de classes de macrófitas aquáticas.

No terceiro texto “Padrões do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no Banhado do Taim” inicialmente é feita uma avaliação do comportamento do NDVI em relação às classes de macrófitas aquáticas, e depois se analisa o comportamento de sua distribuição espacial e temporal por meio de uma série temporal de imagens de classes de NDVI.

O quarto texto aborda os “Efeitos da oscilação do nível da água na definição de padrões espaciais das paisagens no Banhado do Taim”, por meio de imagens de índice de diversidade da paisagem, geradas a partir de três datas de imagens orbitais representativas dos níveis de água baixo, médio e alto no banhado.

O quinto texto estabelece “Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas, no Banhado do Taim”. Neste texto são abordadas duas escalas de análise, na primeira uma área no centro do banhado denominada janela do DNOS, onde são estabelecidas relações entre a profundidade e espessura das camadas de matéria orgânica e argila com os temas áreas de lâmina de água aparente, classes de vegetação de macrófitas aquáticas e classes de NDVI; e na segunda escala toda a área do Banhado do Taim, as relações estabelecidas para a janela do DNOS são extrapoladas para todo o Banhado do Taim.

1.3 - Objetivos

1.3.1 - Objetivo geral

Esta Tese tem como objetivo geral avaliar a dinâmica da vegetação do Banhado do Taim - RS, a partir da análise e mapeamento da distribuição espacial e temporal dos padrões das macrófitas aquáticas, por meio de uma série temporal de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento.

1.3.2 - Objetivos específicos

Os objetivos específicos dizem respeito ao objetivo geral a ser alcançado, e que são os seguintes:

Capítulo 1

- 1) Caracterizar os padrões de variação do nível da água e da precipitação no banhado;
- 2) Mapear as áreas do banhado com ocorrência de lâmina de água aparente;
- 3) Estabelecer correlações entre a ocorrência de áreas de lâmina de água aparente, o nível de água e as precipitações no Banhado do Taim;
- 4) Gerar mapa de áreas mais suscetíveis à cobertura de lâmina de água aparente.

Capítulo 2

- 1) mapear a cobertura vegetal de macrófitas aquáticas, a partir de imagens Landsat MSS, Landsat TM5 e ETM7 e Cbers CCD;
- 2) analisar os padrões da variação espacial e temporal das classes de macrófitas aquáticas.

Capítulo 3

- 1) mapear os padrões da variação espacial e temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da vegetação de macrófitas aquáticas, através de uma série de imagens Landsat MSS, Landsat TM5 e ETM7 e Cbers CCD;
- 2) analisar a ocorrência de sazonalidade nos padrões de NDVI das macrófitas aquáticas no Banhado do Taim.

Capítulo 4

- 1) avaliar a adequação do uso do índice de diversidade para analisar o Banhado do Taim;
- 2) analisar a variação dos índices de diversidade e sua relação com os padrões espaciais e temporais de distribuição das macrófitas aquáticas;
- 3) avaliar a influência de eventos perturbadores, ligados à oscilação do nível da água, na estrutura dos padrões do banhado.

Capítulo 5

- 1) Analisar as relações entre a variação da estrutura de fundo e a ocorrência de superfícies de lâmina de água aparente, as classes de macrófitas aquáticas e as classes de NDVI, buscando compreender a dinâmica das macrófitas aquáticas, na janela do DNOS;
- 2) Espacializar as relações entre a estrutura de fundo e os padrões da dinâmica das macrófitas aquáticas, observados na janela do DNOS, para toda a superfície do Banhado do Taim.

1.4 – Banhados ou terras úmidas

Uma série de definições para terras úmidas têm sido propostas, entre elas, a mais aceita internacionalmente, foi proposta na Convenção de Ramsar em 1971:

“Terras úmidas são áreas de banhado, pântanos, turfeiras ou água, sejam naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água parada ou fluindo, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de águas marinhas nas qual a profundidade na maré baixa não exceda a 6 metros” (Scott e Jones, 1995).

Esta definição é bastante ampla, estendendo os limites das terras úmidas até a profundidade de 6 metros. Desse modo, os “habitats” aquáticos da definição de Cowardin *et al.* (1979) ficam incluídos. Também apresenta uma expansão nas áreas a serem consideradas, pois inclui, dentro das terras úmidas (e fazendo parte delas), outros “habitats”, quando estes forem partes integrantes das terras úmidas, e seja virtualmente impossível separá-los (Giovannini, 2003).

Neiff (1997) classifica as terras úmidas na América do Sul em duas grandes categorias: 1) as grandes áreas úmidas, subdivididas em duas categorias: a) os pantanais; b) as áreas úmidas aluviais; 2) as áreas úmidas marginais, subdivididas em três categorias: fluviais; lacustres; litorais. Já em Barbier *et al.* (1997), são identificados cinco sistemas de áreas úmidas: estuarina; marinha; lóticos; palustres; lacustres. Em Maltby (1991) as terras úmidas ocupam a zona de transição entre dois locais permanentemente inundados e ambientes geralmente secos, e deste modo compartilham características com ambos.

Segundo Neiff (1997), entretanto, a identidade própria das grandes áreas úmidas (wetlands, bañados, banhados, brejos) que ocorrem na América do Sul impede que ele seja caracterizado como ecótono. A palavra ecótono ou transição ecológica utilizada por Clements (1985) tem sido questionada por Tiner (1993), Neiff (1990), Neiff *et al.* (1994) e Gopal (1994) e outros autores, porque funcionalmente não são “sistemas de transição entre terra e água”. De acordo com Neiff (1997), isto implica em um erro conceitual que pode ser perigoso não somente para o diagnóstico destes sistemas complexos, senão também para a análise de impacto de qualquer intervenção antrópica.

Giovannini (2003) propõe um método para delineamento de terras úmidas do Rio Grande do Sul. Para a área do Banhado do Taim, avalia que tivesse o delineamento dessa terra úmida se baseado exclusivamente nas características de solo, toda a área investigada seria classificada como tal, pois o solo é hidromórfico. No entanto, ao se delinear utilizando a comunidade vegetal como critério principal, ocorrem algumas modificações. Partes da área deixam de ser “terra úmida” e passam a ser “terra não úmida” (campo). Segundo o autor essa discrepância é devida a não existir uma lista de espécies vegetais de terras úmidas brasileiras que indiquem o “status” de cada espécie.

A característica dos solos do banhado é de solos hídricos. De acordo com USDA/NRCS 1998 apud Tiner (1999) solos hídricos são definidos como solos formados sob condições de saturação, alagamento, ou inundação por tempo suficientemente longo durante a estação de crescimento.

O termo banhado tem um significado popular muito abrangente, sendo utilizado para a denominação de terras alagadas e/ou alagáveis, com flora e fauna bem características e adaptadas a este sistema. A palavra é de origem espanhola, por isso bastante difundida no Rio Grande do Sul (em outras regiões do país é chamado de brejo ou pantanal) (Irgang e Gastal, Jr., 1996). Nesse estudo será utilizado ora banhado ora terra úmida para se referir a área do Banhado do Taim.

A convenção de Ramsar (2001) estabelece diversas funções desempenhadas pelas terras úmidas:

- 1 - controle de cheias;
- 2 - recarga de aquíferos;
- 3 - estabilização de litorais;
- 4 - retenção de sedimentos e nutrientes;
- 5 - mitigação de alterações climáticas;
- 6 - purificação das águas;
- 7 - reservas de biodiversidade;
- 8 - produção de bens;
- 9 - recreação e turismo e
- 10 - valor cultural.

1.5 – A variável tempo na análise de terras úmidas

Sem dúvida, à diferença dos sistemas aquáticos e terrestres, as terras úmidas constituem macrosistemas de alta variabilidade espaço-tempo. Isso não implica assumir que são sistemas de baixa estabilidade. Os sistemas pulsáteis (como rios e terras úmidas) se comportam como sistemas em permanente desequilíbrio, nos quais a variabilidade temporal é uma complexa função dependente das entradas e saídas de energia e materiais em distintos sítios da bacia, e das oportunidades combinatórias das populações na mesma para ajustar sua distribuição e abundância (Neiff, 1990). Então o desequilíbrio só pode ser percebido como a flutuação do sistema em uma série histórica de tempo (Neiff, 1997).

Segundo Neiff (1997) os processos ecológicos seguem padrões causados pelas diferenças temporais na velocidade e duração do fluxo de água e de materiais transportados (organismos, sólidos dissolvidos e suspensos). Cada uma das ondulações está composta de valores positivos e negativos em relação à ordenada. Durante a fase de inundação os corpos de água da planície (lagunas, paleocanais e meandros abandonados) se interconectam pelo fluxo do rio e recebe destes materiais e por sua vez aportam à água matéria orgânica e minerais do solo. Na fase de seca ocorre o isolamento paulatino dos corpos de água até que ocorra uma nova fase de inundação. O padrão de variabilidade dessas ondas é uma seqüência temporal conforme o regime pulsátil.

A importância da variável tempo para o entendimento da dinâmica do Banhado do Taim foi enfatizada na análise da hidrodinâmica e do hidroperíodo do Sistema Hidrológico do Taim (Villanueva, 1997; Villanueva e Tucci, 2001), e da variação do regime hídrico do Taim (Tucci, 1996), que buscaram através de conhecimento das variáveis físicas do ambiente obter uma melhor caracterização e distribuição do hidroperíodo do Banhado do Taim.

A definição e a quantificação dos elementos e estados do sistema requerem a incorporação da variável tempo, dado que os valores pontuais ou suas medidas não expressam a função de variabilidade se não se expressa ao mesmo tempo a taxa de renovação. Por essa razão os valores de diversidade específica e de dominância são cegos quando se usa como único meio de síntese a complexidade estrutural das áreas úmidas.

A riqueza de espécies em um determinado ambiente ou paisagem pode refletir sua complexidade quando se relaciona com a biomassa ou a produtividade, ou simplesmente com a frequência que tem dentro da coletividade.

As curvas de distribuição das populações vegetais demonstram que as plantas têm distinta frequência em diferentes posições topográficas. Os valores de frequência estão condicionados por vários fatores (solo, fogo, pastoreio, velocidade das correntes, interações bióticas), porém todos, de maneira direta ou indireta, dependem do padrão de pulsos e de sua variação ao longo do tempo.

1.6 – Materiais e métodos

A metodologia utilizada nesta pesquisa adotou duas escalas espaciais para análise da variação espacial e temporal dos padrões da vegetação de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim. As duas escalas são:

- 1) toda a área do Banhado do Taim, abrangendo uma superfície de 17882hectares;
- 2) janela na área central do Banhado do Taim, doravante denominada de janela do DNOS, abrangendo uma superfície de 2700hectares.

Neste estudo foram gerados produtos derivados de imagens de satélite e de dados edafológicos do DNOS (1968), com a intenção de analisar e estabelecer padrões da vegetação de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, e assim, explicar as variações espaciais e temporais destes padrões. Para tanto, o software utilizado para execução das atividades de processamento digital de imagens e geração de imagens derivadas foi o Idrisi32 – Release Two. Para atingir os objetivos propostos neste estudo foram executadas as seguintes etapas:

1.6.1 – Levantamento de dados

- A) Levantamento bibliográfico;

B) Levantamento de dados físicos do Banhado do Taim: série histórica do nível médio da água com base na régua Veado montante; série histórica de precipitação com base na Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar - RS;

C) Levantamento de bases cartográficas existentes para a área do Banhado do Taim: c1) dados edafológicos do Estudo complementar da viabilidade técnico econômica de transformação em irrigação da Região do Taim DNOS (1968); c2) carta Geomorfológica do Taim, elaborada por Gomes *et al.* (1987); c3) cartas topográficas do Serviço Geográfico do Exército de 1975;

D) Levantamento de imagens de satélite. Foram adquiridas e processadas as imagens dos seguintes sensores: 1) imagens do satélite Landsat MSS, órbita ponto 237/83; 2) imagens Landsat TM5 e ETM7, órbita ponto 221/83; 3) imagens Cbers CCD, órbitas ponto 158/136 e 158/137, apresentadas na Tabela 1.6.1.1 e nas Figuras 1.6.1.1 e 1.6.1.2;

A Tabela 1.6.1.1, mostra as datas das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD, adquiridas e processadas neste estudo, e a Tabela 1.6.1.2, mostra as características de cada um destes três sensores.

Tabela 1.6.1.1 - Datas das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD.

	jan	fev	mar	abril	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1				3/4/77 29/4/79			2/7/77	18/8/75	6/9/73		25/11/75	
2	28/1/02	24/2/00	4/3/97		9/5/95	6/7/87	30/7/96	14/8/84 18/8/00	17/9/99	17/10/03		04/12/84 19/12/95
3			6/3/05							27/10/04	22/11/04	

1 - Landsat MSS; 2 – Landsat TM5 e ETM7; 3 - Cbers CCD

Tabela 1.6.1.2 – Características das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD.

instrumento	banda	bandas espectrais	faixa imageada	periodicidade	resolução espacial
-------------	-------	-------------------	----------------	---------------	--------------------

			(km)	(dias)	(m)
Landsat MSS	4	0.5–0.6 (verde)			
	5	0.6–0.7 (vermelho)			
	6	0.7–0.8 (infravermelho próximo)	185	18	79 x 79
	7	0.8–1.1 (infravermelho próximo)			
Landsat TM	1	0.45–0.52 (azul)			
	2	0.52–0.60 (verde)			
	3	0.63–0.69 (vermelho)			
	4	0.76–0.90 (infravermelho próximo)	185	16	30 x 30
	5	1.55–1.75 (infravermelho médio)			
Cbers CCD	7	2.08–2.35 (infravermelho médio)			
	1	0.45–0.52 (azul)			
	2	0.52–0.59 (verde)			
	3	0.63–0.69 (vermelho)	113	26	20 x 20
	4	0.77–0.89 (infravermelho próximo)			

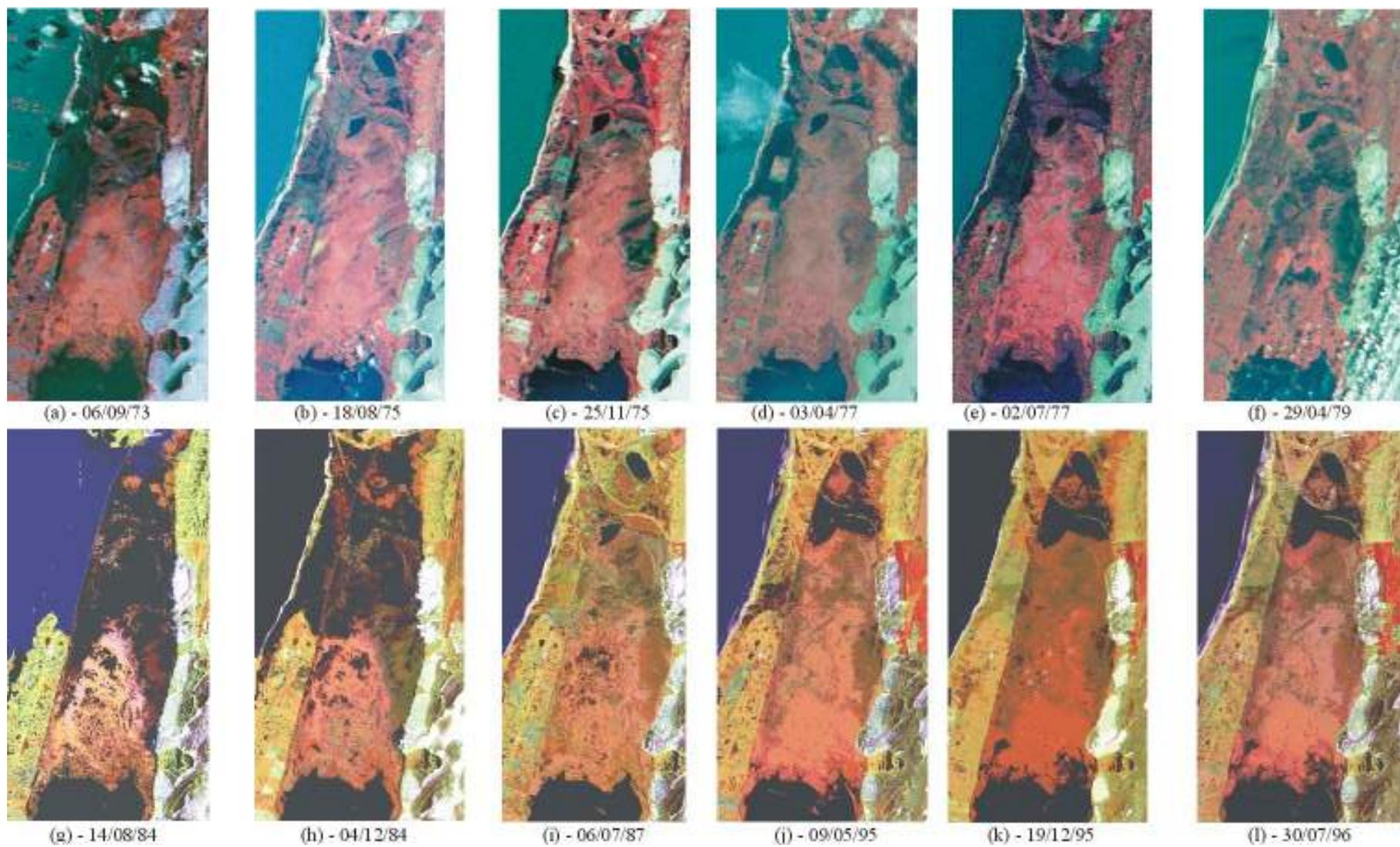


Figura 1.6.1.1 - Imagens do Banhado do Taim, em composição colorida falsa cor Landsat MSS (7R5G4B), e Landsat TM (4R5G3B).

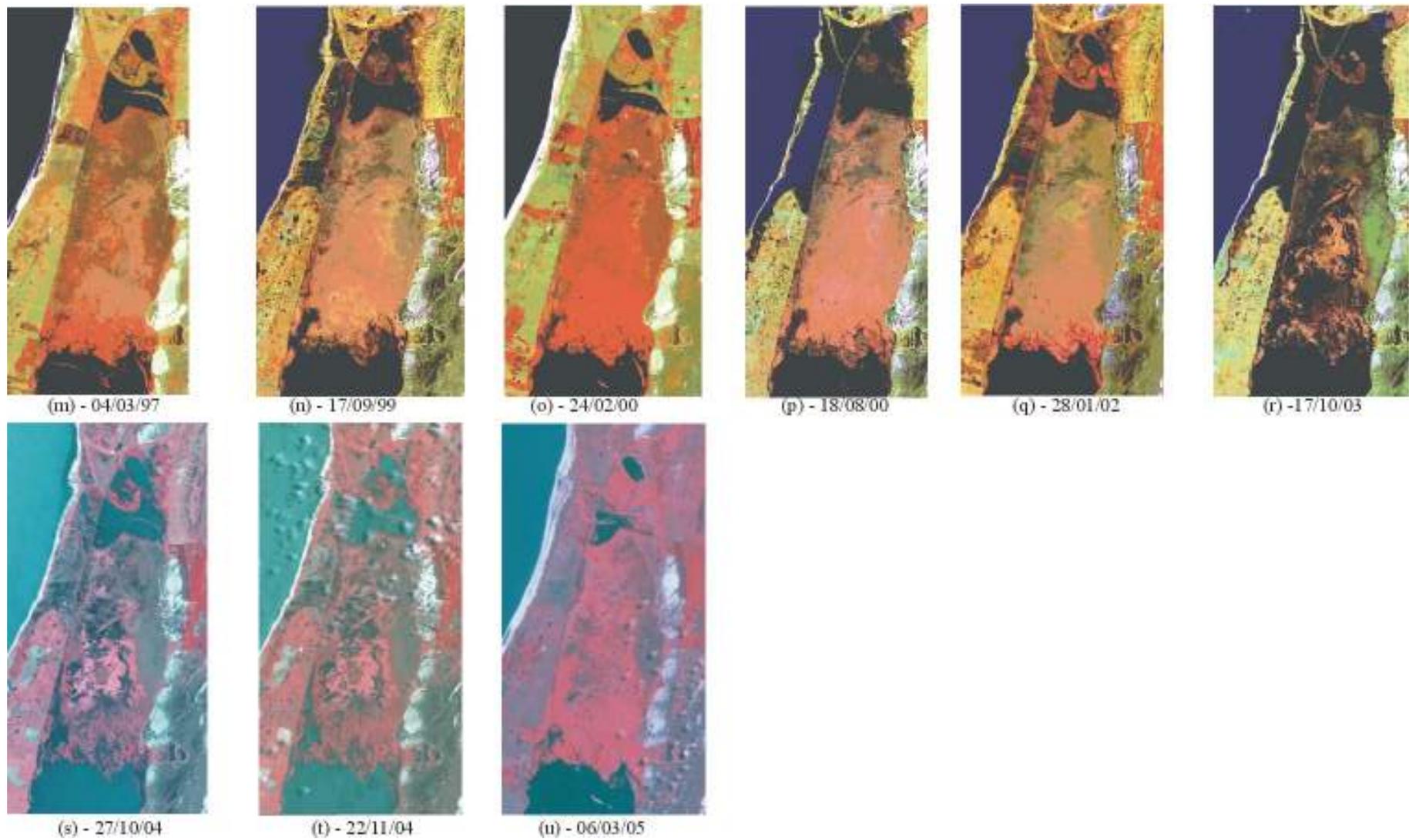


Figura 1.6.1.2 - Imagens do Banhado do Taim, em composição colorida falsa cor Landsat TM (4R5G3B) e Cbers CCD (4R3G2B).

1.6.2 – Pré-processamento das imagens de satélite

Estas etapas de pré-processamento foram realizadas para todas as imagens.

1) georeferenciamento com base nas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), obtidas por meio das cartas à escala de 1:50.000 da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG). Para o georeferenciamento, foram selecionados 20 pontos de controle (pares de coordenadas x e y) nas cartas da DSG, representando feições bem definidas e lidas as coordenadas (linhas e colunas) nas imagens para a elaboração de um arquivo de correspondência relacionando as linhas e colunas da imagem às coordenadas x e y da carta. A partir do arquivo de correspondência, a imagem foi submetida a uma transformação geométrica, de modo a ajustar as feições presentes na imagem ao sistema de referenciamento. Neste estudo, foi utilizado o sistema de projeção UTM, Datum Horizontal Córrego Alegre, mediano central 51 W, através de uma transformação linear e reamostragem dos valores de brilho dos pixels pelo método do vizinho mais próximo (Richards, 1986).

Para compatibilização desse processamento entre todas as imagens, uma primeira data de imagem foi georeferenciada de acordo com a metodologia descrita acima e as imagens posteriores foram então registradas individualmente com base em pontos adquiridos na primeira imagem georeferenciada, agora tomada como base. A resolução espacial das imagens Landsat MSS e Cbers CCD foi convertida para 30 x 30 metros no momento da reamostragem no processo do georeferenciamento.

2) mosaicagem das imagens Cbers CCD. Para cobrir a área do Banhado do Taim, são necessárias duas cenas do sensor Cbers CCD, cujas órbitas ponto são: 158/136 e 158/137. Como os pares de cenas que compõe a imagem do banhado foram da mesma data: 27/10/04, 22/11/04 e 06/03/05, no processo de junção destas cenas, para a composição das três imagens finais, não foi necessário nenhuma correção, além da geométrica, já que não houve variação de parâmetros como: umidade do solo, estado da vegetação e transparência atmosférica, fatores estes que fazem variar as intensidades medidas em cada banda espectral.

3) correção atmosférica pelo método “dark pixel”, da série temporal de imagens. A rotina utilizada para a correção atmosférica está disponível no software Idrisi 32 Release Two. Esta correção é utilizada para minimizar o efeito atmosférico presentes nas diferentes datas de aquisição de imagens. Este método sugere a seleção de um valor de contador digital

correspondente a um objeto escuro representativo das condições atmosféricas durante a aquisição da imagem. Através deste método verifica-se que grande parte do espalhamento ocorre na porção visível do espectro eletromagnético, principalmente no comprimento de onda do azul, banda 1, no caso do sensor TM.

Os dados fornecidos para este modelo de correção atmosférica são: dados de passagem do satélite (hora, dia, mês e ano), elevação solar, ângulo de visada do satélite, máximo contador digital e o “dark pixel”. Todos estes parâmetros adicionais são normalmente incluídos na documentação da imagem de satélite. A imagem de saída é uma imagem de reflectância proporcional expressa em formato de número real com valores de contador digital no intervalo entre 0 e 1. Para a correção das imagens do Banhado do Taim, os “dark pixel” utilizados foram pixels obtidos em águas oceânicas mais profundas com menor influência da carga sedimentar característica da zona costeira, ou seja, áreas que deveriam ter valor próximo de zero de reflectância. Qualquer valor acima do zero nestas áreas representa o incremento nos valores de reflectância pela contribuição atmosférica, podendo ser subtraído das imagens. Depois de realizado o processamento, as imagens foram novamente convertidas para valores de contador digital entre 0 e 255 níveis de cinza.

4) geração de um polígono limite ao banhado. Para a criação deste polígono, foi digitalizado o limite em formato vetorial do banhado, sobre uma imagem georeferenciada, que foi tomada como base. Posteriormente, este polígono em formato vetorial foi convertido para o formato raster (imagem), gerando uma imagem em formato booleano, sendo atribuído o valor zero para a área externa, e o valor 1 para a área interna ao polígono. Esta imagem foi então utilizada como “máscara” para delimitar a área do banhado, eliminando a área externa, através de multiplicação de imagens.

1.6.3 – Geração de produtos derivados

Para auxiliar no entendimento da dinâmica apresentada pela estrutura dos padrões da cobertura vegetal de macrófitas aquáticas na área do Banhado do Taim, foi gerada uma série de produtos derivados das imagens de satélite e dos dados edafológicos do DNOS (1968). Os produtos foram os seguintes:

- 1) imagens de lâmina de água aparente;

- 2) imagens de classes de cobertura de macrófitas aquáticas;
- 3) imagens de NDVI e de classes de NDVI;
- 4) imagens de textura, índice de diversidade;
- 5) mapas e perfis da estrutura de fundo;
- 6) imagens por Análise de Séries Temporais (TSA).

1.7 - Referências bibliográficas

ABDO, M.S.A; SILVA, C.J. (2002) Variação diária nos períodos de estiagem e cheia na baía Ninhal Corutuba. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAP) Anais do III Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal, Corumbá, Brasil. <http://cpap.embrapa.br/agencia/congresso/001aspectosbioticos.htm>.

BRINSON, M.M. (1993) Changes in the functioning of wetlands along environmental gradients. *Wetlands*, vol.13, n^o2, p.65-74.

CLYMO, R.S. *et al.* (1995) Conclusion: directions for research on wetlands in Britain. In: HUGHES, J.M.R.; HEATHWAITE, L. *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*, Jon Wiley & Sons, 25, p.467-478.

COWARDIN, L.M.; CARTER, V.; GOLET, F.C.; LAROE, E.T. (1979) *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. Washington: US Fish and Wildlife Service. 131p.

DALE, M.R.T (1999) *Spatial pattern analysis in plant ecology*. Cambridge Studies in Ecology. 326p.

DAVID, P.G. (1996) Changes in plant communities relative to hydrologic conditions in the Florida Everglades. *Wetlands*. vol.16, n^o1, p.15-23.

DNOS (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO) (1969). *Estudo edafológico complementar da viabilidade técnico econômica de transformação em irrigação da região do Taim (RS) – Tomo II Zona Sul*, 100p.

FIGIEL, C.R.J.; COLLINS, B.; WEIN,G. (1995) Variation in survival and biomass of two wetlands grasses at different nutrient and water levels over a six week period. *Bulletim of the Torrey Botanical Club*, 122, p.24-29.

FORMAN, R.T.T (1995) *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press.

GIOVANNINI, E. (2003) *Estabelecimento de critérios para classificação, identificação e delineamento de terras úmidas, RS*. Porto Alegre. IPH/UFRGS. Tese de Doutorado.

GIOVANNINI, S.G.T. (2004) *Estudo de variabilidade da vegetação no Banhado do Taim. PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/UFRGS, Porto Alegre - RS*. Tese de Doutorado. 266p.

GIOVANNINI, S.G.T.; MOTTA MARQUES, D.M.L.; IRGANG, B.; RISSO, A. (2001) Variação espacial de comunidade de macrófitas aquáticas e sua relação ao regime hidrodinâmico. Relatório 1999/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre. 290p.

GOPAL, B. (1994) The role of ecotones (transition zones) in the conservation and management of tropical inland waters. Mitt. Internat. Verein. Limnol. V.24, p.17-25.

GREEN, E.K.; GALATOWITSCH, S.M. (2001) Differences in wetland plant community establishment with additions of nitrate-N and invasive species (*Phalaris arundinacea* and *Typhía x glauca*). Canadian Journal of Botany, 79, p.170-178.

HAMMER, D.E. (1992) Creating freshwater wetlands. Lewis Publishers.

HOLLAND, M.M.; RISSER, P.G.; NAIMAN, R.J. (1991) Ecotones: The role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environment. Chapman & Hall, New York, USA.

IBAMA, Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos recursos Naturais Renováveis. Estação Ecológica do Taim. <http://www2.ibama.gov/unidades/estacoes/reuc/3017.htm>.

IRGANG, B.E.; GASTAL Jr., C.V.S. (1996) Macrófitas aquáticas da planície costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: edição dos autores. 290p.

MALTBY, E. (1991) Wetlands their status and role in the biosphere. In: JACKSON, M.B.; DAVIES, D.D.; LAMBERS, H. Plant life under oxygen deprivation. Ecology, physiology and biochemistry. The Hague: SPB Academic, p.3-21.

MAURER, D.; ZEDLER, J.B. (2002) Differential invasion of a wetland grass explained by tests of nutrients and light availability on establishment and clonal growth. Oecologia, 131, p.279-288.

MILLER, C.R.; ZEDLER, J.B. (2003) Responses of native and invasive wetland plants to hydroperiod and water depth. Plant Ecology, 167, p.57-69

MOTTA MARQUES, D.M.L. Coord. (2002) Relatório 2000/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, 174p.

MOTTA MARQUES, D.M.L.; VILLANUEVA, A.O.N. (2001) Regime hidrológico do Banhado do Taim e sua conservação. Porto Alegre. ABRH Notícias, Revista Informativa da ABRH, n.4, p.22-61.

MOTTA MARQUES, D.M.L.; IRGANG, B.; GIOVANNINI, S.G.T. (1997) A importância do hidroperíodo no gerenciamento de água em terras úmidas (wetlands) com uso múltiplo – o caso da Estação Ecológica do Taim. Salvador. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. Vol.3, p.1-8.

NEIFF, J.J. (1990) Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. Interciencia, 15(6), p.424-441.

NEIFF, J.J. (1997) El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. En: Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos Pp. 1-49, Malvarez, A.I. y P. Kandus (eds.), 1997. ORCYT-MAB (UNESCO), Montevideo, Uruguay. 106 p.

NEIFF, J.J.; IRONDO, M.H.; CARGNAN, R. (1994) Large tropical south american wetlands: an overview. pp.156-165. In: LINK, G.L.; NAVAN, R.J. The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. Proceedings book, Univ. of Washington.

PAZ, A.R. (2003) Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do Banhado do Taim. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 134p.

POMPÊO, M (2003) Estimativa da biomassa de *Eleocharis* sp. na Lagoa Dourada, Brotas, SP: um estudo comparativo entre método destrutivo e não destrutivo. in: Livro da Disciplina BIE5701 Ecologia de Campo 2003, org. BUZATO, S.; PIVELLO, V.R.; MANTOVANI, W. USP, Instituto de Biociências, PPG em Ecologia. <http://eco.ib.usp.br/labvert/EcoCampo/LivroEcocampo2003.pdf>.

RAMSAR (1971) The Ramsar library. Information sheet on Ramsar wetlands. Gland: The Ramsar Convention Bureau.

SANTOS, A.M.; THOMAZ S.M. (1999) Diversidade de espécies de macrófitas aquáticas em lagoas de uma planície de inundação tropical: O papel da conectividade e do nível da água. Relatório 2000 Planície de inundação do rio Paraná. Programa PELD/CNPq.

THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C.; BINI, L.M. (1997) Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM. p.73-102.

THOMAZ, S.M.; PAGIORO, T.A.; BINI, L.M.; SOUZA, D.C. (1997) Macrófitas aquáticas. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM.

THOMAZ, S.M.; SANTOS, A.M. (1997) Efeito dos pulsos de inundação do Rio Paraná sobre a biologia populacional de *Eichhornia azurea* (Kunth) e *Polygonum ferrugineum* Wedd. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM. p.279-288.

TINER, R.W. (1993) Wetlands are ecotones: reality or myth? pp.1-15. In: GOPAL, B. HILLERCHT, A.; WETZEL, R.G. Wetlands and ecotones: studies on land-water interactions. National Inst. Of Ecol., N. Delhi. 301p.

TINER, R.W. (1999) Wetland Indicators: a guide to wetland identification, delineation, classification, and mapping. Ed. Lewis Publishers. 392p.

TSUJIMOTO, T. (1999) Fluvial processes in streams with vegetation. Journal of Hydraulic Research, vol.37, nº6, p.789-803.

TSUYUZAKI, S.; HARAGUCHI, A.; KANDA, F. (2004) Effects of scale-dependent factors on herbaceous vegetation patterns in a wetland, northern Japan. *Ecological Research*, V.19, Issue3, May 2004, pp.349. <http://www.blackwell-synergy.com/servlet/useragent>
TUCCI, C.E.M. org. (1996) Comportamento hidrológico do Taim. IPH/UFRGS e IBAMA. Porto Alegre. v.1 e 2.

VILLANUEVA, A. O.; TUCCI, C.E.M. (2001) Hidrodinâmica e hidroperíodo do sistema hidrológico do Taim. Relatório 2000/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre. 174p.

WETZEL, P.R.; van der Valk, A.G. (1998) Effects of nutrients and soil moisture on competition between *Carex Stricta*, *Phalaris arundinacea*, and *Typhia latifolia*. *Plant Ecology*, 138, p.179-190.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Banhado do Taim faz parte do Sistema Hidrológico do Taim (PELD - Site 7), que é formado por oito subsistemas contribuintes agrupados em três subsistemas: Norte, Banhado e Sul (Motta Marques, 2002).

O Sistema Hidrológico do Taim se caracteriza por um *continuum* de áreas alagáveis que se estende dos arredores da cidade de Pelotas, passando por Rio Grande se estendendo até o Uruguai. Este *continuum* é caracterizado por banhados e lagoas associadas, de água doce, em uma dinâmica de baixo relevo marginal ao Oceano Atlântico (Figura 2.1).

O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) é composto essencialmente de quatro unidades ecodinâmicas: a Planície Marinho-Eólica, o alinhamento dos Banhados Pós-Planícies Marinho-Eólica, o Pláto de Santa Vitória do Palmar/Formação Chuí e o Mosaico do Sudeste da Lagoa Mirim (Martinelli, 1996 apud Gomes *et al.*, 1987).

O Banhado do Taim situa-se na região sul do litoral do Rio Grande do Sul, entre a Lagoa Mirim e o Oceano Atlântico. Está delimitado pelas coordenadas S 32°31' e S 32°47' de latitude e O 52°40' e O 52°29' de longitude (Figura 2.2). Conecta-se com o subsistema Sul através da lagoa Mangueira, e com o subsistema Norte através de um canal junto a BR-471. O subsistema Banhado, inclui duas lagoas internas, as lagoas Nicola e Jacaré. Exporta suas águas ao norte através de comportas, em direção à lagoa Mirim, sendo o escoamento caracterizado por baixas velocidades superficiais devido à existência de macrófitas aquáticas. Na interface lagoa-banhado o escoamento é difuso e com transporte de massa nos dois sentidos, conforme o regime sazonal (Motta Marques, 2002).

O banhado está inserido na Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim), uma unidade de conservação federal com 33.815 hectares criada através do Decreto nº 92.963, de 21 de julho de 1986, com o objetivo de proteger amostras de Banhados do Sul e da fauna ameaçadas de extinção e preservar locais de passagem de aves migratórias (IBAMA, 2003).

As Estações Ecológicas pertencem ao grupo de unidades de conservação de proteção integral e destinam-se à preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites e à realização de pesquisas científicas, que devem ser autorizadas pelo IBAMA estando sujeitas as normas por este estabelecidas. A visitação pública só é admitida com objetivos educacionais, sendo necessária autorização prévia.

A região do entorno do banhado caracteriza-se por processo de ocupação agrícola, onde são cultivadas extensas áreas com lavouras de arroz nas margens oeste e norte. Os municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande cultivam em média 62.000 e 14.700 hectares, respectivamente. Essas lavouras de arroz retiram grandes quantidades de água do banhado no processo de irrigação justamente nos meses de verão, período em que normalmente ocorrem baixos índices pluviométricos, causando assim grande impacto sobre a dinâmica do banhado. Segundo Villanueva (1997), a extração de água para orizicultura, associada aos picos de evapotranspiração observados nos meses de outubro a novembro e de fevereiro a março, têm alterado o regime hidrológico da região, podendo ocasionar a diminuição no volume de água necessário à manutenção dos ecossistemas palustres.

Na margem nordeste do banhado são cultivadas também grandes áreas de florestas de pinus e eucalipto. Nos municípios de Santa Vitória do Palmar e no município de Rio Grande, são cultivados 4766 hectares e 5244 hectares, respectivamente. As empresas reflorestadoras destas espécies contam, inclusive, com serrarias para o corte dessa madeira em área próxima a Estação Ecológica do Banhado do Taim.

Já na sua margem leste do banhado, é delimitado por extensos campos de dunas. Em períodos anteriores, estas dunas eram influenciadas pela ação dos ventos e/ou pela descida do nível de água no banhado, avançando sobre o mesmo.

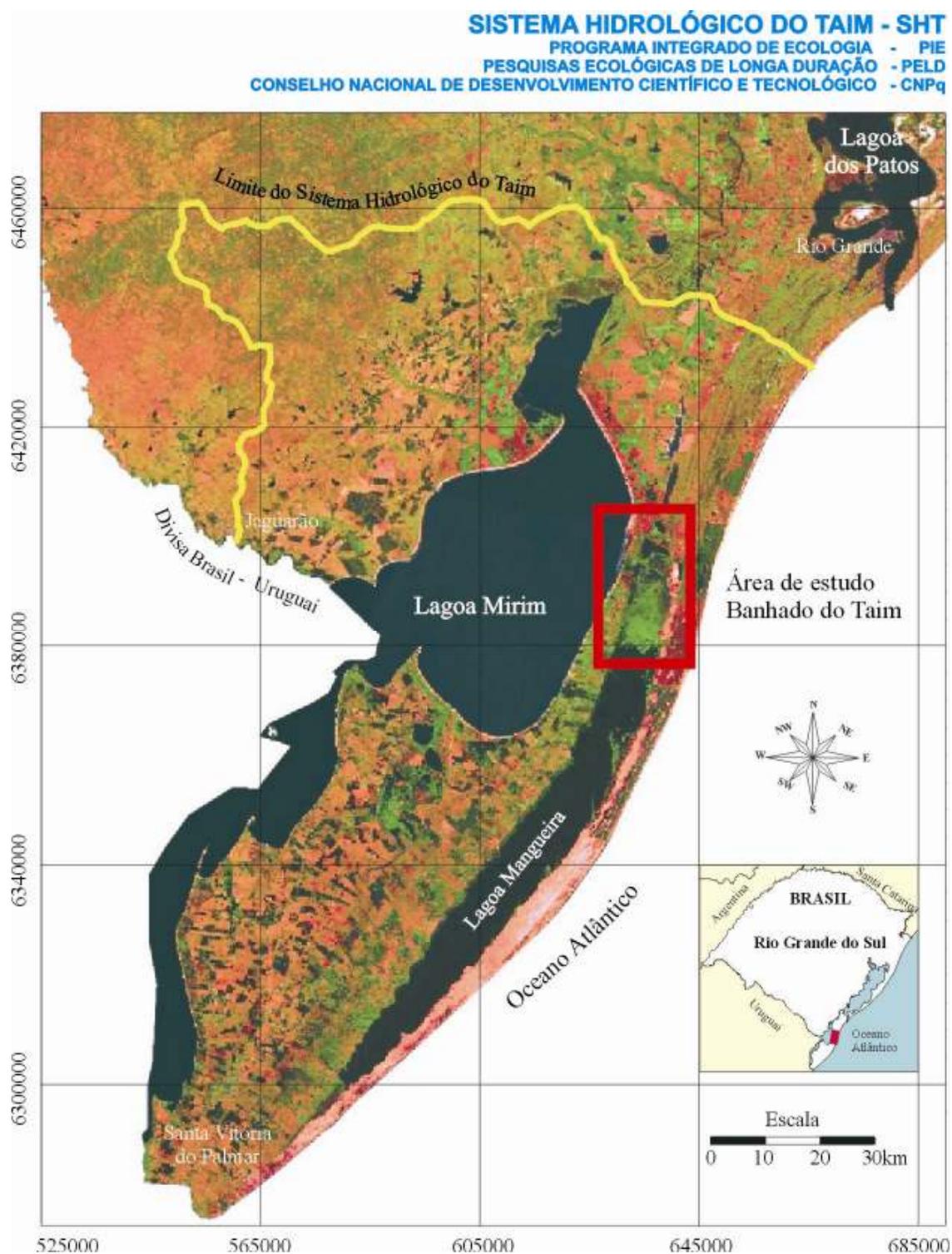


Figura 2.1- Sistema Hidrológico do Taim - RS, e localização da área de estudo.

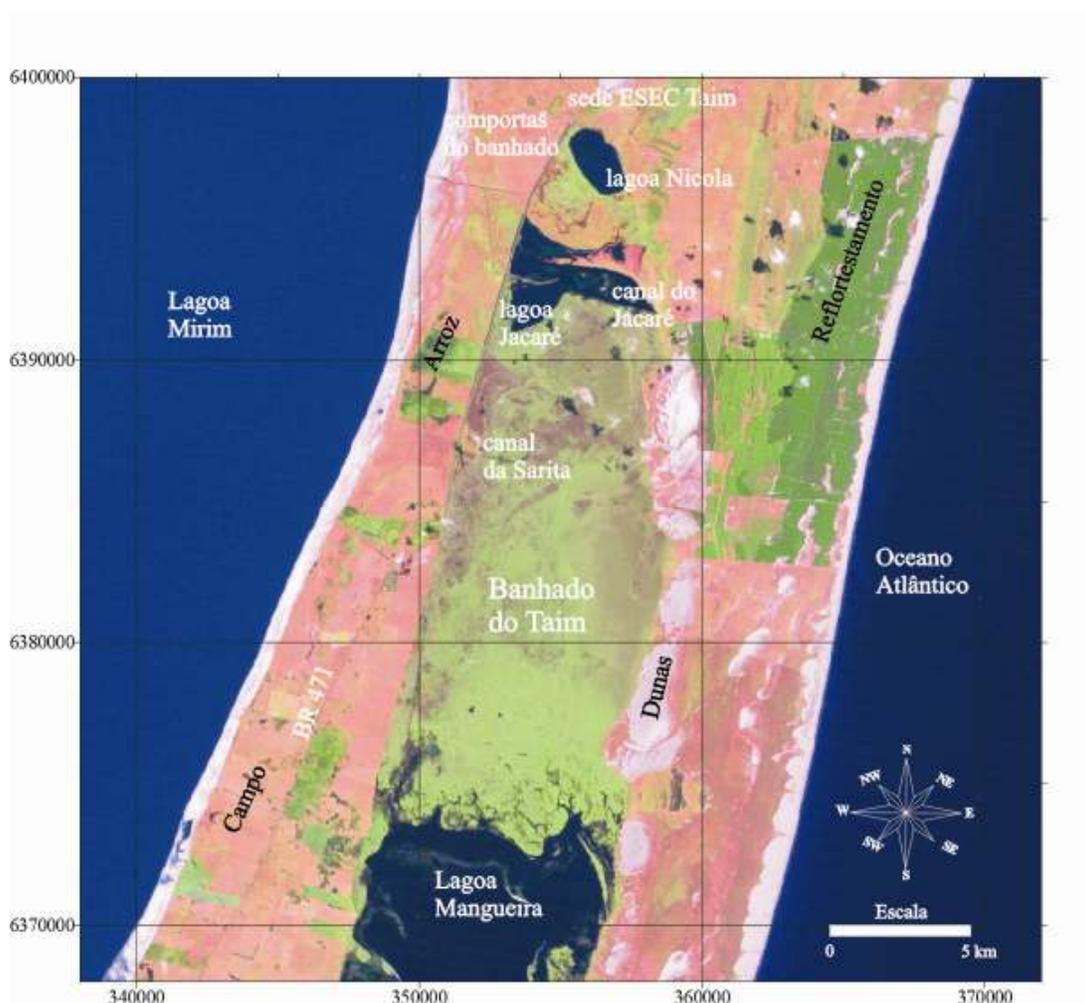


Figura 2.2 – Mapa de localização do Banhado do Taim - RS, e padrão de uso do solo no seu entorno, imagem Landsat TM5, composição colorida 5R4G3B, de 24/2/2000.

De acordo com Buchmann (1997) a formação paleogeográfica dessa área se deu nos últimos 10.000 anos, associada a um conjunto de eventos de regressão e transgressão marinha, quando da formação de um esporão arenoso, do período Holocênico, que isolou a lagoa Mirim do Oceano Atlântico. A gênese do banhado está associada ao antigo canal de escoamento da lagoa Mirim para o oceano. A reativação do paleocanal ocorreu nos últimos eventos, uma transgressão do mar ocorrida há 2500 anos quando se depositaram camadas turfosas em ambiente subaquoso, e uma posterior regressão que durou até 1000 anos atrás quando foram reativadas dunas transgressivas.

Segundo o sistema de classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa (subtropical úmido). A direção predominante dos ventos no banhado é W, são exceções os meses de março e novembro com direções preferenciais N e SE respectivamente.

O banhado escoava originalmente suas águas naturalmente em direção à lagoa Mirim, com o avanço do processo de ocupação da região, principalmente através da implantação de grandes lavouras de arroz, já na década de 40, e a construção de uma estrada (atualmente denominada BR 471), o escoamento do banhado foi retificado, sendo que a partir da década de 90, as águas do banhado passaram a ser exportadas ao norte através de comportas, em direção à lagoa Mirim.

Em função destas alterações, o extremo norte do banhado, local denominado Poldêr 1, que antes ficava por longos períodos totalmente emerso, atualmente encontra-se, na maior parte do ano, submerso. Essa submersão faz com que as lagoas internas ao banhado, Nicola e Jacaré e seu entorno, apareçam agora com permanente ligação.

Em Motta Marques (2002), foram identificadas 49 espécies de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim entre as espécies flutuantes e as emergentes, observando-se, uma homogeneidade dos estandes analisados. E ainda, de acordo com Giovannini (2004), foram observadas seis comunidades aquáticas emergentes, sendo quatro dominantes: 1) o *Scirpus californicus* (C.A.Mey) Steud.; 2) a *Zizaniopsis bonariensis* (Bal.&Point) Speg.; 3) o *Scirpus giganteus* Kunth.; 4) *Cladium jamaicensis*; 5) flutuantes; 6) *Sagítaria montevidensis*.

2.1 Referências bibliográficas

BUCHMANN, F.S.C. (1997) Banhado do Taim e Lagoa Mangueira Evolução Holocênica da Paleoembocadura da Lagoa Mirim. PPG Geociências, UFRGS. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. 155p.

GIOVANNINI, S.G.T. (2004) Estudo de variabilidade da vegetação no Banhado do Taim. PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/UFRGS, Porto Alegre - RS. Tese de Doutorado. 266p.

GOMES, A.; TRICART, J.L.F.; TRAUTMANN J. (1987) Estudo ecodinâmico da Estação Ecológica do Taim e seus arredores. Porto Alegre. Ed. da Universidade, UFRGS, 84p.

IBAMA, Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos recursos Naturais Renováveis. Estação Ecológica do Taim. <http://www2.ibama.gov/unidades/estacoes/reuc/3017.htm>.

MOTTA MARQUES, D.M.L. Coord. (2002) Relatório 2000/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, 174p.

VILLANUEVA, A.O.N. (1997) Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125p.

3 EFEITOS DAS FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DA ÁGUA SOBRE A DINÂMICA DO BANHADO DO TAIM - RS

3.1 Introdução

Gradientes ambientais criados por flutuações do nível da água, pode ser um fator dominante em terras úmidas, controlando a distribuição espacial e temporal das plantas. Se as espécies que ocupam estes ambientes, não são limitadas na sua habilidade de se estabelecer em função destas oscilações, comumente a composição e a distribuição das espécies vai refletir as condições deste ambiente (Seabloom *et al.*, 2001).

A alta variabilidade relacionada a estes ambientes, entretanto, não quer dizer que sejam considerados ambientes instáveis. Ao contrário, estudos como o de Vazzoler *et al.* (1997), têm mostrado a influência das alterações hidrológicas nas flutuações das comunidades biológicas, sendo que estas flutuações são importantes no processo sucessional e garantia de continuidade das espécies que habitam estes ambientes. Avalia também que os fatores bióticos e várias comunidades respondem de forma relativamente previsível aos pulsos, demonstrando certa sazonalidade.

Os banhados têm papel crítico na regulação do movimento da água dentro das bacias hidrográficas, bem como do ciclo hidrológico. Por definição, banhados são caracterizados pela saturação por água na zona das raízes, acima ou abaixo da superfície do solo em determinado tempo durante o ano (Giovannini e Motta Marques, 1997). Banhados são mantidos e criados pela água. A hidrologia, e principalmente o hidroperíodo são elementos básicos na habilidade funcional de um banhado.

Vários autores têm identificado o efeito da mudança do nível das águas ou o efeito dos pulsos de inundação sobre a biologia populacional em áreas de terras úmidas, incluindo os

impactos na composição de espécies e abundância de comunidades de plantas, entretanto, nestas pesquisas (Thomaz *et al.*, 1997; Narumalani *et al.*, 1997; Santos e Thomaz, 1999; Abdo e Silva, 2002) têm sido obtidos resultados diferenciados em relação à variação do nível da lâmina de água e a diversidade e quantidade de macrófitas.

Thomaz *et al.* (1997), sugerem que o impacto de diferentes pulsos de inundação nos sistemas de planícies de inundação não é completamente entendido, e seus efeitos na biota podem variar consideravelmente entre as espécies. Por outro lado, o aumento da profundidade contribuiu positivamente para o aumento do número médio de espécies de macrófitas aquáticas, e que provavelmente, a causa para a redução da riqueza observada na época de águas baixas foi a contração dos habitats (Santos *et al.*, 1999). Train e Rodrigues (1997) demonstram que o regime hidrossedimentológico constitui a principal função de força atuante sobre a comunidade fitoplanctônica, e que as fases de inundação e seca determinam as flutuações com relação à composição, biomassa e diversidade específica do fitoplâncton. Atribui-se aos pulsos de inundação, a função de homogeneizar os habitats da planície quanto às suas características limnológicas (Thomaz *et al.*, 1997) e também quanto às comunidades aquáticas (Agostinho *et al.*, 2000). A maior troca de matéria inorgânica e de organismos entre os habitats, em decorrência da maior conectividade entre os mesmos, deve ser a explicação para esse efeito homogeneizador dos pulsos de inundação (Santos e Thomaz, 2002).

O estudo de sistemas hidrológicos e a identificação do hidroperíodo em ambientes costeiros se revestem de importância quando considerados a estabilidade e a manutenção desses ambientes com vistas à preservação de suas funções. O hidroperíodo é definido como a ocorrência periódica ou regular de inundação ou saturação do solo, sendo, portanto, a assinatura hidrológica de terras úmidas, a qual depende do balanço hídrico, topografia e das condições superficiais. A assinatura hidrológica (frequência e duração de inundações) relaciona-se às funções existentes nestes ecossistemas (remoção/transformação de nutrientes, retenção de tóxicos/sedimentos, estabilização de praias, alteração do fluxo de inundação, recarga de espécies, habitat) (Motta Marques *et al.*, 1997).

Em análise da hidrodinâmica e do hidroperíodo do Sistema Hidrológico do Taim, Villanueva (1997); Villanueva e Tucci (2001), e da variação do regime hídrico do Taim, Tucci (1996), buscaram através de conhecimento das variáveis físicas do ambiente obter uma melhor caracterização do hidroperíodo do Banhado do Taim. Posteriormente Tassi e Villanueva (2003) modelaram e quantificaram o hidroperíodo do Banhado do Taim,

utilizando técnicas para modelação de séries, confrontando os resultados obtidos com observações de anos de El-niño e La-niña, e mostrando que o banhado é fortemente influenciado por estes fenômenos. Avançando nesta análise, Paz (2003) gerou um modelo hidrodinâmico do banhado e avaliou os efeitos sobre a distribuição espacial da vegetação, definindo as áreas que seriam inundadas quando da elevação do nível da água.

Contudo uma questão ainda permanece, ou seja, qual nível de água que deve ser mantido para sustentar uma comunidade de macrófitas. Segundo Motta Marques e Villanueva (2001), o aumento da profundidade (lâmina de água) está associado com a predominância de macrófitas flutuantes e uma redução do número de espécies. Mantendo-se o nível de água elevado por longo período (em função de represamento) as espécies flutuantes poderão dominar o ambiente modificado.

A determinação de alterações ambientais em função dos pulsos de inundação ou de prolongados períodos de seca e a sua modelagem com o uso de imagens orbitais e de ferramentas de geoprocessamento, tem sido viabilizado em diferentes estudos (Remmillard e Welch, 1992; Comunello *et al.*, 2003; Graciani e Novo, 2003; Kingsford e Thomas, 2002). A geração de uma série histórica de imagens de áreas de lâmina de água aparente, e a sua correlação com o nível da água no banhado, pode mostrar as condições a que o sistema se submeteu ao longo do tempo. Estas relações evidenciam as diferentes respostas do banhado a esta dinâmica, o que permite a definição de ambientes futuros.

Considerando estas possibilidades, e buscando entender como a oscilação do nível da água pode afetar a dinâmica da vegetação no Banhado do Taim, este estudo tem os seguintes objetivos: 1) Caracterizar os padrões de variação do nível da água e da precipitação no banhado; 2) Mapear as áreas do banhado com ocorrência de lâmina de água aparente; 3) Estabelecer correlações entre a ocorrência de áreas de lâmina de água aparente, o nível de água e as precipitações no Banhado do Taim; 4) Gerar mapa de áreas mais suscetíveis à cobertura de lâmina de água aparente.

3.2 Materiais e métodos

Para caracterizar os padrões de variação do nível da água no Banhado do Taim, foram analisados os dados de variação do nível da água, com base na régua do Veado montante; variação da precipitação, com base na Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar e a variação das áreas de lâmina de água aparente, com base em classificação digital das imagens dos sensores Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD.

A área de estudo, o Banhado do Taim, situa-se na região sul do litoral do Rio Grande do Sul, entre a lagoa Mirim e o oceano Atlântico, e está delimitada pelas coordenadas geográficas S 32°31' e S 32°47' de latitude e O 52°40' e O 52°29' de longitude.

Para a elaboração das imagens de lâmina de água aparente, antes foram realizados os seguintes pré-processamento nas imagens orbitais: 1) georeferenciamento com base nas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51 W; 2) correção atmosférica pelo método “dark pixel” disponível no Idrisi 32; 3) mosaicagem das imagens Cbers CCD; e 4) geração de um polígono limite, utilizado como máscara para a área do banhado.

Para entendimento da flutuação do nível da água no Banhado do Taim, foram levantados os seguintes dados: 1) série histórica do nível da água no banhado com base na régua arroio Veado; 2) série histórica das médias de precipitação com base na Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar-RS, tendo em vista que os dados das torres hidrosedimentológicas localizadas na Estação Ecológica do Taim, serem somente a partir do final de 2001.

Neste estudo, denominamos de áreas de lâmina de água aparente, aquelas áreas onde a resposta espectral corresponde às águas abertas ou ao seu predomínio sobre a cobertura de macrófitas aquáticas. Para mapear estas áreas, foram utilizadas as imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD, e testados dois métodos de mapeamento:

1) Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). Este método foi concebido com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre água e terra (vegetação terrestre e solos), permitindo, segundo McFeetrs (1996) o seguinte: a) maximizar a reflectância típica da água utilizando o comprimento de onda do

verde; b) minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho próximo; e c) realçar o contraste entre a água e a cobertura vegetal, proporcionada pelo infravermelho próximo.

O NDWI é dado por:

$$\text{NDWI} = (\text{TM2} + \text{TM4}) / (\text{TM2} - \text{TM4})$$

onde

TM2 corresponde ao comprimento de onda do verde, e TM4 ao infravermelho próximo, na equação bandas 2 e 4 do sensor Landsat TM.

O fatiamento do histograma de cada uma destas imagens permitiu obter imagens binárias para cada uma das datas correspondente as classes de interesse: (1) água aparente, e (0) não água aparente. As imagens resultantes, em formato raster, referem-se às imagens de áreas de lâmina de água aparente.

2) Classificação digital da banda do infravermelho próximo ou do infravermelho médio. A classificação digital das imagens Landsat MSS (banda 7), Landsat TM (banda 5) e Cbers CCD (banda 4) permitiram obter imagens binárias para cada uma das datas, correspondente às classes de interesse: (1) água aparente, e (0) não água aparente, ou seja, todas as áreas que tem outro tipo de cobertura. As imagens resultantes, em formato raster, referem-se a imagens de áreas de lâmina de água aparente. Como as bandas do infravermelho são bandas de alta absorção da água em contraste com a alta reflectância da vegetação, faz com que estes dois alvos predominantes no banhado, possam ser separados por meio da classificação digital destas imagens.

Definido o método de classificação das imagens que apresentou os melhores resultados, foram geradas 21 imagens de ocorrências de lâmina de água aparente. A partir da elaboração destas imagens, estas foram correlacionadas com o nível da água e com os dados de precipitação.

A partir das 21 imagens foi elaborado um mapa final de áreas mais suscetíveis à ocorrência de lâmina de água aparente. Para a elaboração deste mapa, foram somadas as 21 imagens de classes, e definidos os seguintes intervalos de ocorrência: 1) zero ocorrência; 2) uma; 3) até três; 4) até seis; 5) até 10; e 6) até 21 ocorrências de lâmina de água aparente.

3.3 Resultados e discussão

O hidroperíodo do Banhado do Taim foi determinado a partir de modelagem (Villanueva, 1997). A série gerada leva em consideração as características meteorológicas da região e o uso da água nas culturas de arroz. Mais recentemente esta série foi prolongada (Tassi e Villanueva, 2003), sendo o modelo validado (Figura 3.3.1). Nesta série estão representadas algumas datas de imagens processadas, entre setembro de 1973 e janeiro de 2002

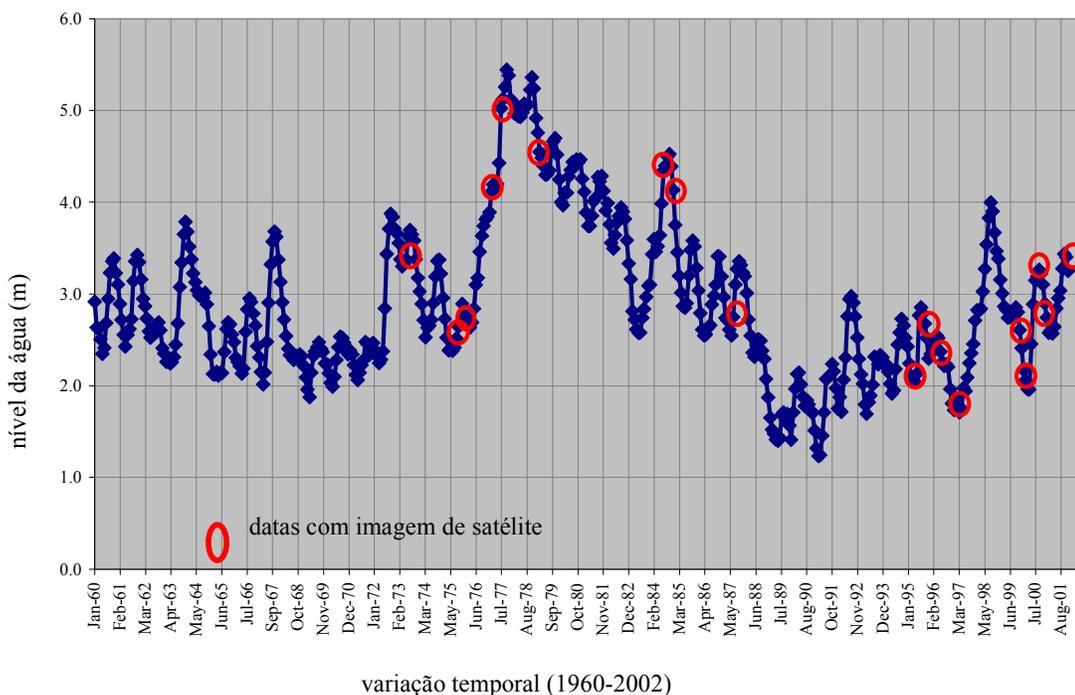


Figura 3.3.1 - Hidroperíodo do Banhado do Taim - RS, 1960-2002 (Tassi e Villanueva, 2003), e posição das imagens analisadas.

A Figura 3.3.2, mostra nas datas de aquisição de imagens no período compreendido entre 1973 e 2002, a variação do nível da água no Banhado do Taim - RS, com base no hidroperíodo de Tassi e Villanueva (2003), dados obtidos na régua do Veado montante.

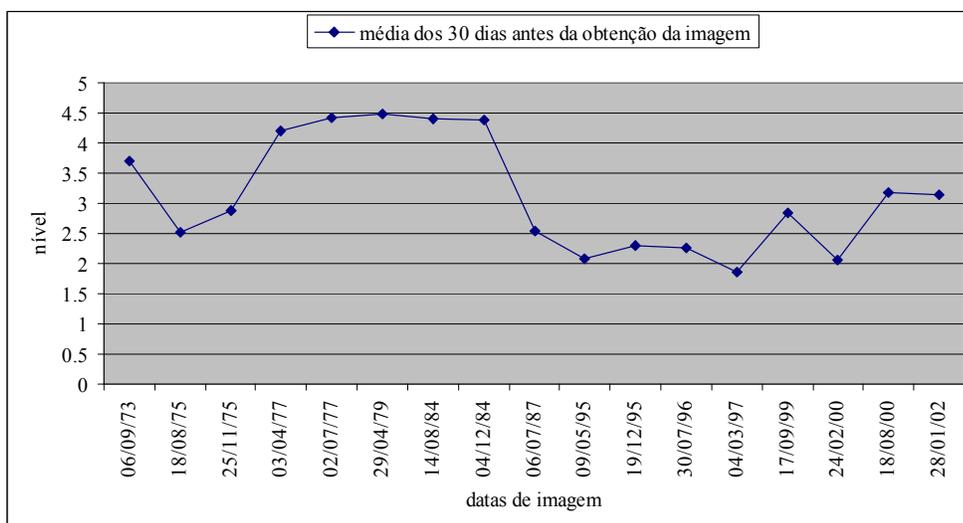


Figura 3.3.2 – Variação das médias do nível da água no Banhado do Taim - RS, com base no hidroperíodo de Tassi e Villanueva (2003), para as imagens de satélite (1973 e 2002).

Destacam-se para o período analisado, as datas de imagens com nível da água mais baixo: 09/05/95, 30/07/96, 04/03/97 e 24/02/00, com respectivamente 2,04; 2,37; 1,86 e 2,06 metros de nível da água. Com nível de água mais alto, destacam-se as datas de 03/04/77, 02/07/77, 29/04/79, 14/08/84 e 04/12/84, com respectivamente 4,19; 4,43; 4,49; 4,40 e 4,39 metros de nível da água.

Motta Marques *et al.* (1997), ressaltam a importância da identificação do hidroperíodo, ou da série de hidroperíodos no gerenciamento de banhados, de modo a manter as funções desempenhadas por estes ecossistemas. Em estudos como o de Thomaz e Santos (1997), são avaliados os efeitos de pulsos de inundação sobre populações de macrófitas aquáticas em ambientes de terras úmidas. Outros estudos, como os de McFeeters (1996) e Jardim-Lima (2005), reforçam essa importância quando avaliam a variação dos pulsos de inundação e as áreas de águas abertas e morfologia dos lagos utilizando o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI).

De acordo com Villanueva (1977) e Paz (2002), o Banhado do Taim por ser uma região extremamente plana, e com velocidades de escoamento muito pequenas, a topografia tem elevada importância sobre a dinâmica do banhado. Como as profundidades são muito pequenas, pouca variação no nível de água é suficiente para que determinadas áreas do banhado fiquem secas ou não, o que altera substancialmente, o padrão da circulação da água na região.

O tempo de permanência de um nível de água é um dos fatores mais importantes na determinação das características dos estandes de macrófitas aquáticas em banhados. A variação do nível médio da água em 30, 60, 90, 180 dias e 1, 2 e 3 anos e das médias dos totais de precipitação pode ajudar a caracterizar a relação da variação temporal do nível médio da água e o tempo de permanência em determinados níveis, Tabela 3.3.1. Estas médias correspondem ao período anterior às datas de aquisição das imagens, com base nos dados de precipitação da Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar-RS, e na régua do Veado montante.

Tabela - 3.3.1 – Variação do nível médio da água (régua do Veado montante) no Banhado do Taim - RS, e das médias dos totais mensais de precipitação (Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar - RS).

datas de imagem	nível médio régua Veado montante (mm)							precipitação (Estação S.V. do Palmar) média dos totais mensais (mm)						
	30	60	90	180	365	730	1095	30	60	90	180	365	730	1095
6/9/73	3.70	3.66	3.56	3.45	3.59	3.05	2.80	42	70	70	76	83	108	106
18/08/75	2.52	2.47	2.44	2.44	2.79	2.89	3.12	132	103	84	81	81	81	77
25/11/75	2.89	2.78	2.74	2.59	2.65	2.79	3.03	205	114	107	95	88	88	81
3/4/77	4.19	4.15	4.07	3.93	3.54	3.07	3.01	167	311	236	159	129	117	106
2/7/77	4.43	4.31	4.26	4.16	3.89	3.26	3.15	83	87	72	154	119	118	105
29/04/79	4.49	4.52	4.60	4.89	4.97	4.92	4.45	135	85	83	70	81	101	109
14/08/84	4.40	4.37	4.24	3.89	3.53	3.34	3.53	80	165	188	154	147	114	120
4/12/84	4.39	4.46	4.47	4.36	3.91	3.41	3.55	40	75	82	135	131	115	119
6/7/87	2.55	2.58	2.62	2.79	2.93	2.97	3.24	28	97	102	77	104	109	110
9/5/95	2.09	2.09	2.14	2.34	2.32	2.20	2.02	117	111	138	103	115	111	111
19/12/95	2.30	2.41	2.50	2.65	2.41	2.36	2.26	14	65	68	105	101	108	108
30/07/96	2.26	2.31	2.38	2.43	2.50	2.45	2.36	31	42	39	111	90	107	106
4/3/97	1.86	1.80	1.80	1.97	2.18	2.30	2.31	99	60	82	85	96	98	100
17/09/99	2.85	2.84	2.82	2.80	3.03	3.08	2.69	74	60	78	108	104	113	104
24/02/00	2.06	2.11	2.21	2.48	2.70	3.01	2.69	106	77	62	54	83	95	100
18/08/00	3.19	3.17	3.08	2.60	2.54	2.83	2.88	63	83	96	134	94	98	106
28/01/02	3.14	3.19	3.26	3.26	2.98	2.82	2.81	--	--	--	--	--	--	--

Destacam-se pelo tempo de permanência, do nível médio das águas no Banhado do Taim, as seguintes datas de imagem:

a) a data de 29/04/79, quando o tempo de permanência do nível médio da água, acima de 4metros, foi de 3 anos, e as datas de 14/08/84 e 04/12/84, quando o tempo de permanência acima de 3,5metros foi de 3 anos;

b) o período compreendido entre 09/05/95 e 04/03/97, quando o tempo de permanência abaixo de 2,5 metros foi de 3 anos, sendo que para 04/03/97, o nível permaneceu por seis meses abaixo dos 2 metros.

Destacam-se também nesta tabela, pelo tempo de permanência em relação às médias dos totais de precipitação, para a Estação de Santa Vitória do Palmar-RS, as seguintes datas:

a) as médias dos totais de precipitação se mantiveram acima dos 100 mm durante 3 anos, para as datas de 03/04/77 e 09/05/95;

b) as médias dos totais de precipitação se mantiveram abaixo dos 100 mm durante 3 anos, para as datas 04/03/97 e 24/02/00.

Para avaliar a relação precipitação e tempo de permanência, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (r), entre o nível médio das águas, para medições na régua do Veado montante, e a média dos totais de precipitação, para dados da Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar-RS, apresentados na Tabela 3.3.2.

Tabela 3.3.2 – Correlação (r) entre o nível médio da água e a precipitação, Banhado do Taim-RS.

precipitação nível da água	correlação de Person (r)						
	dias						
	30	60	90	180	360	730	1095
30 dias	0.0945	0.4009	0.3737	0.5591	0.4895	0.4649	0.3999
60	0.0578	0.3879	0.3611	0.5504	0.4930	0.4819	0.4358
90	0.0459	0.3666	0.3340	0.5253	0.4797	0.4879	0.4527
180	0.0484	0.3180	0.2679	0.3895	0.4143	0.4915	0.4684
1 ano	0.0961	0.2101	0.1429	0.1772	0.2181	0.3465	0.3412
2	0.2088	0.0583	0.0285	-0.0900	-0.0288	0.0369	0.1900
3	0.2051	0.1888	0.1570	0.0682	0.1125	0.0049	0.1395

As correlações (r) mais significativas entre as médias mensais dos totais de precipitação ocorrem para os intervalos entre 180 dias e dois anos com relação às médias do nível da água no período compreendido entre 30 e 90 dias anterior a data da imagem..

Estas relações indicam que se necessita um tempo de permanência relativamente longo da precipitação em determinados, para que haja resposta do nível da água no Banhado do Taim. Se o tempo de permanência da precipitação for grande, em índices baixos ou em

índices mais elevados, é refletido nos diferentes padrões da paisagem do banhado. A oscilação do nível da água, ou seja, o hidroperíodo é o que determina suas características.

Para analisar a localização espacial onde estas transformações do nível acontecem e como se manifestam na superfície do banhado, foram elaboradas imagens de ocorrência de lâmina de água aparente. Figuras 3.3.3 e 3.4.4. Esta análise buscou entender como ocorrem as relações espaciais e temporais entre a oscilação do nível da água, e as modificações nos padrões da estrutura da distribuição de macrófitas no Banhado do Taim.

O processo de classificação para a geração das imagens de áreas de lâmina de água aparente, que obteve os melhores resultados foi o método de classificação não supervisionado Isocluster, utilizando apenas a banda do infravermelho médio. Este método foi o escolhido, por apresentar o menor nível de confusão entre as classes de mapeamento, quais sejam: 1) lâmina de água aparente; e 2) não lâmina de água aparente.

Foi observado algum nível de confusão na separação destas classes de mapeamento, estando associado, na classificação digital, as seguintes condições: as áreas em que as macrófitas foram submersas pela elevação do nível das águas, mas estão pouco abaixo da superfície. Nestas condições, a resposta das macrófitas, ainda influencia na quantidade de energia refletida no comprimento de onda do infravermelho próximo, captada pelo sensor, mascarando a resposta espectral; a utilização de diferentes faixas do espectro eletromagnético. Para o sensor Landsat TM foi utilizada a banda do infravermelho médio, onde praticamente toda radiação incidente na água é absorvida. Para os sensores Landsat MSS e Cbers CCD, foi utilizada a banda do infravermelho próximo (ver Tabela 1.6.1.2 que mostra as características dos sensores), banda espectral onde a água absorve grande parte da radiação, mas também é o pico de energia refletida pela vegetação, o que mascara a resposta da água.

Este nível de confusão foi encontrado, ainda com maior ocorrência, quando utilizado o método do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). Problemas semelhantes em mapeamento de macrófitas aquáticas foram reportados por Jardim-Lima *et al.* (2005) utilizando o método de NDWI, solucionados através da adição de máscara sobre as “ilhas” de confusão entre a lâmina de água e as macrófitas. Neste estudo, a adição de máscaras só foi necessária quando a imagem apresentava a ocorrência de cobertura de nuvens e sombra de nuvens, como nas imagens de 06/09/73, 22/11/04 e 06/03/05.

No Banhado do Taim é possível observar que em duas áreas sempre ocorre lâmina de água aparente: a) uma ao norte do Banhado do Taim, nas lagoas do Nicola e Jacaré, e áreas inundáveis do seu entorno; b) e outra no extremo sul do banhado, junto à lagoa Mangueira, Figuras 3.3.3 e 3.4.4.

Quando o nível das águas sobe para níveis um pouco mais elevados, também ocorrem áreas de lâmina de água aparente no centro-norte do banhado, formando uma espécie de arco de leste a oeste, Figuras 3.3.3-(d) e (f), de 04/03/77 e 29/04/79 respectivamente.

Elevando ainda mais o nível da água, toda a área norte do banhado forma uma grande e única lâmina de água aparente, como pode ser observado nas Figuras 3.3.3-(g) e (h), de 14/08/84 e 04/12/84, com respectivamente 4,40 e 4,39 metros de nível da água. Verificou-se ainda que grande parte da superfície do Banhado do Taim fica sob as águas quando em condições extremas de elevação do nível da água, Figura 3.3.4-(r), de 17/10/03.

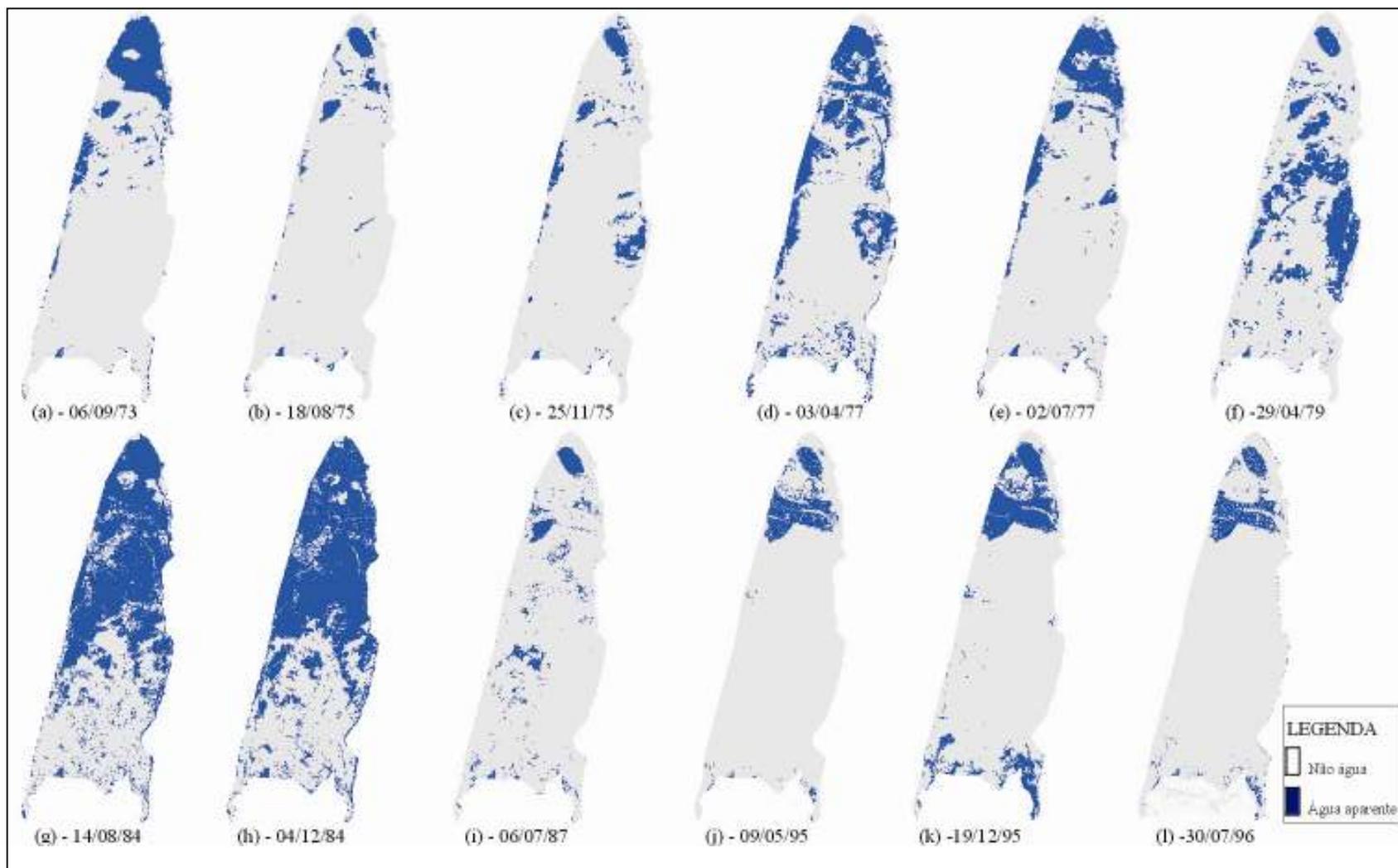


Figura 3.3.3 - Área ocupada por lâmina de água aparente no Banhado do Taim - RS, imagens Landsat MSS (1973-1979) e TM (1984-1996), obtida por classificação digital da banda do infravermelho médio.

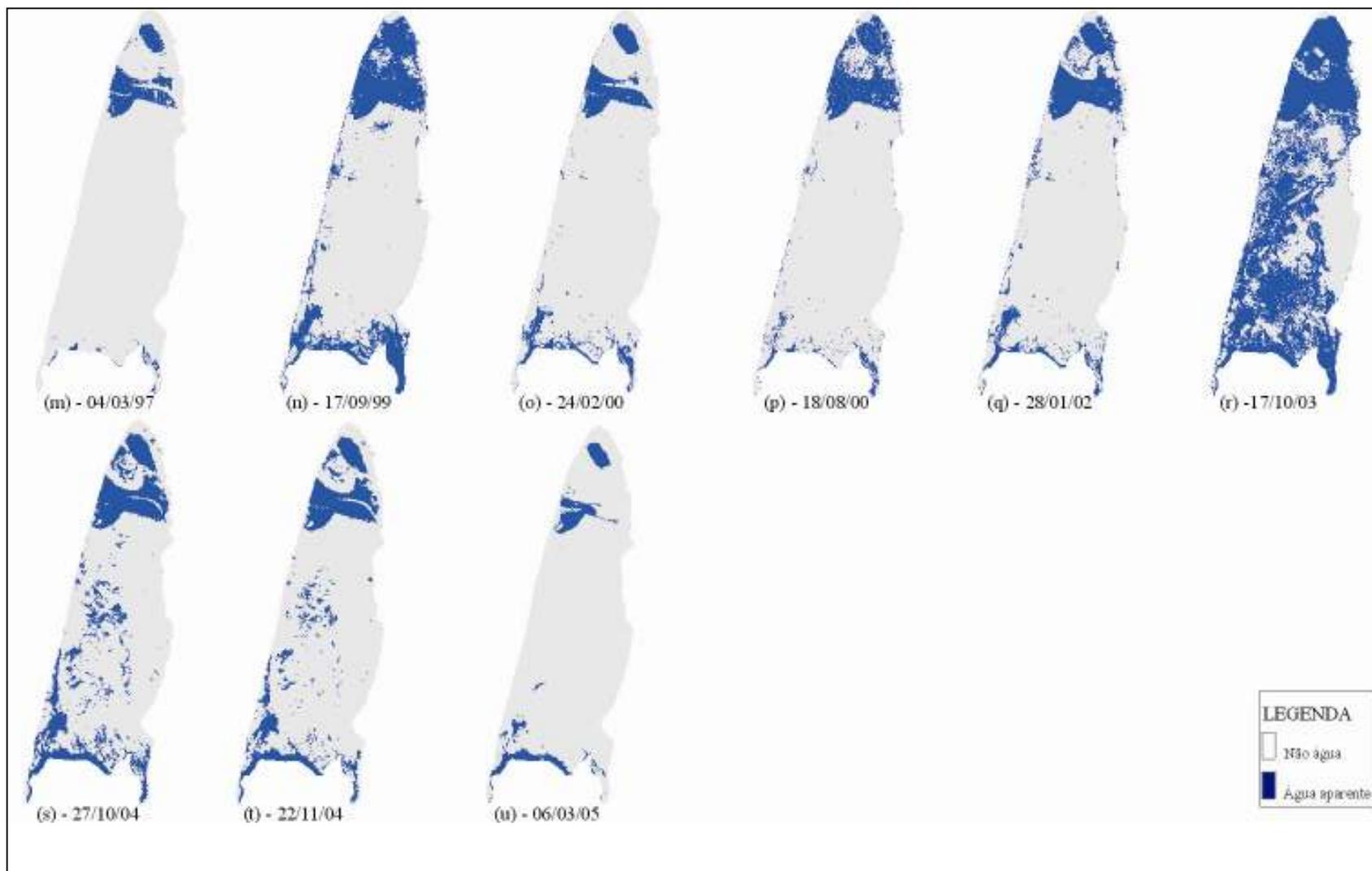


Figura 3.3.4 - Área ocupada por lâmina de água aparente no Banhado do Taim – RS, imagens Landsat TM (1997-2003) e Cbers CCD (2004-2005), obtida por classificação digital da banda do infravermelho médio.

A quantificação dos resultados dessas classificações está expressa na Figura 3.3.5, que mostra a variação de superfície em hectares das áreas de ocorrência de lâmina de água aparente.

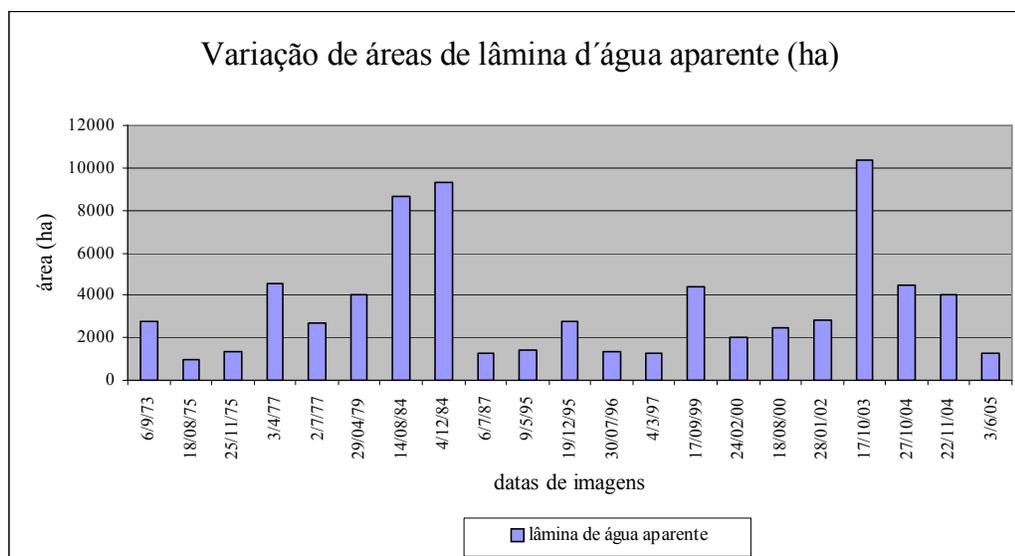


Figura 3.3.5 - Variação da superfície com lâmina de água aparente no Banhado do Taim - RS (1973-2005).

A estimativa da abrangência das cheias permitiu definir as áreas ocupadas por lâmina de água aparente. Destacam-se os resultados obtidos, para as datas de imagens classificadas, em que o nível do banhado estava alto 4,40; 4,39 e 4,40 metros: respectivamente 14/08/84 com 8614 hectares ou 48,17%; 04/12/84 com 9345 hectares ou 52,26 %; e 17/10/03 com 10342 hectares ou 57,83 % do total da superfície do Banhado do Taim ocupado por lâmina de água aparente (Figuras 3.3.3-(g) e (h) e Figura 3.3.4-(r) respectivamente).

Para os períodos de imagens classificadas em que o nível do banhado estava baixo 2,52; 2,55, os resultados obtidos foram os seguintes: 18/08/75 com 949 hectares ou 5,31%; 06/07/87 com 1245 hectares ou 6,96 %; e 06/03/05 com 1235 hectares ou 6,91 % do total da área do Banhado do Taim ocupado por lâmina de água aparente (Figuras 3.3.3-(b) e (i) e Figura 3.3.4-(u) respectivamente).

Verificou-se uma tendência de crescimento dos coeficientes de correlação (r), para as médias dos níveis de água, quanto menor for o período anterior da data da imagem a ser considerada, (Tabela 3.3.3). Esta variabilidade, quando analisada em séries de tempos

históricas evidenciam certo grau de ordem de ocorrência e características de fases, quando são analisadas em nível de tendência.

Tabela 3.3.3 – Correlação entre o nível médio das águas (régua do Veado montante) e áreas de lâmina de água aparente (classificação digital) entre 1973 e 2002, no Banhado do Taim - RS.

nível médio da água	correlação de Pearson (r)						
	dias						
	30	60	90	180	360	730	1095
lâmina de água aparente	0.7104	0.7318	0.7306	0.6833	0.5626	0.4213	0.4991

Os coeficientes de correlação de Pearson (r), entre a área de lâmina de água aparente e a média dos totais de precipitação, estão apresentados na Tabela 3.3.4.

Tabela 3.3.4 – Correlação entre precipitação (Santa Vitória do Palmar-RS) e as áreas de lâmina de água aparente (classificação digital) entre 1973 e 2002, no Banhado do Taim - RS.

precipitação	correlação de Pearson (r)						
	dias						ano
	30	60	90	180	360	730	1095
lâmina de água aparente	-0.1572	0.2675	0.3700	0.5528	0.7228	0.5372	0.6262

A análise destas correlações mostra uma tendência inversa de crescimento dos coeficientes de correlação (r), para as médias dos totais de precipitação. Ou seja, para maiores tempos de permanência, em determinado nível de precipitação melhores as relações com os padrões apresentados pelo banhado, a correlação foi $r=0.7228$ para o tempo de permanência.

Para entendermos a distribuição das áreas de lâmina de água aparente, foi elaborada uma imagem com a representação da distribuição espacial das superfícies mais suscetíveis a esta ocorrência, Figura 3.3.6. Esta imagem é produto da soma das 21 imagens de áreas de ocorrência de lâmina de água aparente, Figuras 5.1.3 e 5.1.4, representando o número de vezes em que naquela superfície ocorreu lâmina de água aparente.

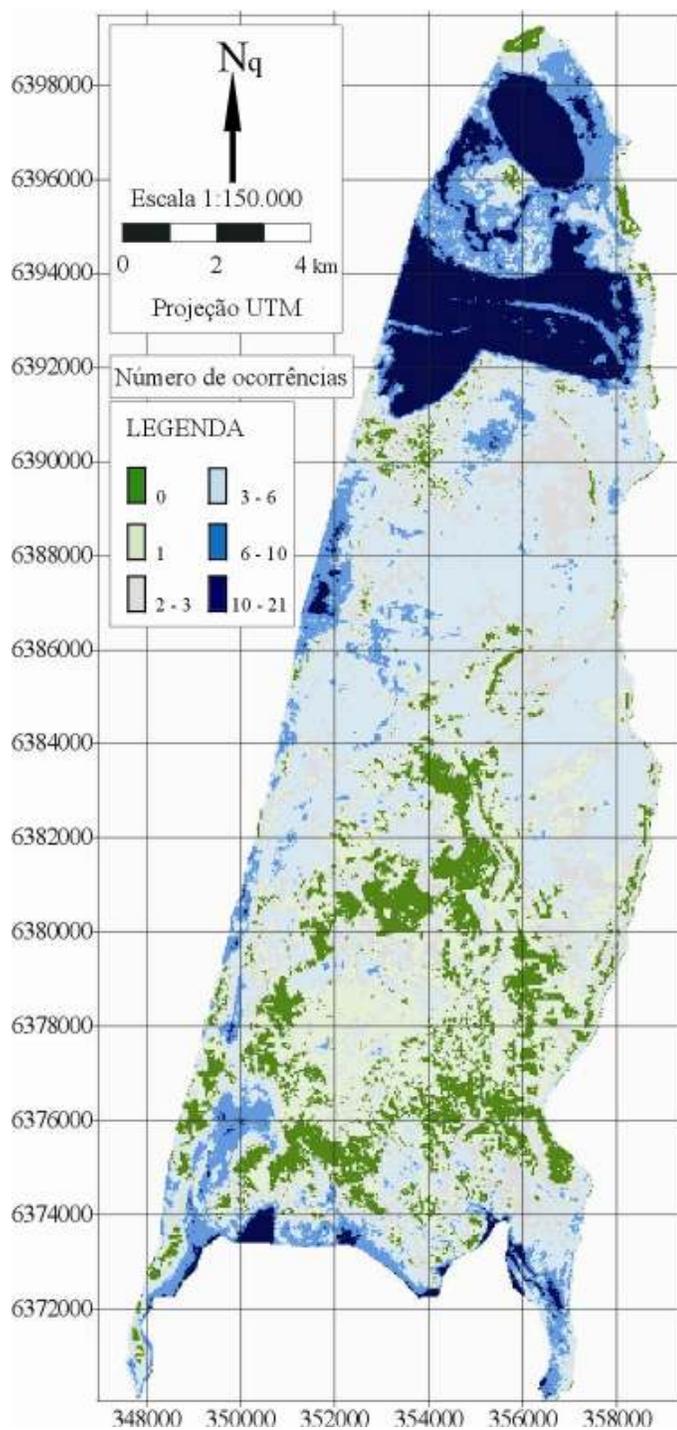


Figura 3.3.6 - Áreas mais suscetíveis à cobertura de lâmina de água aparente no Banhado do Taim - RS, obtida pela soma de 21 imagens de lâmina de água aparente.

Os resultados obtidos neste item permitiram um bom entendimento dos padrões associados às oscilações dos níveis da água no Banhado do Taim, e também a determinação das áreas mais suscetíveis às modificações (Tabela 3.3.5).

Tabela 3.3.5 – Número de ocorrências de lâmina de água aparente, no Banhado do Taim - RS.

Número de Ocorrências	Área (ha)	%
0	1979,82	11,07
1	3345,57	18,70
2-3	2783,70	15,56
3-6	5669,61	31,70
6-10	1952,28	10,91
10-21	1850,31	10,34

No Banhado do Taim, em 1979,82hectares ou em apenas 11,07% de sua área total, nunca ocorreu lâmina de água aparente, ou seja, nestas áreas a resposta espectral predominante sempre foi a da cobertura de macrófitas aquáticas (Tabela 5.1.5). Estas áreas estão localizadas na metade sul do banhado e correspondem, predominantemente, às áreas de ocorrência de *Zizaniopsis bonariensis* (Figura 5.1.6).

Em algumas áreas do Banhado do Taim só ocorrem áreas de lâmina de água aparente em função dos pulsos de inundação, sendo que desta seqüência temporal de 21 imagens em somente três delas ocorreram níveis extremamente elevados. Ocorreu lâmina de água aparente apenas uma vez em 3345,57hectares ou 18,70% da área, relativa a imagem de 17/10/03 quando 57,83% da área do banhado estava coberto pela água aparente (Figura 3.3.4-(r)). Também em função de períodos de elevação do nível da água em 2783,70hectares ou 15,56% da área tiveram até três ocorrências, esta ocorrência corresponde às datas de 14/08/84 e 04/12/84 (Figuras 3.3.4-(g) e (h) respectivamente).

Na maior parte da área do banhado 5669,61hectares ou 31,70%, a lâmina de água aparente ocorreu em até seis imagens. O maior número de imagens com lâmina de água aparente, entre 6 e 21 ocorrências, ocupa 3802,59hectares ou 21,25% da superfície dos 17882hectares da área do Banhado do Taim, sendo que estas áreas estão praticamente restritas

às regiões das lagoas Nicola e Jacaré e ao seu entorno, à área próxima ao canal da Sarita e à zona de contato com a lagoa Mangueira.

3.4 Conclusões

A variação da superfície de áreas de lâmina de água aparente, obtidas por classificação digital, foram correlacionadas positivamente com os dados de precipitação e medidas de altura da lâmina de água. Estas correlações indicam que se necessita um tempo de permanência relativamente longo em determinados níveis, para que haja resposta do nível da água no Banhado do Taim. A oscilação do nível da água, ou seja, o hidroperíodo é o que determina suas características.

As áreas mais suscetíveis à ocorrência de lâmina de água aparente estão praticamente restrita às regiões das lagoas Nicola e Jacaré e a áreas inundáveis do seu entorno, à área próxima ao canal da Sarita e à zona de contato com a lagoa Mangueira, só ocorrendo em outras áreas quando dos pulsos de inundação. A região menos suscetível está localizada na região centro-sul do Banhado do Taim.

3.5 Referências bibliográficas

ABDO, M.S.A.; SILVA, C.J. (2002) Variação diária nos períodos de estiagem e cheia na baía Nihal Corutuba. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CPAP) Anais do III Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do pantanal, Corumbá, Brasil. <http://cpap.embrapa.br/agencia/congresso/001aspectosbioticos.htm>

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S.M.; MINTE-VERA, C.V.; WINEMILLER, K.O. (2002) Biodiversity in the High River Paraná floodplain. In: O papel da conectividade na estruturação da assembléia de macrófitas aquáticas. Relatório 2002 Planície de inundação do rio Paraná. Programa PELD/CNPq, p.193-196.

COMUNELLO, E.; SOUZA FILHO, E.E.; ROCHA, P.C.; NANNI, M.R. (2003) Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto rio Paraná: estudo preliminar. XI SBSR, Belo Horizonte, 5-10 de abril de 2003, INPE, p.2459-2466.

GIOVANNINI, E.; MOTTA MARQUES, D. (1997) Sistemas de classificação de terras úmidas baseado em hidrologia, geomorfologia e comunidades de macrófitas aquáticas. In: Relatório 1999/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, p.219-279.

GRACINI, S.D.; NOVO, E.M.L.M. (2003) Determinação da cobertura de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais. Anais do XI SBSR. Belo Horizonte, 05-10 abril de 2003. INPE, p.2509-2516.

JARDIM-LIMA, D.; PIEDADE, M.T.F.; QUEIROZ, H.L.; NOVO, E.M.L.M.; RENNÓ, C.D. (2005) A dinâmica do Pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá – Amazônia Central. XII SBSR, Goiânia, GO, de 16 a 21/04/05. p.3069-3076. <http://ww/ltid.inpe.br/sbsr2005>.

KINGSFORD, R.T.; THOMAS, R.F. (2002) Use of satellite image analysis to track wetland loss on the Murumbidgee river floodplain in arid Austrália, 1975-1998. River symposium, p.1-15.

NARUMALANI, S.; JENSEN, J.R.; ALTHAUSEN, J.D.; BURKHALTER, S.; MACKEY, H.E. (1997) Aquatic macrophyte modeling using GIS and logistic multiple regression. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol.63, N°1, p.41-49.

REMILLARD, M.M.; WELCH, R.A. (1992) GIS technologies for aquatic macrophyte studies: I. Database development and changes in the aquatic environment. Landscape Ecology, vol.7, N°3, p.151-162.

SANTOS, A.M.; THOMAZ S.M. (1999) Diversidade de espécies de macrófitas aquáticas em lagoas de uma planície de inundação tropical: O papel da conectividade e do nível da água. Relatório 2000 Planície de inundação do rio Paraná. Programa PELD/CNPq.

SANTOS, A.M.; THOMAZ, S.M. (2002) O papel da conectividade na estruturação da assembléia de macrófitas aquáticas. Relatório 2002 Planície de inundação do rio Paraná. Programa PELD/CNPq, p.193-196.

SEABLOOM, E.W.; MOLONEY, K.A.; VAN DER VALK, A.G. (2001) Constraints on the establishment of plants along a fluctuating water-depth gradient. Ecology, 82 (8), p.2216-2232.

TASSI, R.; VILLANUEVA, A. O. (2003) Definição do hidroperíodo no Banhado do Taim. Relatório 2002/2003 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, 52p.

THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C.; BINI, L.M. (1997) Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, p.73-102.

THOMAZ, S.M.; PAGIORO, T.A.; BINI, L.M.; SOUZA, D.C. (1997) Macrófitas aquáticas. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM.

THOMAZ, S.M.; SANTOS, A.M. (1997) Efeito dos pulsos de inundação do Rio Paraná sobre a biologia populacional de *Eichhornia azurea* (Kunth) e *Polygonum ferrugineum* Wedd. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de

inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, p.279-288.

TRAIN, S.; RODRIGUES, L.C. (1997) Distribuição espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica. In: VAZZOLER, A. E. A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM.

VAZZOLER, A.E.A.M.; AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N.S.A. (1997) A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, 460p.

VILLANUEVA, A.O.N. (1997) Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125p.

VILLANUEVA, A.O.N.; TUCCI, C.E.M. (2001) Hidrodinâmica e hidroperíodo do sistema hidrológico do Taim. Relatório 2000/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, 174p.

4 PADRÕES DA COBERTURA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO BANHADO DO TAIM - RS

4.1 Introdução

A ocorrência de vegetação aquática, suas características e sua distribuição espacial têm papel fundamental sobre o comportamento hidrodinâmico dos banhados. Esta vegetação pode estar associada com as características edáficas e hidrológicas e eventualmente desempenhar papel fundamental em vários processos de banhado (Nickerson *et al.*, 1989). Para entendimento dos padrões da variação da cobertura vegetal mostra-se de extrema importância a análise da sua variação numa abordagem espacial e temporal, sendo que a composição das espécies vegetais dominantes e sua distribuição, estão associadas às alterações do hidroperíodo e ao padrão geral de escoamento.

As plantas hidrófilas incluem as aquáticas propriamente ditas (hidrófitas), com órgãos vegetativos submersos, as vezes flutuantes ou parcialmente emergentes e as palustres (helófitas), que se enraízam ao fundo submerso, atravessam com seu talo a massa aquática, e desenvolvem suas lâminas foliares, flores e frutos no meio aéreo. Essas últimas são plantas próprias das bordas dos corpos de água, onde há uma transição gradual desde os solos submersos até os solos úmidos e por último os secos. Quando baixa o nível da água, as plantas palustres podem viver partes do ano sobre solo emerso (Arbo *et al.*, 2001).

Plantas hidrófilas apresentam um perfil característico (Figura 4.1.1). Nas áreas de água livre onde a profundidade é maior se encontram as comunidades de plantas aquáticas, logo depois as plantas sobre áreas com solo flutuante, e por último, próximo das áreas de terra firme, uma zona de transição, é onde predominam as plantas palustres. As plantas que ocorrem nos solos flutuantes são basicamente plantas palustres.

Os ambientes habitados por plantas palustres estão inundados permanentemente ou temporalmente, apresentam adaptações tanto para resistir às inundações como para suportar os períodos de seca. As áreas de transição e os canais estão permanentemente inundados e apresentam pequena superfície de água livre, nestas áreas a circulação da água é muito lenta, quase imperceptível, ocorrendo basicamente nos canais de circulação.

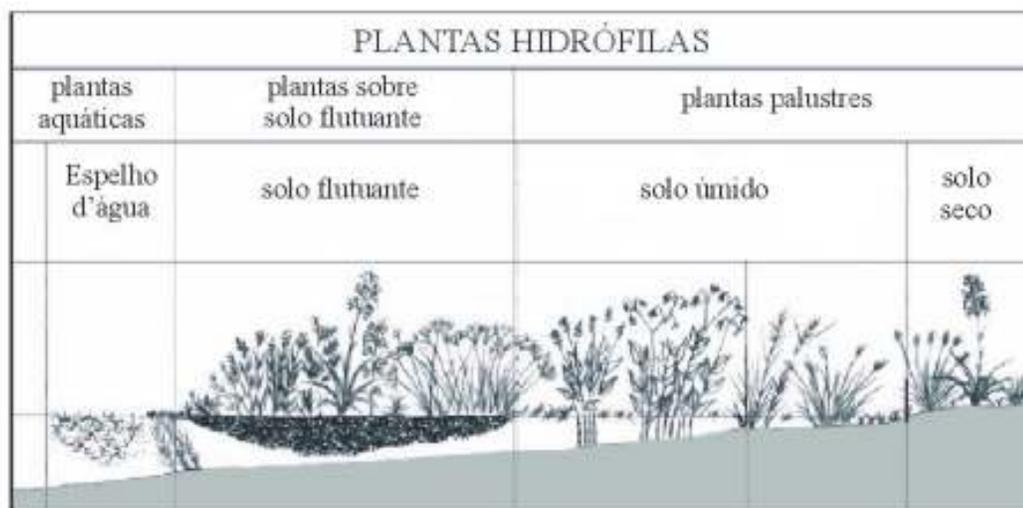


Figura 4.1.1 - Perfil esquemático mostrando a zonação das plantas hidrófilas (modificado de Arbo *et al.*, 2001).

De acordo com Irgang e Gastal (1996), macrófitas aquáticas são os vegetais visíveis a olho nu, cujas partes fotossintetizantes estão permanentemente, ou por diversos meses, todos os anos, total ou parcialmente submersos em água doce ou salobra, ou ainda flutuante na mesma.

Macrófitas têm um importante papel ecológico nos sistemas aquáticos continentais, tais como, estabilização de sedimentos, absorção de nutrientes abaixo da linha de água e do sedimento de fundo, e provêm habitats para espécies de vertebrados e invertebrados (Esteves, 1998; Asaeda *et al.*, 2001; Agostinho *et al.*, 2002). A permanência das macrófitas aquáticas em rios, canais, ressacos e lagoas permanentes e temporárias, durante todo o ano, contribuem para manter a alta heterogeneidade de habitats, típica de sistemas rio-planície de inundação, e como consequência direta ocorre elevada diversidade de outros grupos animais (Agostinho *et al.*, 2002).

O nível da água e as propriedades do escoamento influenciam enormemente o desenvolvimento das plantas, não só pela redução na disponibilidade de oxigênio e nutrientes, mas também pela alteração da textura e composição do substrato, pela pressão mecânica na

estrutura das plantas e até pela redução da disponibilidade de luz para as espécies submersas. Como resultado, observou-se diferenças na forma das folhas e na biomassa das raízes, podendo inclusive, comprometer a sobrevivência dos vegetais, cuja grande maioria não suporta condições de tirantes de água superior a 2m (Hammer, 1992 apud Paz, 2003).

Em ambientes rasos, geralmente sujeitos a muita turbulência, torna-se difícil o reconhecimento dos fatores mais importantes na determinação das variações temporais. Segundo Schafer (1984) as lagoas da planície costeira do Rio Grande do Sul têm uma pequena profundidade média. Em função dessa pequena profundidade os parâmetros analisados no corpo de água terão uma forte influência de outros fatores a ponto de estarem “mascarados”, o que de certa forma pode reduzir, por exemplo, os índices de correlação entre os parâmetros físicos do corpo de água e as informações obtidas através de imagens de satélite.

A vegetação e o vento representam os principais agentes governantes da hidrodinâmica dos banhados. A ocorrência de vegetação, as suas características e a forma como está espacialmente distribuída têm papel fundamental sobre o comportamento hidrodinâmico dos banhados, ou de qualquer corpo de água. Além de oferecer uma grande resistência adicional ao escoamento, a vegetação, quando emergente ou flutuante, proporciona um efeito protetor contra a ação do vento sobre a superfície da água (Paz, 2003).

O uso das ferramentas de sensoriamento remoto possibilita o mapeamento da distribuição espacial e temporal das comunidades de macrófitas, além de sua composição específica. De acordo com Gates *et al.* (1965), são três os principais mecanismos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas: 1) pigmentos; 2) estruturas celulares com dimensões do comprimento de onda da radiação incidente; 3) os espaços ocupados pela água. Segundo Gausman (1985), além destes mecanismos, ainda afetam a energia refletida pelas folhas outros fatores como: 1) conteúdo de água; 2) maturação ou idade da folha; 3) posição nodal; 4) condições de iluminação; e 5) senescência. Por outro lado a vegetação apresenta uma reflectância característica para cada comprimento de onda (Figura 4.1.2).

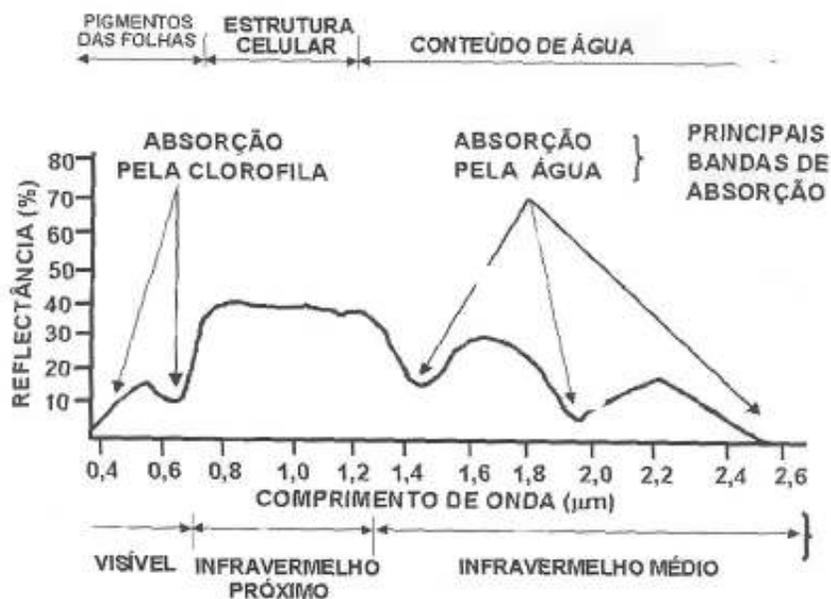


Figura 4.1.2 - Curva espectral de uma folha de vegetação sadia. Fonte: Moreira (2003).

Na região da luz visível, entre 400 e 700nm, a maior parte da radiação que incide sobre o dossel vegetativo é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes das folhas. Os principais pigmentos são compostos pelas clorofilas “a” e “b”. Na região do infravermelho próximo, entre 700nm e 1300nm, a absorção da radiação pela vegetação é muito baixa (menos de 15%), sendo que a reflectância pode chegar a 50% dependendo da estrutura anatômica das folhas. Em terras úmidas, entretanto, a vegetação devido à quantidade de água no meio circundante pode sofrer uma drástica redução da reflectância devido à infiltração por água na folha, a qual preenche as cavidades de ar, formando um meio líquido no interior da folha (Moreira, 2003). Esta região do espectro que é mais sensível aos diferentes estados vegetativos da planta, a energia refletida e captada pelos sensores é diminuída se as folhas estiverem senescentes. Ao contrário, na região do espectro visível, há um aumento de energia refletida, pois ocorre na planta, neste período, a perda dos pigmentos clorofilados que são responsáveis pela absorção de energia nestes comprimentos de onda. Este aumento da quantidade de energia refletida pela vegetação, também ocorre nos comprimentos de onda do infravermelho médio, devido ao conteúdo de água na planta, que no período de senescência, diminuindo também a quantidade de energia absorvida. Na região do infravermelho médio, entre 1300nm e 2500nm, a reflectância da vegetação caracteriza-se pelo decréscimo dos valores de energia refletida, devido à quantidade de água presente na folha.

Folhas em diferentes condições fisiológicas apresentam diferentes reflectâncias (Figura 4.1.3), como por exemplo, a reflectância da folha verde e sadia e a folha senescente. Na faixa do infravermelho próximo, região do espectro eletromagnético que responde pela característica do estado vegetativo da planta, se as plantas estão com as folhas senescentes, há uma grande diminuição na resposta refletida e captada pelos sensores. O inverso, ou seja, menor absorção e maior quantidade de energia refletida ocorrem nas bandas dos comprimentos de onda do visível devido a perda dos pigmentos clorofilados, e nas bandas do infravermelho médio devido a perda do conteúdo de água (Moreira, 2003).

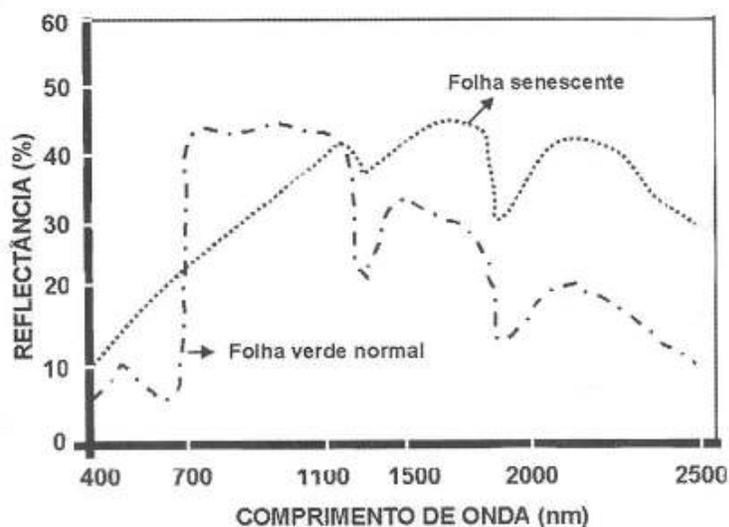


Figura 4.1.3 - Curva de reflectância de folhas verdes e de folhas senescentes. Fonte: Guyot (1990).

Em análise multitemporal com imagens de satélite Landsat TM e Radarsat-1, Graciani e Novo (2003) verificaram o efeito prejudicial que teve a variação da cota do reservatório analisado (aproximadamente 11m), sobre os gêneros de macrófitas aquáticas. Esta acentuada variação do nível da água produz estresse nas plantas aquáticas e sua posterior morte. Verificou-se também que alguns gêneros foram mais sensíveis que outros.

A resposta espectral de águaapé (*Eichhornia crassipes*) é uma função do percentual de cobertura da lâmina de água, obtida através de medidas de reflectância espectral com espectroradiômetro num intervalo entre 330 e 1055nm, do comprimento de onda do visível até o infravermelho próximo, (Peterson *et al.*, 2002), Figura 4.1.4.

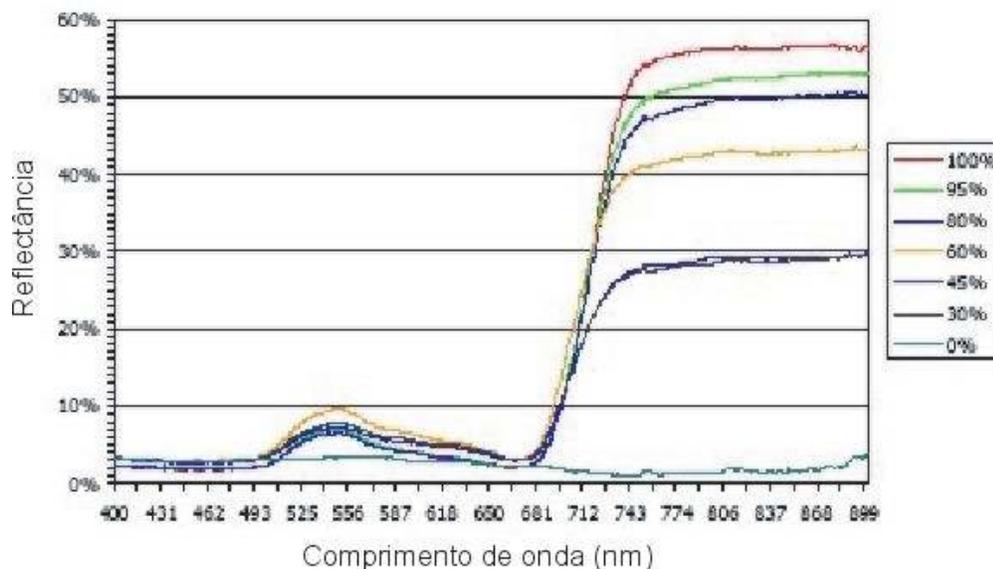


Figura 4.1.4 - Reflectância espectral de água-pé (*Eichhornia crassipes*) como uma função do percentual de cobertura. Fonte: Peterson *et al.* (2002).

Assim este estudo tem os seguintes objetivos: 1) mapear a cobertura vegetal de macrófitas aquáticas, por meio de imagens orbitais; 2) analisar os padrões da variação espacial e temporal das classes de macrófitas aquáticas, no Banhado do Taim – RS, para o período de 1973-2005.

4.2 Materiais e métodos

A área de estudo, o Banhado do Taim, situa-se na região sul do litoral do Rio Grande do Sul, entre a lagoa Mirim e o oceano Atlântico, e está delimitada pelas coordenadas geográficas S 32°31' e S 32°47' de latitude e O 52°40' e O 52°29' de longitude.

Nesta pesquisa, foram elaboradas imagens de cobertura de macrófitas aquáticas por meio de classificação digital de 21 imagens de satélite, para caracterizar os padrões espaciais e dessa cobertura vegetal e assim analisar suas relações com os fatores intervenientes nos padrões do banhado.

Para a elaboração das imagens de classes de vegetação, antes foram realizados os seguintes pré-processamento nas imagens orbitais: 1) georeferenciamento com base nas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51 W; 2) correção atmosférica pelo método “dark pixel” disponível no

Idrisi 32; 3) mosaicagem das imagens Cbers CCD; e 4) geração de um polígono limite, utilizado como máscara para a área do banhado.

Para entendermos a variação dos padrões de distribuição das macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, foi gerada uma série de imagens de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas, a partir de imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD.

As imagens de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas do banhado foram geradas por meio de classificação digital das imagens orbitais, utilizando o método de classificação não-supervisionado Isodata do Idrisi, utilizando seis classes no processo de classificação. Em razão da técnica usada no processo, os padrões são geralmente referidos como “clusters” (agrupamentos ou nuvens), Eastman (1994). Neste tipo de classificação, as classes são determinadas pela análise de agrupamentos “cluster analysis”, um número específico de clusters é arbitrado, a técnica processa repetitivamente até definir clusters médios para os dados da imagem. No caso das classificações não-supervisionadas, como é o caso da classificação Isodata, quanto maior a heterogeneidade das amostras, maior a certeza de que todas as classes serão representadas (Novo, 1989). Os pixels nas áreas de treinamento são, então, submetidos a algoritmos de agrupamento “clustering”, que determinam o agrupamento natural dos dados, considerando sua distribuição num espaço de “n” dimensões, no caso, bandas espectrais.

Para melhor definir os padrões internos ao banhado, foi utilizada a máscara de contorno, eliminando as áreas externas antes do processo de classificação.

No processo de classificação das imagens orbitais, foi definido um número de seis classes espectrais. Buscou-se com isso, abranger nessas classes as características da influência das variáveis consideradas como definidoras da variação dos padrões espectrais da vegetação no banhado, como a variação do nível da água e a estrutura de fundo.

- 1) a classe das espécies flutuantes;
- 2) a classe das espécies submersas;
- 3) a classe das macrófitas emergentes.

Tendo em vista, que a classe de macrófitas aquáticas emergentes abrange praticamente a totalidade da área do banhado, ela foi sub-dividida em três classes:

- 3.1) a classe do *Scirpus californicus*;
- 3.2) a classe da *Zizaniopsis bonariensis*;
- 3.3) a classe do *Scirpus giganteus*.

Para a análise da variação da distribuição espacial da vegetação de macrófitas aquáticas, foram utilizadas imagens de diferentes estações do ano e com variação de altura do nível da água.

Para avaliar o percentual de acerto nas classificações, foram definidas amostras tomadas como verdade de campo (Figura 4.2.1). As áreas escolhidas como amostras para avaliar a classificação, tomaram em parte, como base a proposta apresentada em Giovannini (2004), que propõe uma amostragem mínima para definir o padrão espacial para as macrófitas no Banhado do Taim.

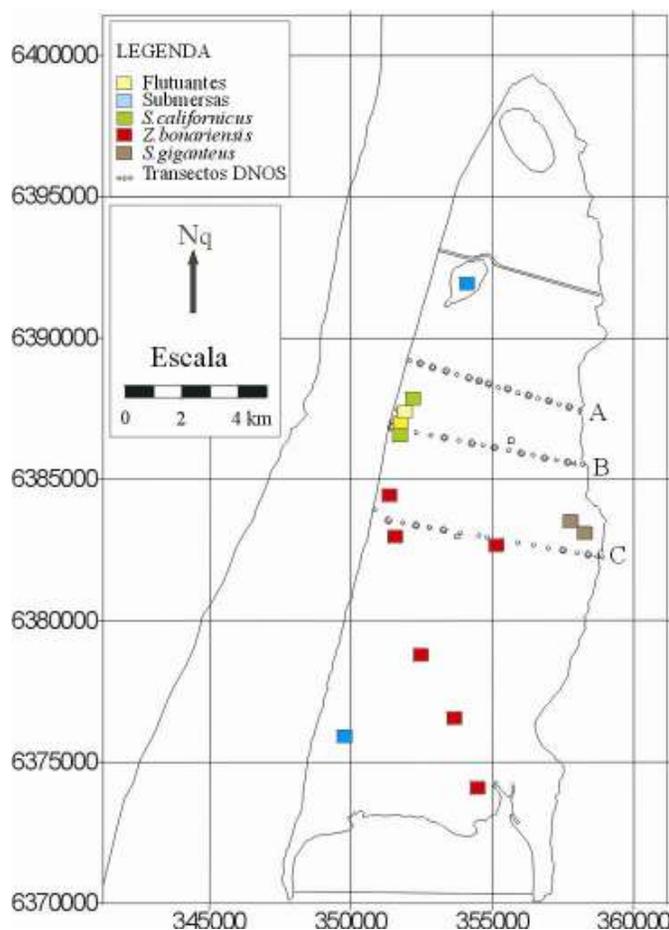


Figura 4.2.1 – Localização das amostras das classes de cobertura de macrófitas aquáticas.

4.3 Resultados e discussão

A vegetação do Banhado do Taim caracteriza-se por uma cobertura densa e uniforme de macrófitas aquáticas. No banhado estas macrófitas podem ser encontradas na forma de plantas emergentes, submersas enraizadas ou livres e flutuantes. As variações apresentadas pelos diferentes estandes de vegetação podem estar associadas a vários fatores como: variação da altura da lâmina de água, disponibilidade de nutrientes, características da estrutura de fundo e características do solo. De acordo com Motta Marques *et al.* (1997) foram identificadas 49 espécies de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim entre as espécies flutuantes e as emergentes.

Diversos estudos já quantificaram e descreveram as espécies existentes no banhado (Lobo *et al.*, 1994; Irgang e Gastal, 1996, Motta Marques *et al.*, 1997, Giovannini, 2003); avaliaram sua variabilidade espacial (Giovannini, 2004); sua relação com o regime hidrodinâmico (Giovannini *et al.*, 1997, Villanueva, 1997; Giovannini *et al.*, 1999, Giovannini *et al.*, 2001; Paz, 2003), e sua produção primária (Ferreira, 2005).

As áreas do entorno do banhado, entretanto, apresentam uma maior diversidade de padrões de uso e cobertura do solo, portanto, uma grande diversidade de respostas espectrais, como por exemplo: áreas de arroz irrigado; campos secos e úmidos; dunas; florestamento de pinus e eucalipto; capões de mata nativa, corpo de água, etc. Esta maior diversidade faz com que, no processo de classificação digital das imagens, maior número de classes seja associado a estas áreas, e menor número de classes sejam atribuídas à vegetação do banhado, já que este é mais pobre espectralmente em comparação com o seu entorno. Dessa forma, o uso de uma “máscara” para eliminar a área do entorno do banhado trouxe melhores resultados para as classificações.

A utilização de máscaras, anterior ao processo de classificação digital de classes de macrófitas aquáticas em áreas de reservatórios, para eliminar o seu entorno, foi um procedimento adotado com sucesso em Vasconcelos e Novo (2003) e Graciani e Novo (2003). Também Jardim-Lima *et al.* (2005), analisaram a extensão das áreas inundadas em função de pulsos de inundação, e para isto utilizou máscaras para eliminar níveis de confusão na classificação digital.

Estudos utilizando imagens de sensores com diferentes resoluções espaciais e espectrais têm buscado estabelecer diferenças no padrão de respostas de diferentes espécies de macrófitas aquáticas (Graciani e Novo, 2003; Vasconcelos e Novo, 2003). O mapeamento e monitoramento de mudanças na extensão e distribuição de macrófitas aquáticas através de classificação digital de séries temporais foram realizados com eficácia em diferentes estudos (Jensen *et al.*, 1993, Everitt *et al.*, 1999; Petterson *et al.*, 2002; Giovannini, 2004). Segundo Jensen (1991) os dados de sensoriamento remoto permitem que ambientes de terras úmidas possam ser monitorados e analisados.

Para a elaboração das imagens de classes das macrófitas no Banhado do Taim, por meio de classificação digital, se propôs inicialmente utilizar cinco classes de macrófitas aquáticas, que são: 1) as espécies flutuantes; 2) as espécies submersas e/ou lâmina de água

aparente; 3) *S.californicus*; 4) *Z.bonariensis*; e 5) *S.giganteus*. Esta proposta havia sido feita, com base em reconhecimento preliminar de campo de suas áreas de ocorrência, de seu padrão de distribuição e das diferenças morfológicas da vegetação.

Buscando entender os padrões espectrais das macrófitas aquáticas nas imagens de satélite, foram analisadas as interações das cinco classes de macrófitas, ou grupos de cobertura vegetal, com a variação da estrutura de fundo e a oscilação da lâmina de água, verificando-se a determinação de outros padrões espectrais. Estas variações espectrais formam subclasses no processo de classificação digital das imagens de satélite, ou então, em determinadas situações mascaram suas diferenças. As subclasses espectrais são relacionadas e determinadas pelas combinações com a variação da resposta espectral da vegetação, a variação das estruturas de fundo e da variação do nível da água. A Figura 4.3.1 apresenta os padrões espectrais e áreas predominantes de ocorrência das classes de macrófitas flutuantes, submersas, *S.californicus*, *Z.bonariensis* e *S.giganteus*, por meio de imagem Landsat TM, colorida falsa cor (4R5G3B), com realce linear de contraste, de 09/05/95.

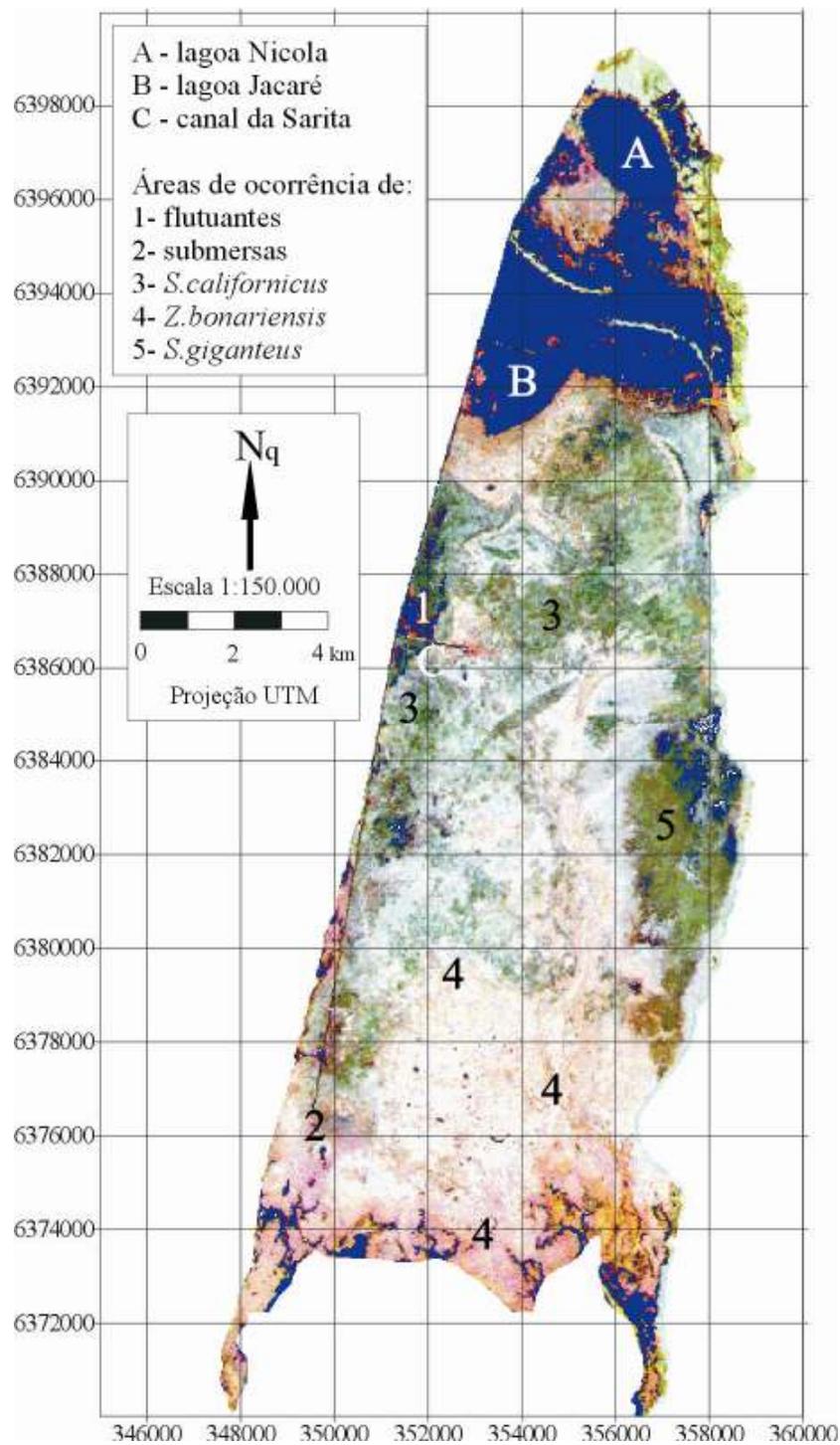


Figura 4.3.1 - Padrões espectrais e áreas predominantes de ocorrência das classes de macrófitas flutuantes, submersas, *S. giganteus*, *Z. bonariensis*, *S. californicus*, Banhado do Taim – RS, (imagem Landsat TM, colorida falsa cor (4R5G3B), com realce linear de contraste, de 09/05/95).

A classe 1, é definida pelas principais espécies de macrófitas flutuantes com ocorrência no Banhado do Taim. Estas espécies incluem *Salvinia herzogii*, *Azolla caroliniana* e *Lemma valdiviana*, (Motta Marques *et al.*, 1997). Estas espécies formam um tapete de vegetação sobre a lâmina de água, e por não estarem fixas ao fundo têm grande mobilidade espacial em função da variação da direção e intensidade dos ventos predominantes. A resposta espectral nessas áreas se deve predominantemente a vegetação, quando da vegetação sadia (Figura 4.3.2).



Figura 4.3.2 - Características das paisagens com ocorrência de *espécies flutuantes*, foto junto a margem da BR-471, no Banhado do Taim - RS.

A classe 2, formada pelas espécies agrupadas na classe de macrófitas submersas estão imediatamente abaixo da superfície de água, o que faz com que a resposta espectral observada nas imagens, para essa classe, seja predominantemente a resposta da água. Dependendo das características da água, as plantas com mais de 30 cm abaixo da superfície não são geralmente discerníveis prevalecendo à resposta da água (Evertitt *et al.*, 1999). Mas como esta resposta está extremamente “mascarada” pela vegetação submersa, seu comportamento espectral é distinto das áreas de água livre. Para Thomaz *et al.* (1997), áreas com predominância de macrófitas submersas, podem estar associadas a baixos valores de turbidez, denotando que estes ambientes possuem maior penetração da radiação subaquática.

A classe 3, que define as áreas ocupadas pela espécie *Scirpus californicus*, têm um relativo grau de mistura. Quando ocorrem manchas maciças predominantes dessa espécie o

grau de mistura se dá pela interferência da resposta da água, pois essa planta tem folhas finas e alongadas (caniços) muito espaçados entre si. Podem ocorrer também, áreas com certo grau de mistura com as espécies flutuantes, mas como manchas menores e mais espalhadas na área do banhado. De acordo com Giovannini (2004), conforme a água sobe, e sendo as condições de velocidades baixas, como o são no banhado, estas flutuantes desenvolvem-se no meio destes estandes e em espaços abertos entre eles, impedindo que a luz penetre na água, e competindo em situação mais favorável do que as plantas enraizadas. Verificou-se significativa redução do desenvolvimento desta espécie sob níveis crescentes de densidade populacional de *Salvinia* Spp, para qualquer nível de água. Ao mesmo tempo em que o *S.californicus* serve de ancoradouro e proteção às flutuantes contra o movimento das águas, por ter proporcionalmente menor densidade de folhas nestas condições de profundidades crescentes, permite também grande penetração da luz (Figura 4.3.3).



Figura 4.3.3 - Características das paisagens com ocorrência de *Scirpus californicus*, foto junto a margem da BR-471 próximo ao canal da Sarita no Banhado do Taim – RS.

Com relação à classe 4 as superfícies coberta pela espécie *Zizaniopsis bonariensis*, sem dúvida a classe predominante no banhado, é também a mais extensa em área. Essa vegetação é mais densa, e de maior porte variando entre 2,5 e 3,5 metros de altura sobre a lâmina de água, sendo, portanto, observada como manchas densas e uniformes de vegetação. A influência da resposta da água é mínima, quando da ocorrência de extensas manchas dessa vegetação. Na região sul do banhado no contato com a lagoa Mangueira, imensas massas de solos flutuantes, suportam e sustentam o crescimentos destas plantas, fazendo com que suas

folhas se desenvolvam acima do nível a água, nesta região onde ocorrem maiores profundidades de lâmina de água. Observa-se que em algumas áreas onde esta espécie é encontrada enraizada no substrato, que estão mais sujeitas a circulação da água, seu porte é menor, variando entre 1 e 2 metros sobre a lâmina de água (Figura 4.3.4).



Figura 4.3.4 - Características das paisagens com ocorrência de *Zizaniopsis bonariensis*, foto junto a margem da BR-471, no Banhado do Taim - RS.

Na classe 5 a área coberta por *Scirpus giganteus* no banhado também é extensa. Essa vegetação é densa, variando entre 1,5 e 2,5 metros sobre a lâmina de água, sendo observada em grandes manchas. A influência da resposta da água pode ser alta, pois sua ocorrência no banhado está sujeita à inundações periódicas. De acordo com Giovannini (2004), esta espécie não possui qualquer capacidade de sobrevivência prolongada em profundidades maiores do que 0,2 metros. Mesmo que possuam uma grande porção emersa. Uma das razões para isto, quando considerando profundidades maiores que 0,2 metros, mas ainda rasa (menos que 0,5 metros), é a menor capacidade que possuem de competição neste ambiente com as outras espécies (Figura 4.3.5).



Figura 4.3.5 - Características das paisagens com ocorrência de *Scirpus giganteus*, foto junto ao canal do Negreiros, na margem direita do Banhado do Taim - RS.

Face às possibilidades de combinações das variáveis que definem os padrões de distribuição das macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, como, a precipitação, temperatura, oscilação do nível da água, estações do ano e os períodos de crescimento e senescência das macrófitas, deve-se considerar quando do processo de classificação digital das imagens, que as diferentes combinações destes parâmetros introduzem uma série de variações nos padrões da resposta espectral das espécies de macrófitas aquáticas.

No decorrer do processo de classificação das 21 imagens analisadas neste trabalho, em função destas variações observadas, e conseqüentemente das dificuldades encontradas em relação à separação de algumas classes no processo de classificação, optou-se pela modificação das classes para elaboração das imagens finais de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim.

Graciani e Novo (2003), avaliam que parte da confusão encontrada entre algumas espécies de macrófitas aquáticas, no processo de classificação, está relacionada às similaridades apresentadas, na forma e no tipo das folhas, que às vezes diferenciam-se apenas pelo tamanho da planta. De acordo com Margalef (1983), a fisiologia, a morfologia e a fenologia observada nas macrófitas aquáticas estão relacionadas às adaptações em relação às flutuações do regime hídrico. Estas adaptações são consideradas como estratégias ecológicas adaptativas e variam conforme os gradientes ambientais e as espécies de macrófitas.

Neste estudo as alterações das classes para a elaboração das imagens de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas devem-se aos seguintes aspectos:

- união das três classes de espécies *S.giganteus*, *S.californicus* e as espécies flutuantes em apenas duas classes. Esta união deve-se a confusão na resposta espectral entre estas classes na maior parte das datas das imagens classificadas. Um dos motivos desta confusão é a influência da oscilação do nível da água, que causa em determinadas datas, baixa separabilidade entre estas classes;

- a classe *Z.bonariensis* foi dividida em três classes. Em algumas áreas de ocorrência desta classe, seu desenvolvimento sofre maior influência da disposição das estruturas do substrato e dos diferentes níveis de água associados à variação do substrato. Estas variações interferem na sua resposta espectral, gerando subclasses espectrais para a mesma espécie. Como esta espécie ocupa 58% da superfície total do banhado, influências dessa natureza são importantes na delimitação de sua área de ocorrência.

Assim as novas classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim foram definidas, da seguinte forma: a classe da macrófita *Z.bonariensis* foi dividida em três classes: *Z.bonariensis* 1; *Z.bonariensis* 2 e *Z.bonariensis* 3; as classes das espécies flutuantes, do *S.californicus* e do *S.giganteus*, foram agregadas em duas classes; a classe das espécies submersas e/ou água aparente.

As Figuras 4.3.6 e 4.3.7, apresentam as 21 imagens finais de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas, para as seguintes classes: *Z.bonariensis* 1; *Z.bonariensis* 2 e *Z.bonariensis* 3; espécies flutuantes; do *S.californicus*; *S.giganteus*; espécies submersas e/ou água aparente. Estas imagens foram geradas por meio de classificação digital das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD, para o período compreendido entre 1973 e 2005.

Verificou-se, que as classes 1, 2 e 3 da espécie *Z.bonariensis* ocorrem em extensas áreas, predominantemente na região sul do banhado, mas se estendendo numa região que vai desde a região de contato com a lagoa Mangueira até o centro do banhado, formando uma espécie de cone (Figuras 4.3.6-(a), (b), (g) e (h)). Em estudo sobre a produção primária de *Z.bonariensis* no Banhado do Taim Ferreira (2005) avalia que: 1) ocorre efeito de borda pronunciado nos estandes de *Z.bonariensis*, expresso na altura inferior dos indivíduos de borda e nos ritmos metabólicos diferenciados; 2) existe influência da sazonalidade sobre as

taxas de produção primária: durante o inverno foram reduzidas em função da queda das médias de temperatura, e no início da primavera se mostrou mais elevada em função do período reprodutivo; 3) a espécie *Z. bonariensis* apresenta dominância no Sistema Hidrológico do Taim, com alto sucesso competitivo. Utilizando-se das condições redutoras do ambiente que possibilitam o acúmulo de seus tecidos lignificados, cria um suporte físico que proporciona a manutenção e expansão continuada de seus estandes dentro do sistema.

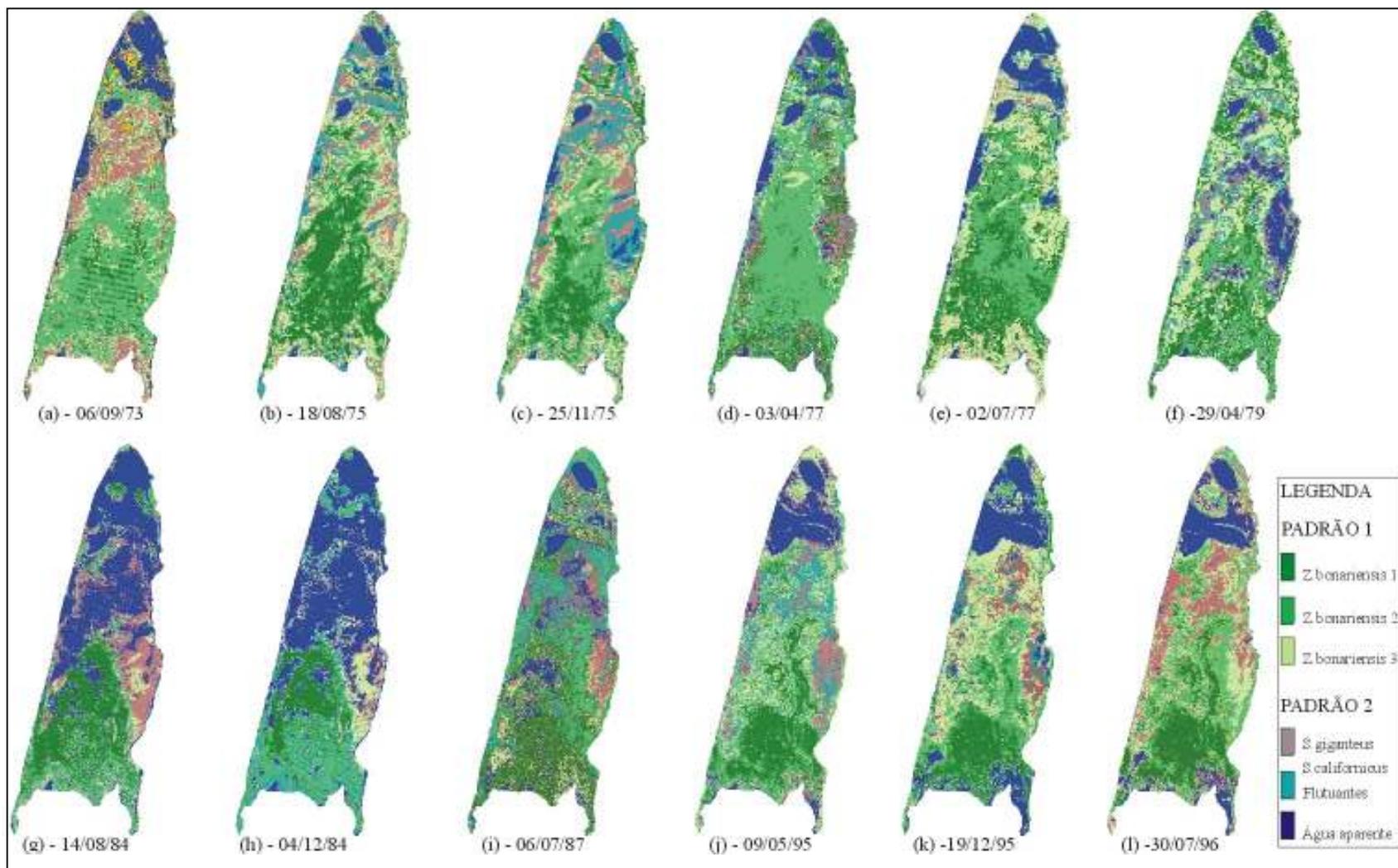


Figura 4.3.6 - Classes de cobertura vegetal no Banhado do Taim, imagens Landsat MSS (1973-1979) e TM (1984 - 1996).

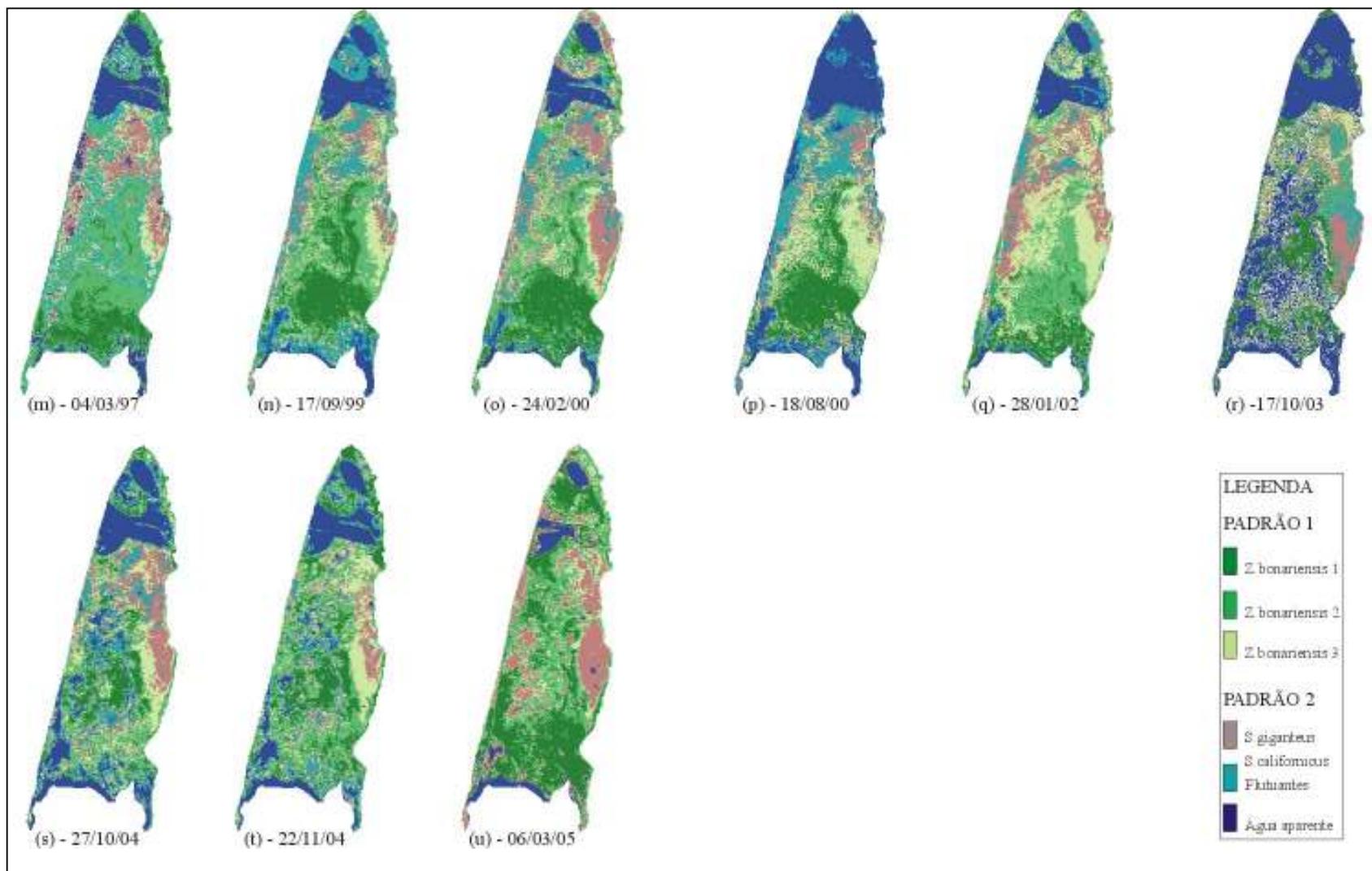


Figura 4.3.7 - Classes de cobertura vegetal no banhado do Taim, imagens Landsat TM (1997-2003) e Cbers CCD (2004 - 2005).

A classe das espécies flutuantes, e as classes de macrófitas emergentes *S.californicus* e *S.giganteus*, ocorrem predominantemente na região central do banhado, e também nas margens leste e oeste do banhado. As Figuras 4.3.6-(g) e (h), de 14/08/84 e 04/12/84 respectivamente, mostram que, principalmente estas áreas são inundadas em períodos de nível de água mais alto (4,40 e 4,39 metros de nível da água), predominando nestas áreas apenas a resposta espectral da lâmina de água aparente.

Apesar das alterações ocasionais, causadas pela oscilação do nível das águas, nos padrões de distribuição das macrófitas aquáticas podem ser observados padrões espaciais repetitivos, quase que constantes na sua distribuição, (Figuras 4.3.6-(f), (j), (k) e (l) e das Figuras 4.3.7-(m) (n), (o), (p) e (u)), onde pode-se observar exemplos destes padrões que se repetem ao longo do tempo. Nestas imagens a classe de *Z.bonariensis* 1 se destaca, formando uma estrutura maciça no extremo sul de onde parte uma outra estrutura sinuosa, que se estende até a região central do banhado.

Paz (2003) observou que a presença de vegetação no extremo sul do Banhado do Taim, na interface com a lagoa Mangueira, tem um impacto considerável sobre o padrão de circulação da água no mesmo, interferindo significativamente, na interação entre os dois sistemas. E também, que a ocupação da interfície banhado-lagoa por macrófitas aquáticas emergentes reduz a influência da lagoa sobre o banhado.

Outro padrão, recorrente em praticamente toda a série temporal de imagens, se forma na região central do banhado na margem oriental. Esta região se caracteriza por ser uma área mais rasa, e com ocorrência principalmente da espécie de macrófita *S.giganteus*. As características particulares desta área estão relacionadas à influência em períodos passados da migração das dunas (DNOS, 1968; Gomes *et al.*, 1987, Buchmann, 1997), mas sem atividade no tempo atual. A estabilização destas dunas está relacionada a implantação da década de 70 de extensas áreas de pinus e eucalipto, que barram a atuação dos ventos na região,

A quantificação dos resultados das classificações está apresentada na Tabela 4.3.1. Esta tabela apresenta a área média (ha) das classes de cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, obtidas a partir das 21 imagens classificadas pelo método de classificação não supervisionado Isocluster.

Tabela 4.3.1 – Área média (ha) das classes de cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim - RS.

Classes de macrófitas aquáticas		área (ha)
1	<i>Z.bonariensis</i> 1	3315,77
2	<i>Z.bonariensis</i> 2	3545,13
3	<i>Z.bonariensis</i> 3	3542,17
4	<i>S.giganteus</i> , <i>S.californicus</i> e macrófitas flutuantes	4073,40
5	<i>S.giganteus</i> , <i>S.californicus</i> e macrófitas flutuantes	1819,67
6	macrófitas submersas e/ou lâmina de água aparente	2754,00

A área média ocupada pelas classes de macrófitas aquáticas 1, 2 e 3 de *Z.bonariensis*, é de 10403hectares ou 58,17% da superfície total do Banhado do Taim (Tabela 5.2.1). Segundo relatos de DNOS (1968), a região central do Banhado do Taim, já mostrava uma monotonia da vegetação, coberta em extensa área apenas pela macrófita *Z.bonariensis*. Exceções são as pequenas áreas de “meias-lua”, onde ocorre uma diversidade de outras espécies, inclusive espécies associadas a áreas secas. As classes 4 e 5 das espécies *S.giganteus*, *S.californicus* e espécies flutuantes, ocupam uma superfície média de 5893,07hectares ou 32.95% da área total. As espécies submersas e/ou áreas de lâmina de água aparente ocupam uma superfície média de 2754hectares ou 15.4% da superfície total do Banhado do Taim.

Para avaliar o percentual de acerto na classificação digital das 21 imagens, com relação à classe *Z.bonariensis*, foram definidas seis amostras em diferentes regiões de ocorrência desta espécie (Tabela 4.3.2). O percentual de acerto na classificação digital para esta classe foi considerado muito bom, principalmente para as amostras Z2, Z3 e Z6 de *Z.bonariensis*. Este percentual era esperado para estas amostras, pois foram localizadas intencionalmente em áreas mais “estáveis” do ponto de vista da circulação da água no Banhado do Taim. As outras amostras foram localizadas em regiões mais sujeitas a interferência da água. A amostra Z1, teve um percentual de acerto bom, apesar de estar localizada no extremo sul do banhado, onde sofre a influência de ondas destrutivas da lagoa Mangueira. Já as amostras Z4 e Z5, que estão localizadas próximas ao centro do banhado, na

borda das manchas de *Z.bonariensis* e pertencem as duas subclasses espectrais desta macrófita (ver Figura 4.6, localização das amostras).

Tabela 4.3.2 – Percentual de acerto da classificação digital para *Z.bonariensi*, no Banhado do Taim - RS.

		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
acerto		62.87	99.42	99.04	33.33	48.76	77.14
confusão	outras classes	32.28	0.58	0.96	63.80	47.04	16.57
	água	4.75	0	0	0.97	4.20	6.29

Everitt *et al.* (1999) utilizaram sensoriamento remoto para diferenciar e mapear duas espécies de macrófitas aquáticas: *Eichhornia crassipes* e *Hydrilla verticillata*. Utilizaram para o mapeamento o método de classificação não supervisionada ISODATA com quatro classes: *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, vegetação ripária e água, obtendo uma acurácia de 87.7% para a classificação.

O percentual de acerto para as amostras de *S.giganteus*, e para a amostra 1 das macrófitas submersas foram bastante bons (Tabela 4.3.3). O percentual de confusão ocorrido para o *S.giganteus* está relacionado principalmente a dois períodos 03/04/77 e 29/04/79, quando nesta área, a resposta espectral predominante foi a da água aparente. No caso da amostra 1 de macrófitas submersas, a região teve predominância total da resposta da lâmina de água aparente. No caso da amostra 2 das macrófitas submersas, ocorreu um nível de confusão bastante alto, confusão esta que é reflexo do mascaramento de sua resposta. O estranho é que o esperado era uma confusão acentuada com a água e não com as outras classes.

Tabela 4.3.3 - Percentual de acerto da classificação digital para as espécies: *S.californicus*; *S.giganteus*; macrófitas flutuantes; macrófitas submersas e/ou lâmina de água aparente, no Banhado do Taim – RS.

		c1	c2	g1	g2	f1	f2	a1	a2
acerto		50.47	71.04	91.61	85.52	59.42	61.33	100,00	43.42
confusão	outras classes	17.73	12.58	5.71	8.57	11.25	8.01	0	56.57
	água	31.80	16.38	2.68	5.91	29.33	30.66	0	0.01

c = *S.californicus*; g = *S.giganteus*; f = flutuantes; a = submersas e/ou água aparente

A partir da quantificação das imagens de classes das macrófitas, verificou-se que pelo menos em 80% da superfície total do banhado está coberta pelas espécies de macrófitas aquáticas fixas em algum tipo de substrato.

Segundo Motta Marques *et al.* (1997), entretanto, o aumento da lâmina de água no Banhado do Taim está associado com a predominância de espécies de macrófitas flutuantes. Ainda que espécies com alta tolerância à duração de inundação (flutuantes) tenderão a prevalecer caso se produza à retenção de água, alterando as comunidades de macrófitas aquáticas.

No caso específico das macrófitas flutuantes, foi possível observar nas 21 datas de imagens classificadas, que nos períodos de oscilação do nível da água, o nível da água provavelmente fez com que essas macrófitas se deslocassem, se acumulando em outras áreas, ou tenham escoado em direção a lagoa Mirim, já que não aparecem nas amostras.

4.4 Conclusões

A classificação digital das imagens orbitais, permitiu com maior eficiência diferenciar as áreas de ocorrência da classe *Z.bonariensis* das outras classes de macrófita aquática no Banhado do Taim. Esta é também a espécie de macrófita predominante área total no Banhado do Taim, ocupando 10403 hectares ou 58.17% da superfície total do Banhado do Taim. Já a diferença entre as espécies de macrófitas *S.californicus*, *S.giganteus* e flutuantes, no processo de classificação, foi mascarada pela influência da oscilação da lâmina de água na maior parte das datas de imagens analisadas.

Apesar das alterações ocasionais, causadas pela oscilação do nível das águas, nos padrões de distribuição das macrófitas aquáticas, podem ser observados padrões espaciais repetitivos, quase que constantes na sua distribuição. A classe de *Z.bonariensis* se destaca, formando uma estrutura maciça no extremo sul de onde parte uma outra estrutura sinuosa, que se estende até a região central do banhado.

4.5 Referências bibliográficas

- ARBO, M.M.; LÓPEZ, M.G.; SCHININI, A.; PIESZKO, G. (2001) Plantas palustres del Macrossistema Iberá. Instituto de Botânica del Nordeste (IBONE).
- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S.M.; MINTE-VERA, C.V.; WINEMILLER, K.O. (2002) Biodiversity in the High River Paraná floodplain. In: O papel da conectividade na estruturação da assembléia de macrófitas aquáticas. Relatório 2002 Planície de inundação do rio Paraná. Programa PELD/CNPq, p.193-196.
- ASEDA, T.; TRUNG, V.K.; MANATUNGE, J.; VAN BOM, T. (2001) Modelling macrophyte-nutrient-phytoplankton interactions in shallow eutrophic and evaluation of environmental impacts. *Ecological Engineering*, vol.16, p.341-357.
- BUCHMANN, F.S.C. (1997) Banhado do Taim e Lagoa Mangueira Evolução Holocênica da Paleoembocadura da Lagoa Mirim. PPGGeociências, UFRGS. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, 155p.
- DNOS (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO) (1969). Estudo edafológico complementar da viabilidade técnico econômica de transformação em irrigação da região do Taim (RS) – Tomo II Zona Sul, 100p.
- ESTEVES, F.A. (1998) Fundamentos de Limnologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 602p.
- EVERITT, J.H.; YANG, C.; ESCOBAR, D.E.; WEBSTER, C.F. LONARD, R.I., DAVIS M.R. (1999) Using remote sensing and spatial information technologies to detect and map two aquatic macrophytes. *J. Aquat. Plant Manage*, vol.37, p.71-80.
- FERREIRA, T. F. (2005) Ecologia e aplicabilidade de métodos para avaliação da produção primária de *Zizaniopsis bonariensis*: uma macrófita aquática emergente, no Sistema Hidrológico do Taim, RS. PPG em Ecologia/UFRGS. Dissertação de Mestrado, 135p.
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J. CHLETER, J.C. WEIDNER, V.R. (1965) Spectral properties of plants. *Applied Optics*, v.4, n^o1, p.11-20.
- GAUSMAN, H.W. (1985) Leaf reflectance of near-infrared. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.51, n^o11, p.1725-1734.
- GIOVANNINI, E. (2003) Características de solo e vegetação, e proposta de método para o delineamento de terras úmidas do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 228p.
- GIOVANNINI, S.G.T.; MOTTA MARQUES, D.; IRGANG, B.; RISSO, A. (1997) Variação espacial de comunidades de macrófitas aquáticas e sua relação ao regime hidrodinâmico. In: Relatório 1999/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, p.147-169.
- GIOVANNINI, S.G.T; MOTTA MARQUES, D.M.L. (1999) Establishment of three emergent macrophytes under different water regimes. *Wat.Sci.Tech*, vol.40, n^o3, p.233-240.

GIOVANNINI, S.G.T.; MOTTA MARQUES, D.M.L.; IRGANG, B.; RISSO, A. (2001) Variação espacial de comunidade de macrófitas aquáticas e sua relação ao regime hidrodinâmico. Relatório 1999/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, 290p.

GIOVANNINI, S.G.T. (2004) Estudo de variabilidade da vegetação no Banhado do Taim. PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/UFRGS, Porto Alegre - RS. Tese de Doutorado, 266p.

GOMES, A.; TRICART, J.L.F.; TRAUTMANN J. (1987) Estudo ecodinâmico da Estação Ecológica do Taim e seus arredores. Porto Alegre. Ed. da Universidade, UFRGS, 84p.

GRACIANI, S.D.; NOVO, E.M.L.M. (2003) Determinação da cobertura de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais. Anais do XI SBSR. Belo Horizonte, 05-10 abril de 2003. INPE, p.2509-2516.

GUYOT, C.F. (1990) Optical properties of vegetation canopies. In: STEVEN, M.D.; CLARK, J.A. (eds) Applications of Remote Sensing in Agriculture. London: Butterworths, p.19-43

IRGANG, B.E.; GASTAL Jr., C.V.S. (1996) Macrófitas aquáticas da planície costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: edição dos autores, 290p.

JARDIM-LIMA, D.; PIEDADE, M.T.F.; QUEIROZ, H.L.; NOVO, E.M.L.M.; RENNÓ, C.D. (2005) A dinâmica do Pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá – Amazônia Central. XII SBSR, Goiânia, GO, de 16 a 21/04/05, p.3069-3076. <http://www/ltid.inpe.br/sbsr2005>.

JENSEN, J.R.; NARUMALANI, S.; WEATHERBEE, O.; MACKAY, H.E. (1993) Measurement of seasonal and yearly cattail and waterlily changes using multitemporal SPOT panchromatic data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59, p.519-525.

LOBO, E.A.; TASH, D.B.; SCHILER, S. (1994) Limnologia de áreas inundáveis da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil, onde ocorrem espécies de anatídeos com valor cinegético. Cadernos de Pesquisa, Ser. Bot. Santa Cruz do Sul (RS, Brasil). 6(1), p.25-73.

MARGALEF, R. (1983) Limnologia. Barcelona, Omega, 1010p.

MOTTA MARQUES, D.M.L.; IRGANG, B.; GIOVANNINI, S.G.T. (1997) A importância do hidroperíodo no gerenciamento de água em terras úmidas (wetlands) com uso múltiplo – o caso da Estação Ecológica do Taim. Salvador. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. Vol.3, p.1-8.

MOREIRA, M.A. (2003) Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa: UFV, 2 ed., 307p.

NICKERSON, N.H.; DOBBERTEN, R.A.; JARMAN, N.M. (1989) Effects of powerline construction on wetland vegetation in Massachusetts. Environm. Managem, vol.13, p.477-483.

NOVO, E.M.L.M. (1998) Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher. 308p.

PAZ, A.R. (2003) Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do Banhado do Taim. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 134p.

PETERSON, D.L.; JAKUBAUSKAS, M.E.; CAMPBELL, S.W.; CAMPBELL, S.D.; PENNY, D. (2002) Mapping and monitoring invasive aquatic plant obstructions in navigable waterways using satellite multispectral imagery. Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIE S.

POMPÊO, M (2003) Estimativa da biomassa de *Eleocharis* sp. na Lagoa Dourada, Brotas, SP: um estudo comparativo entre método destrutivo e não destrutivo. in: Livro da Disciplina BIE5701 Ecologia de Campo 2003, org. BUZATO, S.; PIVELLO, V.R.; MANTOVANI, W. USP, Instituto de Biociências, PPG em Ecologia. <http://eco.ib.usp.br/labvert/EcoCampo/LivroEcocampo2003.pdf>.

SCHAFFER, A. (1984) Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 523p.

THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C.; BINI, L.M. (1997) Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, p.73-102.

THOMAZ, S.M.; PAGIORO, T.A.; BINI, L.M.; SOUZA, D.C. (1997) Macrófitas aquáticas. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM.

VASCONCELOS, C.H.; NOVO, E.M.L.M. (2003) Mapeamento de macrófitas e paliteiros do reservatório de Tucuruí (Pará), utilizando imagens Radarsat. Anais do XI SBSR. Belo Horizonte-MG. 05–10 de abril 2003. INPE, p.2633-2638.

VILLANUEVA, A.O.N. (1997) Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125p.

WETZEL. R.G. (1983) Limnology. 2 ed. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 914p.

5 PADRÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NO BANHADO DO TAIM - RS

5.1 Introdução

As imagens de satélite possibilitam a coleta de informações espaciais em locais remotos e de difícil acesso como, por exemplo, o interior de grandes áreas de banhado. A maioria dos trabalhos em áreas de banhado tem sido focada na classificação e mapeamento de comunidades associadas a esses ambientes. Somente mais recentemente tem sido dada atenção a quantificação das propriedades da cobertura vegetal e/ou de macrófitas, utilizando índices espectrais de vegetação derivados de imagens de sensoriamento remoto.

Em áreas de banhado o padrão de resposta espectral nas imagens de satélite é fortemente influenciado pela mistura da resposta da vegetação e da água. Esse grau de mistura também tem relação com os níveis de informações determinantes na configuração do banhado como a estrutura de fundo e a variação da altura da lâmina de água. O fitoplâncton e as macrófitas aquáticas são fortemente responsáveis pelo espalhamento da luz na água, e possibilitam assim a interceptação da radiação refletida pelos corpos de água por sensoriamento remoto (Ritchie *et al.*, 1976).

Um fator a ser considerado para a caracterização da cobertura vegetal do banhado é a determinação da biomassa, constituindo-se em procedimento essencial, em qualquer estudo de populações de plantas aquáticas ou da dinâmica da produtividade. Possibilitam avaliar o crescimento vegetal, o estoque de nutrientes e inferir sobre o fluxo de energia no ambiente (Pompêo, 2003). Assim, a determinação da biomassa é um dos importantes procedimentos para avaliar o papel das plantas no ambiente aquático (Wetzel, 1983; Esteves, 1998; Pompêo, 2003). A biomassa pode ser descrita como o peso do material vegetal contido na lâmina de água, expresso por unidade de área num dado instante.

A Figura 5.1.1, mostra que a reflectância da folha no infravermelho médio é aproximadamente inversa quando relacionada à absorção da camada de água a aproximadamente 1 mm de profundidade. O grau no qual a energia solar incidente na faixa do infravermelho médio do espectro é absorvida pela vegetação é uma função do total de quantidade de água presente na folha.

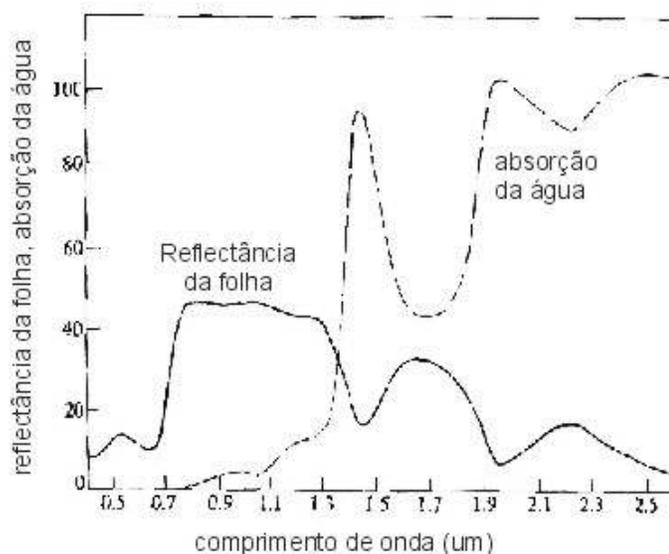


Figura 5.1.1 – Relação inversa entre a reflectância da folha e a absorção da água. Fonte: Swain e Davis (1978).

As imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) têm sido utilizadas em estudos que envolvem a determinação de índices de biomassa. O principal objetivo desses índices é realçar o alvo analisado em detrimento de outros alvos do seu entorno, como água e solo, constituindo-se bons indicadores da presença e condição da vegetação. Como os valores de reflectância da água nos comprimentos de onda do visível são maiores do que no infravermelho, essas feições apresentam valores negativos, contrastando com o seu entorno.

As diferentes espécies de macrófitas aquáticas que compõem a cobertura vegetal do banhado e a água comportam-se da seguinte maneira em imagens de NDVI: 1) a água apresenta valores de reflectância maiores no visível do que no infravermelho próximo, assim essa feição apresenta valores de NDVI negativo; 2) a vegetação apresenta valores de reflectância no infravermelho muito superior a reflectância no visível, assim apresenta valores positivos de NDVI. Valores mais altos deste índice estão associados com altas densidades de vegetação sadia.

Diversos estudos têm buscado avaliar padrões de vegetação em áreas úmidas, e sua variação ao longo do espaço e do tempo, utilizando para tanto imagens de NDVI (Narumalani *et al.*, 1999; Menciondo, 2000; Díaz e Blackburn, 2003; Giovannini, 2004).

Nas últimas décadas vários índices de vegetação espectral foram desenvolvidos (Tabela 5.1.1) e têm sido utilizados para estimar propriedades da cobertura vegetal como, índice de área foliar, biomassa e percentual de cobertura vegetal. São baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de bandas espectrais, o que reduz, portanto, o volume de informações.

São diversos os índices de vegetação propostos na literatura, mas, possivelmente seja o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973), aquele que tem sido mais amplamente utilizado.

Tabela 5.1.1 - Alguns tipos de índices de vegetação

Nome do índice	abreviação	Índice de vegetação
Difference vegetation index	DVI	$= NIR - RED$
Normalized difference vegetation index	NDVI	$= \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
Perpendicular vegetation index	PVI	$= \frac{NIR - aRED - b}{\sqrt{1 + a}}$
Ratio vegetation index	RVI	$= NIR / RED$
Soil adjusted vegetation index	SAVI	$= \frac{NIR - RED}{NIR + RED + 1(1 + L)}$

Fonte: Díaz e Blackburn (2003)

O padrão de resposta de alguns alvos na superfície terrestre é conhecido e descrito de forma resumida a seguir:

a) Nuvens e água apresentam valores de reflectância maiores no visível do que no infravermelho. Assim tais feições apresentam NDVI negativo;

b) Rocha e solo descoberto têm valores similares de reflectância nestes dois comprimentos de ondas, o que resulta em NDVI próximos de zero;

c) Em presença de vegetação, o NDVI assume valores entre 0,1 e 0,6 visto que a reflectância da vegetação no infravermelho é muito superior à reflectância no visível. Altos valores são associados com altas densidades de vegetação sadia;

d) Efeitos atmosféricos, tais como espalhamento por poeiras, aerossóis, gases atmosféricos e nuvens dentro do *pixel*, agem no sentido de aumentar a reflectância na banda do visível em relação à banda do infravermelho, e assim, reduzir o NDVI.

Este estudo tem os seguintes objetivos: 1) mapear os padrões da variação espacial e temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da vegetação de macrófitas aquáticas, através de uma série de imagens Landsat MSS, Landsat TM5 e ETM7 e Cbers CCD; 2) analisar a ocorrência de sazonalidade nos padrões de NDVI das macrófitas aquáticas no Banhado do Taim.

5.2 Materiais e métodos

A área de estudo, o Banhado do Taim, situa-se na região sul do litoral do Rio Grande do Sul, entre a lagoa Mirim e o oceano Atlântico, e está delimitada pelas coordenadas geográficas S 32°31' e S 32°47' de latitude e O 52°40' e O 52°29' de longitude.

Para a elaboração das imagens de NDVI e de classes de NDVI, antes foram realizados os seguintes pré-processamento nas imagens orbitais: 1) georeferenciamento com base nas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51 W; 2) correção atmosférica pelo método “dark pixel” disponível no Idrisi 32; 3) mosaicagem das imagens Cbers CCD; e 4) geração de um polígono limite, utilizado como máscara para a área do banhado.

Foi gerada uma série de imagens derivadas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), obtidas por meio de uma série temporal de imagens Landsat MSS, Landsat TM5 e ETM7 e Cbers CCD, já pré-processadas.

As imagens de NDVI foram geradas por meio da razão entre a banda da região do vermelho do espectro eletro-magnético (no caso do Landsat TM, a banda TM3), e a banda do infravermelho próximo (no caso do Landsat TM, a banda TM4), e representam a distribuição relativa de biomassa verde. A banda do vermelho é uma banda de forte absorção da radiação pela vegetação em função da pigmentação verde (clorofila), e a banda do infravermelho

próximo, é uma banda de forte reflexão da radiação em função da estrutura do dossel da planta.

Para a geração das imagens de NDVI, foi utilizada a seguinte seqüência de rotinas do Idrisi: Image processing; Transformation; Vegindex; NDVI. As imagens de Índice de vegetação por Diferença Normalizada, como proposta por Rouse *et al.* (1973), constituem-se, assim, em um indicador das variações da densidade da vegetação. O NDVI é dado por:

$$\text{NDVI} = (\text{TM4} - \text{TM3} / \text{TM4} + \text{TM3})$$

onde

TM3 e TM4 representam as reflectâncias no vermelho (região do visível) e no infravermelho próximo, bandas TM3 e TM4 do sensor Landsat TM, respectivamente.

Os índices de vegetação têm sido utilizados em estudos que envolvem biomassa, sendo o principal objetivo desses índices o de realçar a vegetação em detrimento de outros alvos, como água e solo. Os índices são bons indicadores da presença e condição da vegetação. São baseados em combinações lineares, razões ou transformações de bandas espectrais, o que reduz, portanto, o volume de informações.

Os padrões de resposta do NDVI da área do banhado são formados basicamente pela mistura da resposta da vegetação e da água. Esses alvos comportam-se da seguinte maneira numa imagem de NDVI:

a) a água apresenta valores de reflectância maiores no visível do que no infravermelho próximo, assim essa feição apresenta valores de NDVI negativos;

b) a vegetação apresenta valores de reflectância no infravermelho próximo muito superior a reflectância no visível, assim apresenta valores positivos de NDVI, valores mais altos estão associados com alta densidade de vegetação sadia.

As imagens de NDVI foram normalizadas, e passaram assim de imagens de NDVI de real, com variação entre 0 e 1, para byte com variação entre 0 e 255 níveis de cinza. Para facilitar a análise dos padrões de distribuição espacial e temporal das imagens de NDVI, foram geradas imagens de classes de NDVI, através da seguinte rotina do Idrisi: GIS analysis; database query; reclass.

Foram definidas seis classes para as imagens de NDVI: 1) 1 - 111; 2) 111 - 127; 3) 127 - 143; 4) 143 - 159. 5) 159 - 175; 6) 175 - 255. Estes intervalos foram definidos com base nas médias e desvio padrão do conjunto de datas de imagens analisadas, resultando em imagens fatiadas que representam a variação dos padrões espaciais das classes de NDVI em relação a dinâmica da vegetação do Banhado do Taim.

5.3 Resultados

As Figuras 5.3.1 e 5.3.2, mostram as imagens de NDVI do banhado, geradas a partir das imagens Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD, no período compreendido entre 1973 e 2005.

A imagem de NDVI da Figura 5.3.1-(j), e as imagens de NDVI da Figura 5.3.2-(m) e (o), de 05/09/95, 04/03/97 e 24/02/00 respectivamente, são representativas de períodos de nível de água baixo no banhado. Nestas datas, o nível médio da água foi de 2,09; 1,86 e 2,06 metros. A variação média de NDVI para a área total do banhado, nestas condições, depende da estação do ano e do período de crescimento ou senescência das macrófitas aquáticas.

Na razão entre as bandas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho para obter as imagens de NDVI, a banda espectral do infravermelho próximo responde pela característica do estado vegetativo da planta. A diferença entre a quantidade de energia refletida pela folha verde e sadia, e a folha senescente é bastante acentuada. Se as macrófitas aquáticas estão com as folhas senescentes, há uma grande diminuição na energia refletida e captada pelos sensores.

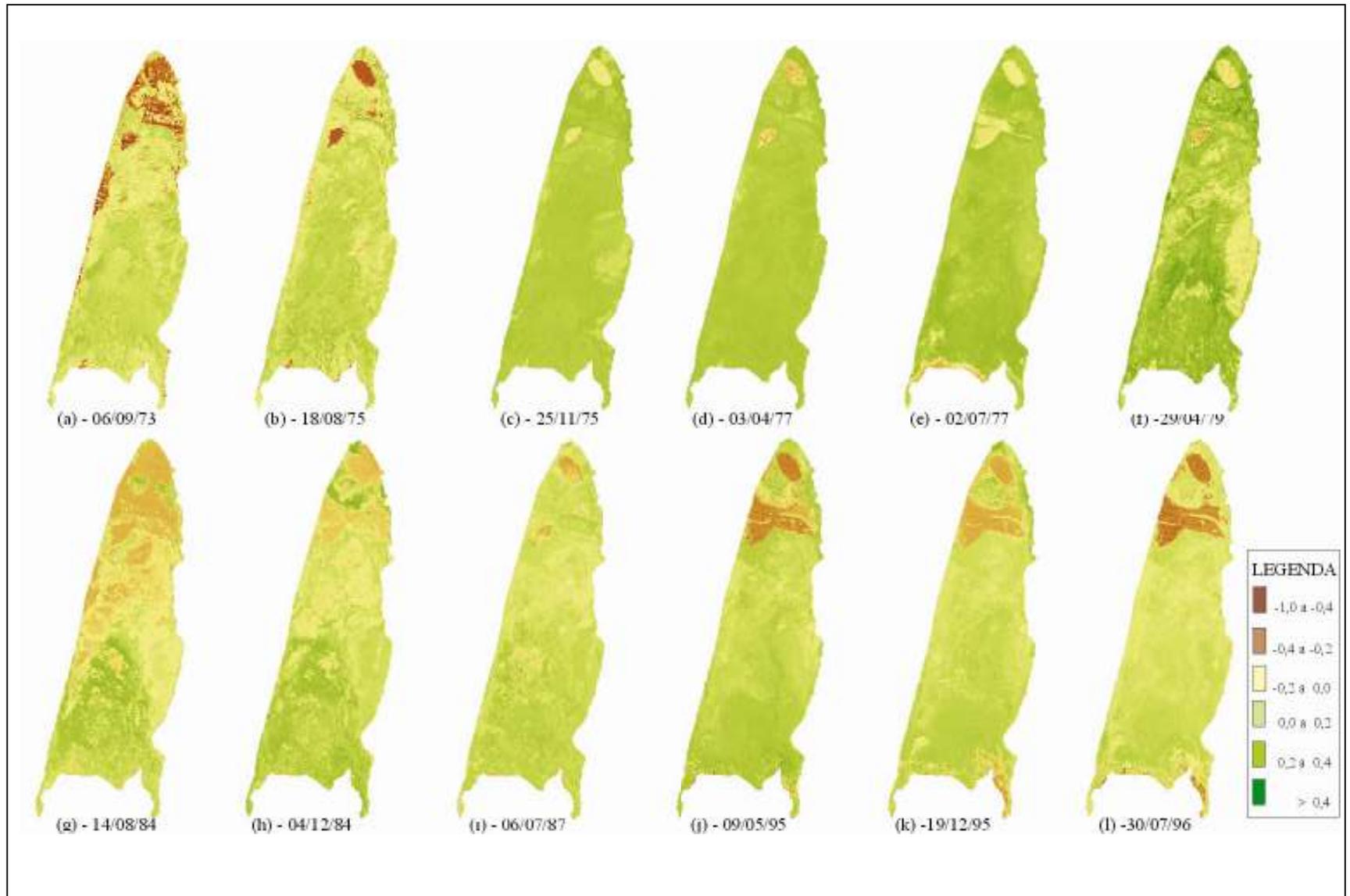


Figura 5.3.1 – Imagens NDVI do banhado do Taim obtidas de imagens Landsat MSS (1973-1979) e TM (1984 - 1996).

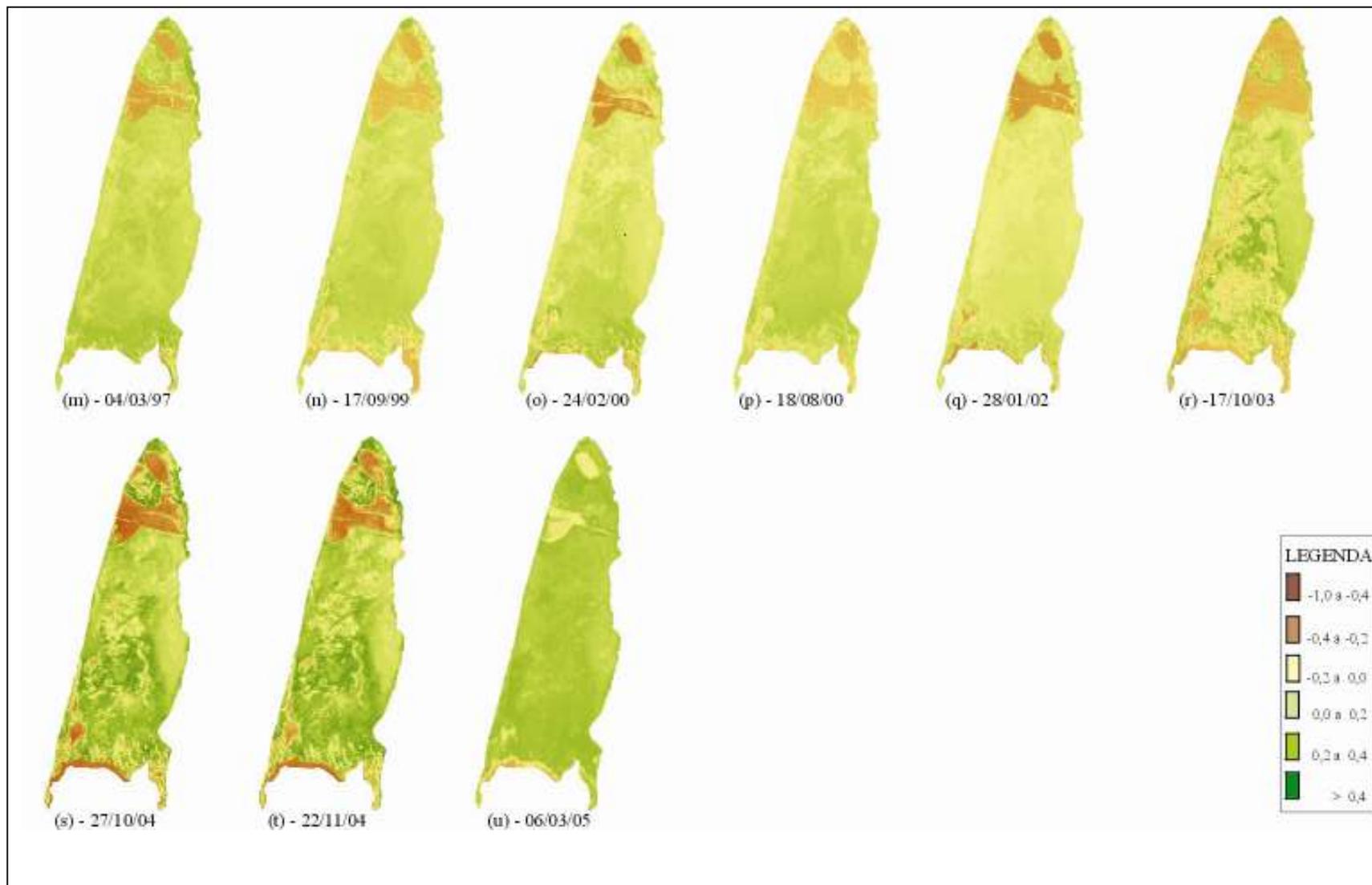


Figura 5.3.2 – Imagens de NDVI do banhado do Taim obtidas de imagens Landsat TM (1997-2003) e Cbers CCD (2004 - 2005).

Uma situação inversa pode ocorrer na banda do espectro do visível, ou seja, menor absorção e maior quantidade de energia refletida, devido à perda dos pigmentos clorofilados. Entretanto, nos períodos em que as macrófitas estão em processo de decomposição avançado, a quantidade de energia absorvida pela matéria orgânica em decomposição aumenta muito nesta banda, fazendo cair drasticamente os valores de NDVI.

As imagens de NDVI da Figura 5.3.1-(g) e (h), e a imagem de NDVI da Figura 5.3.2-(r), de 14/08/84, 04/12/84 e 17/10/03 respectivamente, são representativas de períodos de nível de água alto. Nestas datas, o nível médio da água no banhado foi de 4,4; 4,39 e 4,40 metros. Nestas imagens, a variação média de NDVI para a área do banhado vai depender, além da estação do ano e do período de crescimento ou de senescência, também da quantidade da área do banhado que é coberta por lâmina de água aparente.

Normalmente, este “encharcamento” da vegetação, faz com que a resposta espectral obtida nas imagens orbitais, tenha uma forte componente da resposta da água, o que mascara o valor de NDVI naquela imagem.

A Figura 5.3.3, apresenta a variação das médias de NDVI, para duas representações espaciais: 1) toda a superfície do Banhado do Taim; e 2) só para superfície coberta por macrófitas aquáticas.

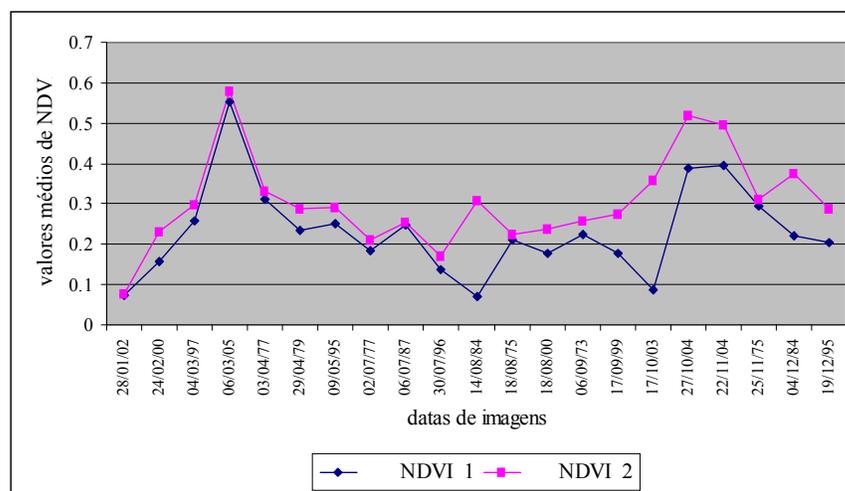


Figura 5.3.3 – Variação das médias de NDVI para (1) toda a superfície do banhado; e (2) só a superfície coberta por macrófitas.

A variação de NDVI 1 corresponde às médias de NDVI para toda a superfície do banhado, o que inclui a variação do NDVI das lagoas Nicola e Jacaré, que são lagoas internas ao banhado, e outras áreas com lâmina de água aparente, que aparecem na dependência da oscilação positiva do nível da água.

A variação de NDVI 2, corresponde às superfícies onde a resposta das médias de NDVI relativas às áreas de lâmina de água aparente foram eliminadas através de multiplicação com uma imagem de água aparente utilizada como máscara.

Pode-se observar na Figura 5.3.3, certa tendência a sazonalidade, apresentando períodos de menores valores de NDVI nos meses de verão e de inverno, e também uma tendência de valores mais elevados de NDVI no outono e primavera. Nesta figura, o período de queda dos valores de NDVI, que inicia em dezembro, está relacionado com o término do período de floração das macrófitas no banhado, e o início do período de senescência, o que faz diminuir os valores de NDVI drasticamente. Já o período de inverno coincide com período de baixo crescimento vegetativo.

Nas imagens desta figura, a tendência de alta dos valores de NDVI, verificada na primavera, é quebrada pelo baixo valor de NDVI apresentado na data de 17/10/03. Nesta data ocorreu uma elevação bastante acentuada do nível da água no banhado, que mascarou a alta do NDVI. Isto pode ser observado, quando são comparadas as curvas de NDVI 1 e NDVI 2 para esta data. A curva de NDVI 2 apresenta a tendência de crescimento da primavera. Esta relação também pode ser observada nas datas, 27/10/04 e 22/11/04.

As diferenças entre as médias de NDVI, para toda a superfície do banhado e só para as superfícies com cobertura de macrófitas, podem ser explicadas da seguinte forma:

a) existem algumas áreas que são predominantemente áreas de água livre e que são internas ao banhado, como as lagoas do Jacaré e Nicola. Nessas áreas os valores de NDVI correspondem predominantemente ao fitoplâncton, ou a pequenas manchas de macrófitas flutuantes;

b) as áreas que são ocupadas pela lâmina de água aparente, que se formam quando eleva o nível da água, normalmente são as áreas que se caracterizam por uma vegetação de menor porte. Ou também, como em parte das superfícies com predominância de

S.californicus, que devido à baixa densidade de plantas e a influência da resposta da água, reduzem relativamente o valor da variação de NDVI;

c) a cobertura de macrófitas, que fica acima do nível da água dos pulsos de inundação, corresponde a uma vegetação de maior porte, com entorno de 3 a 3,5 metros, apresenta maior densidade de plantas, e também maior biomassa. Esta vegetação aquática pode ocorrer enraizada ao substrato de fundo ou sobre as ocorrências de solos flutuantes. Os produtos derivados a partir das imagens de satélite, Figuras 5.3.1 e 5.3.2, mostram que essas áreas correspondem, na maioria das vezes, à região centro sul do banhado, área ocupada predominantemente pela espécie de macrófita *Z.bonariensis*.

De acordo com Shimabukuro *et al.* (1999), a assinatura espectral característica da vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho, e a região do infravermelho próximo. Quanto maior for este contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada.

Díaz e Blackburn (2003) testaram vários índices de vegetação, ao investigar a influência da variação e intensidade de espalhamento nas propriedades da reflectância resultantes de mistura de solos com diferentes graus de umidade em ecossistemas de mangue através de sensoriamento remoto. Avaliaram também a influência que essa mistura tem na resposta espectral na vegetação de mangue e também o relacionamento entre o “range” do índice de vegetação e o índice de área foliar dessa cobertura vegetal, concluíram que o grau de umidade e a mistura dos solos diminuem a intensidade da resposta espectral e dos valores de NDVI.

Os dados apresentados na Figura 5.3.3, mostram dois períodos em que as médias de NDVI foram mais baixas, o inverno e mais marcadamente o verão. No inverno as maiores quedas estão mais relacionadas aos períodos de grandes oscilações positivas do nível da água. Estes períodos estão de acordo com os dados apresentados em Ferreira (2005) que, através de medidas de campo, avaliou a produção primária de *Zizaniopsis bonariensis* no Banhado do Taim. Este autor registra que índices de senescência e mortalidade estiveram presentes durante todo período de medição (ano de 2004), mas que durante o inverno e no verão após o período reprodutivo, os índices de senescência e mortalidade foram maiores. Relata também que neste período, a espécie *Z.bonariensis* perdeu grande parte de sua pigmentação ficando completamente amarelada, restando, ao final de dezembro de 2004, apenas palha seca.

Howe e Wetzel (1999), ao analisar a dinâmica da espécie *Juncus effesus*, também destacam o declínio do crescimento vegetativo durante o inverno, mas avaliam que a biomassa coletiva se manteve constante devido ao aumento das densidades no inverno.

Na Figura 5.3.3, também são apresentados dois períodos em que os valores de NDVI foram mais altos (outono e primavera). Estes períodos, também estão de acordo com os dados apresentados em Ferreira (2005), quando descreve que maiores incrementos de biomassa ocorreram na primavera em função do período reprodutivo. Embora registre também que a emergência de novos indivíduos esteve presente durante todo o período de medição.

Ao caracterizar padrões de vegetação de banhado, utilizando imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Narumalani *et al.* (1999), verificaram que o aumento dos valores de NDVI está associado à estação de crescimento das macrófitas. As exceções estão associadas a períodos de precipitação excessiva, quando aumentavam as áreas de água aparente, diminuindo as médias de NDVI.

Após a caracterização e o entendimento da variação dos padrões de NDVI para todo banhado, foram também caracterizados os padrões de NDVI para as cinco classes de macrófitas propostas neste trabalho, que são: 1) as espécies flutuantes; 2) as espécies submersas e/ou água aparente; 3) *S.californicus*; 4) *Z.bonariensis*; e 5) *S.giganteus*.

Para a classe *Z.bonariensis*, devido a sua predominância em extensão na área do banhado, foram obtidas seis amostras, distribuídas em diferentes áreas de ocorrência desta espécie. Na Figura 5.3.4, de amostras de *Z.bonariensis*, observa-se a distribuição das médias de NDVI relativos a esta espécie.

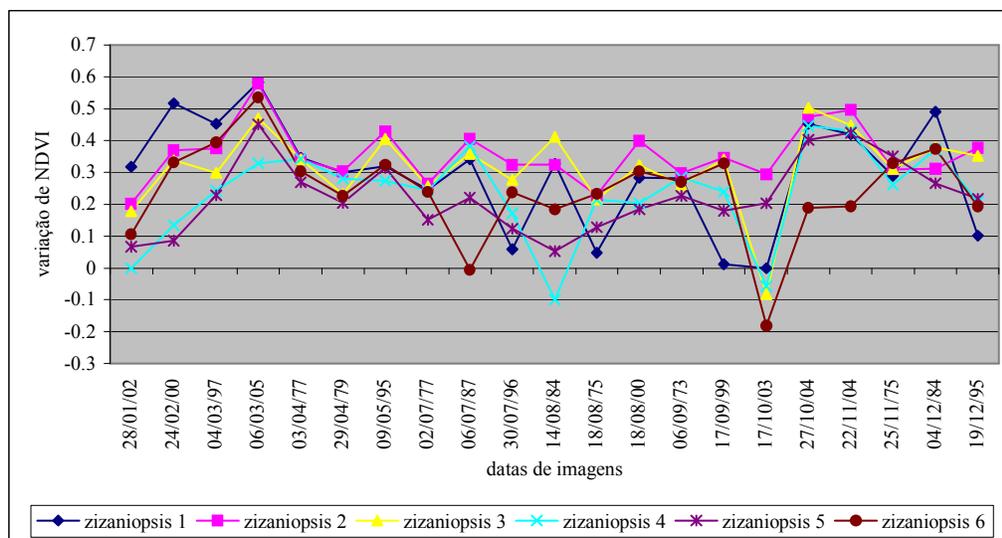


Figura 5.3.4 – Variação das médias de NDVI, classe de macrófitas *Z. bonariensis*.

Nesta figura, observa-se que as médias foram relativamente uniformes para as seis amostras em todas as datas, com médias oscilando entre 0.2 e 0.3. Algumas datas oscilaram acima da média: 06/03/05, 27/10/04 e 22/11/04. Esta oscilação positiva está relacionada com a estação de crescimento desta espécie no Banhado do Taim.

Em outras datas, as médias de NDVI, Figura 5.3.4, oscilaram abaixo da média: nas datas 30/07/96, 18/08/75, 17/10/03, principalmente para a amostra de *Z. bonariensis* 1, amostra esta localizada na zona de contacto com a lagoa Mangueira, portanto, sujeita a oscilação do nível das águas. E também nas datas de 06/07/87, 14/08/84 e 17/10/03, para as amostras de *Z. bonariensis* 4 e 6. As amostras 4 e 5 estão localizadas em áreas mais sujeitas a ocorrência de lâmina de água aparente, quando da oscilação positiva da água no banhado.

A Figura 5.3.5, apresenta a variação das médias de NDVI das amostras da classe *S. giganteus*, observa-se que as imagens de 28/1/02, 24/2/00, 29/04/79, 04/8/84 e 25/11/75, apresentaram médias bem mais baixas de NDVI.

As médias de NDVI de *S. giganteus*, não apresentaram sazonalidade definida, suas variações estão intimamente associadas às oscilações da lâmina de água aparente em sua área de ocorrência (ver Figuras 5.1.3-(c), (d) e (f)). A superfície do banhado, ocupada predominantemente com *S. giganteus*, é uma das zonas mais rasas com cotas altimétricas variando em torno de 3,20 metros.

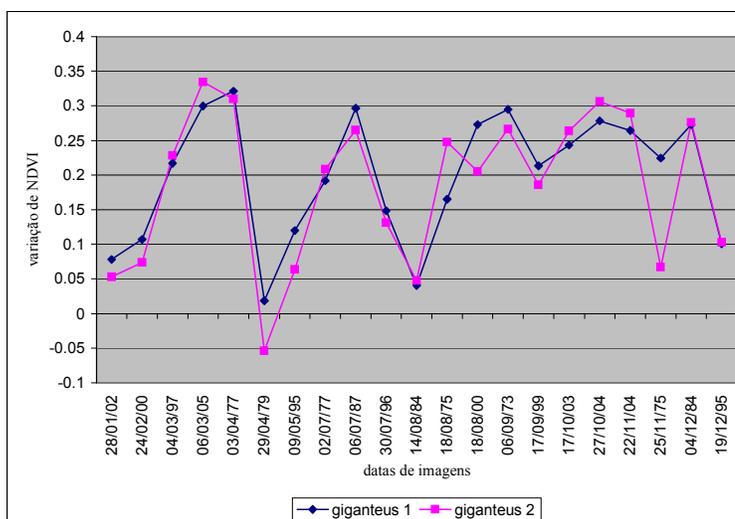


Figura 5.3.5 – Variação das médias das amostras de NDVI, classe de macrófita *S.giganteus*.

A Figura 5.3.6, apresenta a variação das médias de NDVI para as amostras da classe *S.californicus*. Nesta figura, as médias de NDVI das amostras da classe *S.californicus* apresentaram uma tendência sazonal, com máximos de NDVI no outono e primavera, e menores índices no verão e inverno.

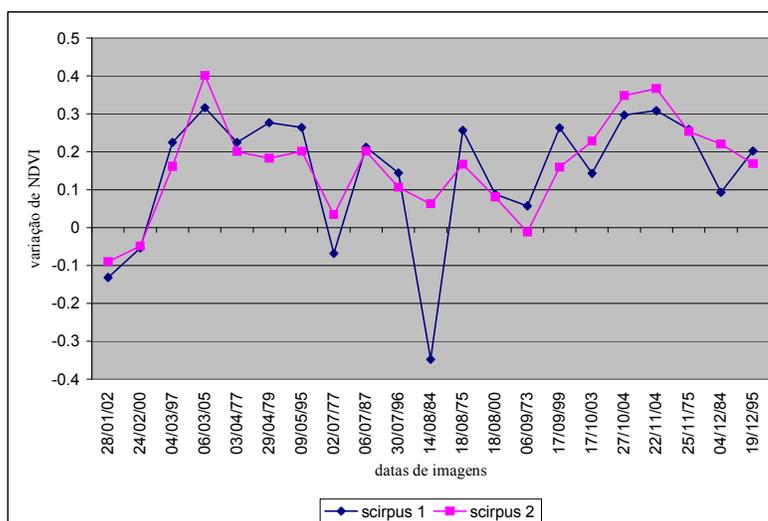


Figura 5.3.6 – Variação das médias das amostras de NDVI, classe de macrófita *S.californicus*.

Observa-se nesta figura, que as imagens de 14/08/84, 02/07/87, 24/2/00 e 28/1/02, têm menores médias de NDVI para esta espécie. As maiores médias de NDVI ocorreram nas imagens de 06/03/05, 27/10/04 e 27/11/04.

A grande diferença observada nos valores de NDVI, das amostras 1 e 2 de *S.californicus*, na data de 14/08/84, deve-se a influência das águas da lagoa Mangueira, quando o nível da água no banhado chegou a 4,4metros.

A Figura 5.3.7, apresenta a variação das médias de NDVI, para as macrófitas flutuantes. Nesta figura, destacam-se as seguintes datas de imagens de NDVI: 02/07/77, 14/8/84, 18/08/00 e 06/09/73, que tiveram médias negativas para as amostras 1 e 2. Estas médias negativas revelam uma forte influência da resposta da água na média do NDVI. A localização das amostras, também refletiu a maior influência da água, como aconteceu nas datas de 17/10/03 e 04/12/84.

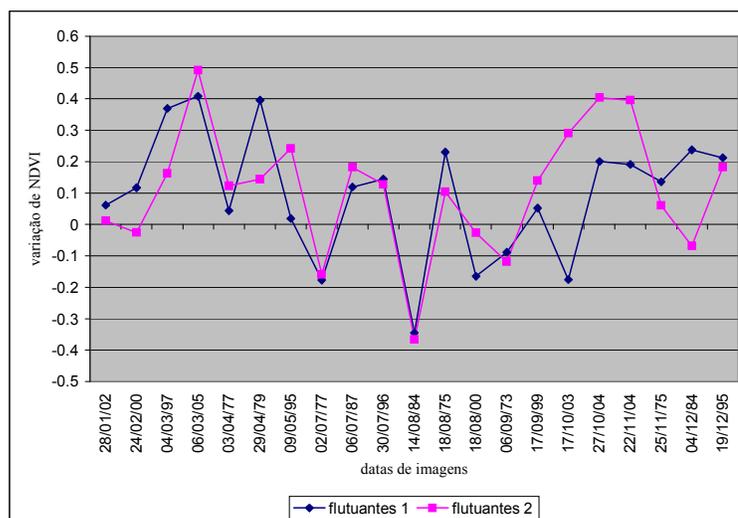


Figura 5.3.7 – Variação das médias das amostras de NDVI, macrófitas flutuantes.

Ocorrem três picos de valores máximos de NDVI, para as imagens de 06/03/05, 27/10/04 e 22/11/04, que coincidem com os períodos de máximo crescimento vegetativo das macrófitas no banhado.

A Figura 5.3.8, apresenta as médias de NDVI da classe de macrófitas submersa e/ou da lâmina de água aparente.

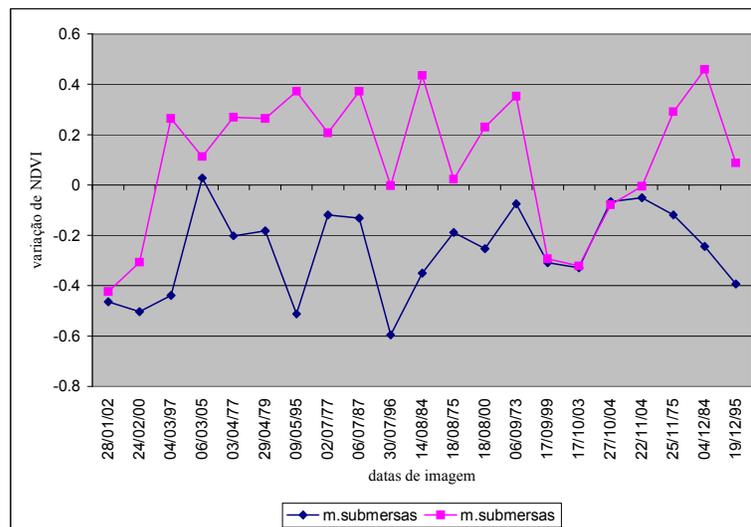


Figura 5.3.8 – Variação das médias das amostras de NDVI, macrófitas submersas e/ou água livre.

A oscilação das médias das duas amostras de macrófitas submersas e/ou água livre, está marcadamente influenciada pela variação do nível da água no banhado e por sua localização. A amostra 1 está localizada no interior da lagoa Nicola, e por este motivo, tem quase que permanentemente médias negativas.

Com a intenção de compreender o quanto o nível da água influencia na resposta de cada uma das espécies de macrófitas, optou-se por representar as médias de NDVI de todas as classes de macrófitas em função da variação do nível de água no Banhado do Taim. As médias de NDVI foram organizadas a partir da definição de três níveis de água, tomando-se como base os níveis adotados por Paz (2003) para modelar o comportamento hidrodinâmico do Banhado do Taim. Os níveis adotados foram os seguintes:

- 1) até 2,60metros (nível baixo);
- 2) entre 2,60 e 3,50metros (nível médio); e
- 3) acima de 3,5metros (nível alto).

A Figura 5.3.9, apresenta a variação das médias de NDVI para as seis classes de macrófitas aquáticas, organizadas em função de diferentes níveis de água no banhado.

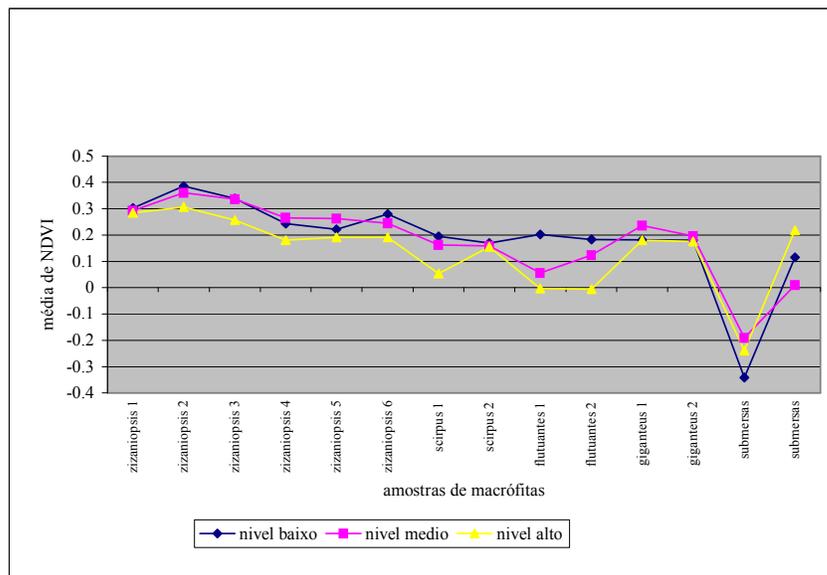


Figura 5.3.9 – Médias de NDVI para as seis classes de macrófitas em relação ao nível das águas no Banhado do Taim.

De acordo com a variação observada na Figura 5.3.9 da relação entre os três níveis de água e as diferentes espécies de macrófitas, de forma geral, quando o nível da água é alto, os valores de NDVI apresentam-se menores, como por exemplo, nas datas de 14/08/84 e 17/10/03. Segundo Giovannini (2004) o aumento do nível da água nestas datas provavelmente impediu a floração das ciperáceas e *Typha* sp. E aumentou a taxa de crescimento vegetativo das espécies capazes de resposta como *S.californicus*, *Z.bonariensis*, além de permitir uma grande infestação de flutuantes. Exceção foram as espécies submersas que tem os menores valores de NDVI quando as águas estão baixas.

As médias de NDVI não sofreram variação significativa dentro de cada classe. Algumas exceções, onde a influência da oscilação se mostrou significativa, foram as espécies de macrófitas flutuantes (amostras 1 e 2), que mostraram variação de NDVI para os três níveis de água analisados. Também houve variações para as espécies *S.californicus* (amostra 1) e *S.giganteus* (amostra 1), que mostraram maior variação para o nível de água alto. A grande diferença observada para as médias de NDVI da amostra 1 de macrófitas submersas e/ou áreas de lâmina de água aparente, deve-se a predominância da resposta da água na média do NDVI.

Nesta figura, também pode-se observar que, dependendo do nível de água, pode existir uma maior confusão entre as médias de NDVI, pois passam a apresentar as mesmas médias, mascarando o padrão apresentado por cada uma das espécies, como por exemplo, nas *Z.bonariensis* 4 e 5, no *S.giganteus* e na amostra 2 das espécies submersas, em relação à variação do nível de água no banhado. As características desta variação, entretanto, podem ser um pouco mais complexas, pois segundo Gosselin *et al.* (2000) ela é o resultado da dinâmica interação entre o clima, a hidrologia e os processos químicos e biológicos.

Para melhor definir e representar a variação dos padrões de NDVI, e a sua associação aos padrões da vegetação no banhado, as imagens de NDVI foram fatiadas em intervalos de classes. Nas Figuras 5.3.10 e 5.3.11, estas imagens, estão representadas em seis classes de NDVI. Nestas figuras, a classe representada pela cor verde escuro, corresponde às áreas com maiores valores de NDVI, seguindo até os menores valores de NDVI, e/ou que estão sob forte influência da elevação do nível da água no banhado, representados pela cor marrom.

Pode-se observar nesta seqüência temporal de imagens de classes de NDVI (entre 1973 e 2005), que existe um padrão recorrente na distribuição espacial das classes de NDVI, este padrão retorna mesmos depois de período de cheias excepcionais como os apresentados nas datas de 14/08/84 e 17/10/03, Figura 5.3.10-(g) e Figura 5.3.11- (r) respectivamente. De acordo com Giovannini (2004), uma razão para este gradiente de NDVI poderia ser dada diretamente pelo gradiente topográfico gerando um gradiente de nível de água, com uma resposta no padrão de distribuição da vegetação de macrófitas aquáticas.

Nestas figuras, os menores valores de NDVI, representados na cor marrom, estão associados predominantemente as águas das lagoas Nicola e Jacaré, ou então, a outras áreas de lâmina de água aparente que se formam quando da elevação do nível da água. Os maiores valores de NDVI, representados na cor verde escuro, ocorrem predominantemente na região sul, abrangendo uma superfície que se estende até o centro do banhado. Esta superfície como foi visto no capítulo 4, corresponde às áreas de principal ocorrência da macrófita *Z.bonariensis*, espécie predominante em área, no banhado.

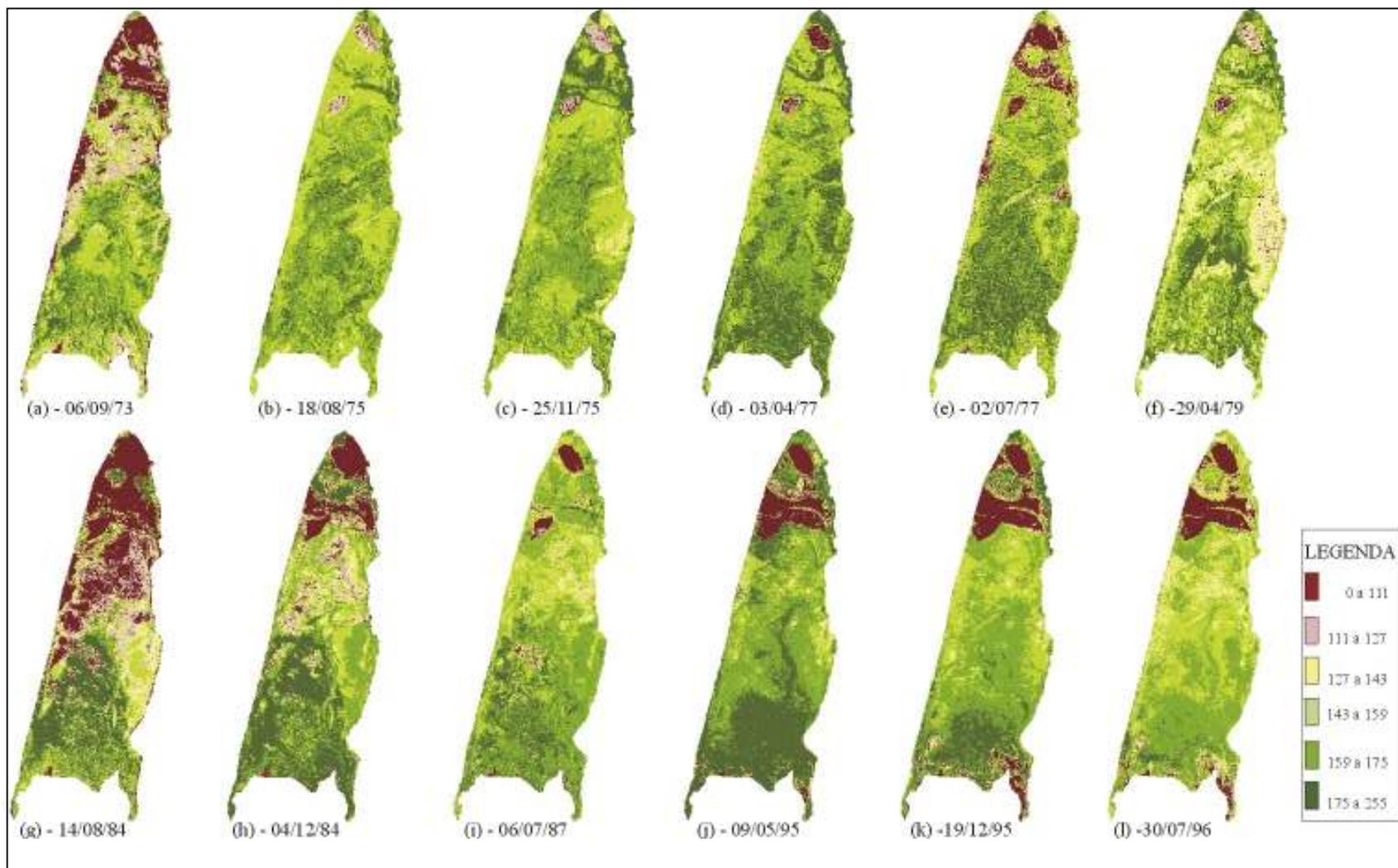


Figura 5.3.10 – Imagens de classes de NDVI do Banhado do Taim obtidas por fatiamento das imagens de NDVI (1973 - 1996).

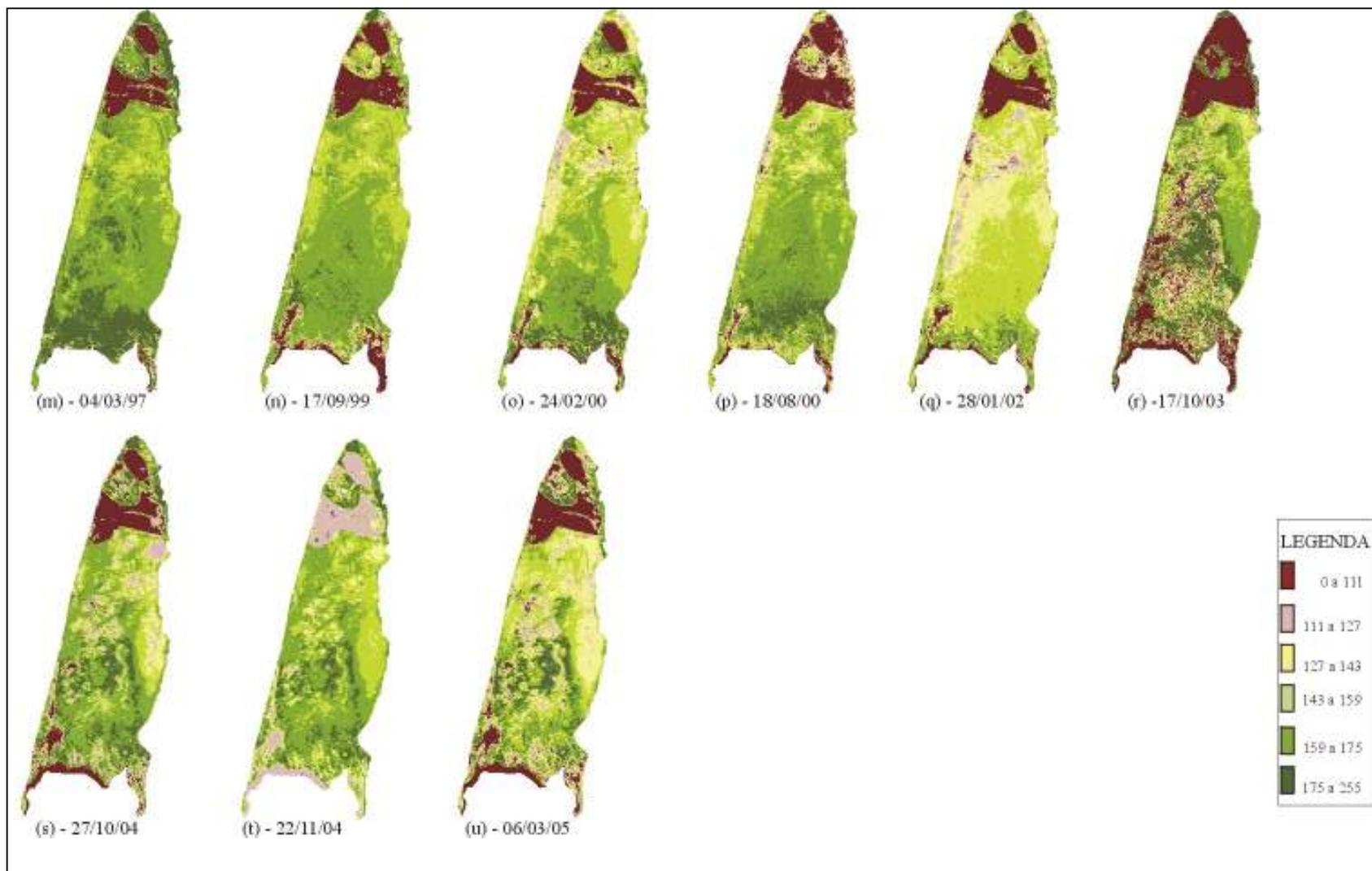


Figura 5.3.11 – Imagens de classes de NDVI do Banhado do Taim obtidas por fatiamento das imagens de NDVI (1997 - 2005)

Os valores médios de NDVI predominam na região centro-norte do banhado, como foi visto no capítulo 4, e correspondem às áreas de maior ocorrência de *S.californicus*, *S.giganteus* e de espécies flutuantes.

De forma geral, nas imagens em que predominam, em toda a superfície do banhado, classes que representam baixos valores de NDVI, normalmente elas estão relacionadas aos períodos de senescência das macrófitas aquáticas. Exemplos são as imagens da Figuras 5.3.10-(l) de 30/07/96, e Figuras 5.3.11-(q) e (u) de 28/01/02 e 06/03/05 respectivamente.

5.4 Conclusões

As médias de NDVI das macrófitas aquáticas, quando obtidas para a área do banhado como um todo, e também para as amostras das de macrófitas aquáticas *Z.bonariensis*, *S.californicus* e as espécies flutuantes, mostraram um comportamento sazonal. Entretanto, esse comportamento médio pode ser fortemente mascarado pela oscilação do nível das águas no banhado.

A série temporal de imagens de classes de NDVI, mostrou a existência de um padrão recorrente na estrutura de distribuição espacial e temporal do NDVI das macrófitas aquáticas no Banhado Taim.

5.5 Referências bibliográficas

DÍAZ, B.M.; BLACKBURN, G.A. (2003) Remote sensing of mangrove biophysical properties: evidence from a laboratory simulation of the possible effects of background variation on spectral vegetation indices. *Int. J. Remote Sensing*, vol.24, n^o1, p.53-73.

ESTEVES, F.A. (1998) *Fundamentos de Limnologia*. 2^a ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 602p.

FERREIRA, T.F. (2005) *Ecologia e aplicabilidade de métodos para avaliação da produção primária de *Zizaniopsis bonariensis*: uma macrófita aquática emergente, no Sistema Hidrológico do Taim, RS. PPG em Ecologia/UFRGS. Dissertação de Mestrado, 135p.*

GIOVANNINI, S.G.T. (2004) *Estudo de variabilidade da vegetação no Banhado do Taim. PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/UFRGS, Porto Alegre - RS. Tese de Doutorado. 266p.*

GOSSELIN, D.C.; RUNDQUIST, D.C.; McFEETERS, S.K. (2000) Remote monitoring of selected groundwater-dominated lakes in the Nebraska Sandhills. *Journal of the American Water Resources association*.

HOWE, M.J.; WETZEL, R.J. (1999) High perennial plant achieved by continuous growth and synchronized population dynamics. *Aquatic Botany*, v.64, p.111-119.

MENDIONDO, E.M.; NEIFF, J.J.; DEPETTRIS, C.A. (2000) Eco-hydrology of wetlands aided by remote sensing – A case study with the REVIVE's GOALS initiative. *New Trends and Environmental Engineering for Safety and Life*, pp.1-9.

NARUMALANI, S.; JENSEN, J.R.; ALTHAUSEN, J.D.; BURKHALTER, S.; MACKEY, H.E. (1997) Aquatic macrophyte modeling using GIS and logistic multiple regression. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol.63, N°1, p.41-49.

PAZ, A.R. (2003) Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do Banhado do Taim. *Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 134p.*

POMPÊO, M (2003) Estimativa da biomassa de *Eleocharis* sp. na Lagoa Dourada, Brotas, SP: um estudo comparativo entre método destrutivo e não destrutivo. in: Livro da Disciplina BIE5701 Ecologia de Campo 2003, org. BUZATO, S.; PIVELLO, V.R.; MANTOVANI, W. USP, Instituto de Biociências, PPG em Ecologia. <http://eco.ib.usp.br/labvert/EcoCampo/LivroEcocampo2003.pdf>.

RITCHIE, J.C., SCHIEBE, F.R., McHENRY, J.R. (1976) Remote Sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: NASA ERTS Symposium*, v.3, p.3090-3217.

SWAIN, P.H.; DAVIS, M.S. (1978) *Remote sensing: The quantitative approach*. Purdue University – USA. McGraw-Hill, 396p.

WETZEL, R.G. (1983) *Limnology*. 2 ed. Lisboa: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 914p.

6 EFEITOS DA OSCILAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA NA DEFINIÇÃO DE PADRÕES ESPACIAIS DAS PAISAGENS DO BANHADO DO TAIM - RS

6.1 Introdução

Nos últimos anos tem sido retomada a análise da paisagem, sob o enfoque geográfico e de ecologia de paisagem. Estas abordagens buscam caracterizar a distribuição espacial atribuindo índices para a análise dos fenômenos estudados. Dentre estes, destaca-se, neste estudo, o índice que mede a variação espacial e temporal da distribuição da vegetação de macrófitas aquáticas no banhado do Taim. Esse retorno ganha reforço com o uso das imagens de satélite e das ferramentas de geoprocessamento, viabilizando e tornando mais dinâmica a análise com uma abordagem espacial e temporal dessa variação.

Segundo Forman e Godron (1986) a evolução de uma paisagem resulta de três mecanismos operando em diferentes escalas temporais: processos geomorfológicos/geológicos ocorrendo durante um longo tempo, padrões de colonização de organismos se desenvolvendo em uma escala média de tempo, e intermediada, por vezes, por rápidas perturbações em ecossistemas locais. A combinação destes três mecanismos resulta em uma paisagem terrestre, composta por diferentes formas de relevo, tipos de vegetação e usos do solo, organizados em um arranjo ou mosaico de retalhos ou manchas, que formam um agrupamento único de ecossistemas em interação.

Ainda segundo estes autores, o conceito de ecologia de paisagem passa a ser definida como o estudo da estrutura, função e mudança de uma região heterogênea composta de ecossistemas em interação. Estas três características principais definidas por Forman e Godron (1986) são conceituadas como: a) estrutura: é o produto do relacionamento espacial entre os distintos ecossistemas ou elementos presentes. É o arranjo ou padrão da organização espacial da paisagem (descrito por tamanhos, formas, números e tipos de configuração dos ecossistemas) que

governa a distribuição de energia, materiais e organismos; b) função: são as interações entre os elementos espaciais, representadas pelos fluxos de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas presentes; e c) mudança: são as alterações na estrutura e na função do mosaico ecológico através do tempo.

Soares-Filho (1999), ainda propõe que seja utilizado o termo elementos de paisagem no sentido de se referenciar aos diferentes tipos de uso e de cobertura do solo, enquanto o termo unidade de paisagem passa a ser o mais indicado para regiões representativas de sistemas ambientais formados por um conjunto único de vegetação, solo, relevo e clima. Forman e Godron (1986) denominam como elementos de paisagem os elementos ou unidades ecológicas básicas que possuem relativa homogeneidade, não importando se eles são de origem natural ou humana. Definem ainda que o mosaico de retalhos ou manchas compostas por elementos de paisagem define um padrão estrutural particular de cada paisagem.

A Figura 6.1.1, mostra um exemplo de distribuição espacial de elementos de paisagem e suas manchas. As setas indicam as interações entre as manchas nas trocas de matéria e energia (função), enquanto o padrão formado pelas manchas define a estrutura da paisagem. A evolução da estrutura ocorre pelas mudanças através do tempo. Neste exemplo, estão presentes 04 elementos na paisagem e 28 manchas. Assim, propõe-se a utilização do termo elementos de paisagem no sentido de se referenciar aos diferentes tipos de comunidades de macrófitas.



Figura 6.1.1 – Exemplo de elementos de paisagem e interação entre suas manchas.

O conteúdo textural de uma imagem pode fornecer alguns indicadores da composição dos elementos da paisagem, principalmente sua variabilidade (Turner, 1989). Considerando que apenas a informação multiespectral inerente aos dados de sensoriamento remoto muitas vezes não é suficiente para discriminar as diferentes categorias de uso da terra, pressupõe-se que a utilização de indicadores texturais que tenham um significado ecológico, como o índice de fragmentação e de diversidade da paisagem, possa oferecer uma contribuição nesse sentido (Galo e Novo, 1998).

Ao analisar alguns sistemas de classificação de paisagem apresentados em Christian e Stewart (1985); Zonneveld (1972); Forman e Godron (1986), Soares-Filho (1999) coloca a questão de qual sistema de classificação e termos seriam os mais apropriados para em um estudo de ecologia de paisagem. O autor Soares-Filho (1999) conclui afirmando que a classificação de Forman e Godron (1986) se aproxima mais com uma metodologia de classificação voltada à representação de unidade de uso e de cobertura do solo e, que os outros autores trazem uma abordagem sistêmica organizada em níveis hierárquicos.

Turner (1989) relaciona uma série de medidas utilizadas para quantificar os padrões de paisagem e ressalta o potencial dos dados de sensoriamento remoto na análise da estrutura da paisagem, a partir das medidas de padrões espaciais. Segundo O'Neill *et al.* (1998), uma vantagem de aplicação dos índices de estrutura em estudos de paisagem deve-se ao fato de que eles foram deliberadamente projetados para minimizar a necessidade de informações adquiridas a campo, importante como primeira abordagem em sistemas como o banhado do Taim. De acordo com Soares-Filho (1999), a utilização desses índices abre uma nova perspectiva para a aplicação do sensoriamento remoto em estudos da paisagem.

A caracterização da estrutura da paisagem visa desvendar as origens ou os mecanismos causais das texturas ou padrões, para com isso desenvolver modelos de paisagem. Para tanto, são necessários métodos quantitativos que liguem os padrões espaciais aos processos ecológicos em amplas escalas espaciais e temporais (Turner e Gardner, 1990). Alguns dos descritores de paisagem são caracterizados em função de cada mancha presente na paisagem, enquanto outros só são válidos para regiões amostrais.

Galo e Novo (1998) e Lago *et al.* (2001) utilizaram padrões de textura, índice de diversidade, derivados de dados de sensoriamento remoto para avaliar categorias de paisagens naturais (áreas de parques florestais) submetidas a diferentes níveis de intervenção antrópica.

Segundo as autoras os dois índices discriminaram nitidamente ambientes muito fragmentados, caracterizados pela intensa atividade antrópica.

A maioria das paisagens é influenciada pela ação do homem, portanto, o mosaico de paisagens resultante, é uma mistura de elementos naturais e antrópicos que variam em tamanho, forma e arranjo, de modo que as medidas usadas para descrever padrões de paisagem podem ser aplicadas na análise de sua estrutura (Forman e Godron, 1986; Turner, 1989; Turner, 1990). Assim, padrões de textura de uma imagem podem fornecer alguns indicadores da composição dos elementos da paisagem, principalmente sua variabilidade espacial (Turner, 1989).

Em banhados, suas funções ecológicas podem ser afetadas devido à retenção de água e nutrientes que estão relacionadas ao tipo de vegetação presente (Mitsch e Gosselink, 1993). Uma questão que se coloca é se os índices de paisagem são adequados para avaliar áreas de banhado. Essa questão se coloca tendo em vista que eles foram construídos para analisar a heterogeneidade da textura da paisagem. Sua aplicação tem sido adequada para avaliar, por exemplo, áreas com variação topográfica (Turner, 1990), áreas com variação de uso e cobertura florestal (Galo e Novo, 1998; Lago *et al.*, 2001; Saura, 2004) e análises regionais (Turner, 1990).

Diferentes estudos realizados no Sistema Hidrológico do Taim como Tucci (1996); Motta Marques *et al.* (1997); Motta Marques e Villanueva (2001); Villanueva e Tucci (2001) e Paz (2003) têm definido como sendo três os níveis de informações determinantes na configuração desse subsistema Banhado: 1) a estrutura de fundo; 2) o hidroperíodo; 3) a cobertura vegetal. A área do banhado do Taim, apesar de ser uma paisagem heterogênea do ponto de vista da diversidade de espécies, não é uma paisagem muito rica do ponto de vista de classes espectrais, se comparada com a variação no seu entorno. Esse fato de certa maneira, dificulta sua análise através de imagens de satélite.

Este estudo tem como objetivo avaliar a utilização de imagens de índice de diversidade, com base nas imagens Landsat TM de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, para: 1) avaliar a adequação do uso do índice de diversidade para analisar o banhado do Taim; 2) analisar a variação dos índices de diversidade e sua relação aos padrões espaciais e temporais de distribuição das macrófitas aquáticas; 3) avaliar a influência de eventos perturbadores, ligados à oscilação do nível da água, na estrutura dos padrões do banhado.

6.2 Materiais e métodos

A área de estudo, o banhado do Taim, situa-se na região sul do litoral do Rio Grande do Sul, entre a lagoa Mirim e o oceano Atlântico, e está delimitada pelas coordenadas geográficas S 32°31' e S 32°47' de latitude e O 52°40' e O 52°29' de longitude.

Para a elaboração das imagens de textura, antes foram realizados os seguintes pré-processamento nas imagens orbitais: 1) georeferenciamento com base nas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51 W; 2) correção atmosférica pelo método “dark pixel” disponível no Idrisi 32; 3) geração de um polígono limite, utilizado como máscara para a área do banhado.

A metodologia utilizada para a geração das imagens de textura, tomou como base as metodologias utilizadas em Liu e Cameron (2001) e Galo e Novo (1998) posteriormente aplicada em Lago *et al.* (2001).

Foram geradas imagens de textura que representam o índice de diversidade, baseado na teoria de informações de Shannon e Weaver (1975), a partir da banda do infravermelho próximo obtidas das imagens Landsat TM de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02 (Figura 6.2.1).

Para a geração destas imagens foi utilizada a rotina de análise de textura do Idrisi (GIS analysis, context operators, texture), neste estudo foram estabelecidos os seguintes critérios: 1) foi utilizada a análise de variabilidade espacial dos valores dos contadores digitais dos pixels. Esta opção possibilita gerar várias medidas de textura, dentre as quais, as imagens de índice de diversidade da paisagem; 2) as imagens de entrada foram definidas como a banda do infravermelho próximo (TM4) do sensor Landsat TM, em três datas de imagens; 3) para a medida dos índices de diversidade foi utilizado uma janela móvel de 7 x 7 pixel (o pixel das imagens Landsat TM é 30 x 30 metros), que se desloca sobre a imagem e é calculado um novo valor para cada pixel central desta janela, gerando uma nova imagem de saída; 4) definição da medida de textura a ser analisada. O índice utilizado foi o índice de diversidade. De acordo com Eastman (2000), a equação para diversidade foi obtida de Turner (1989).

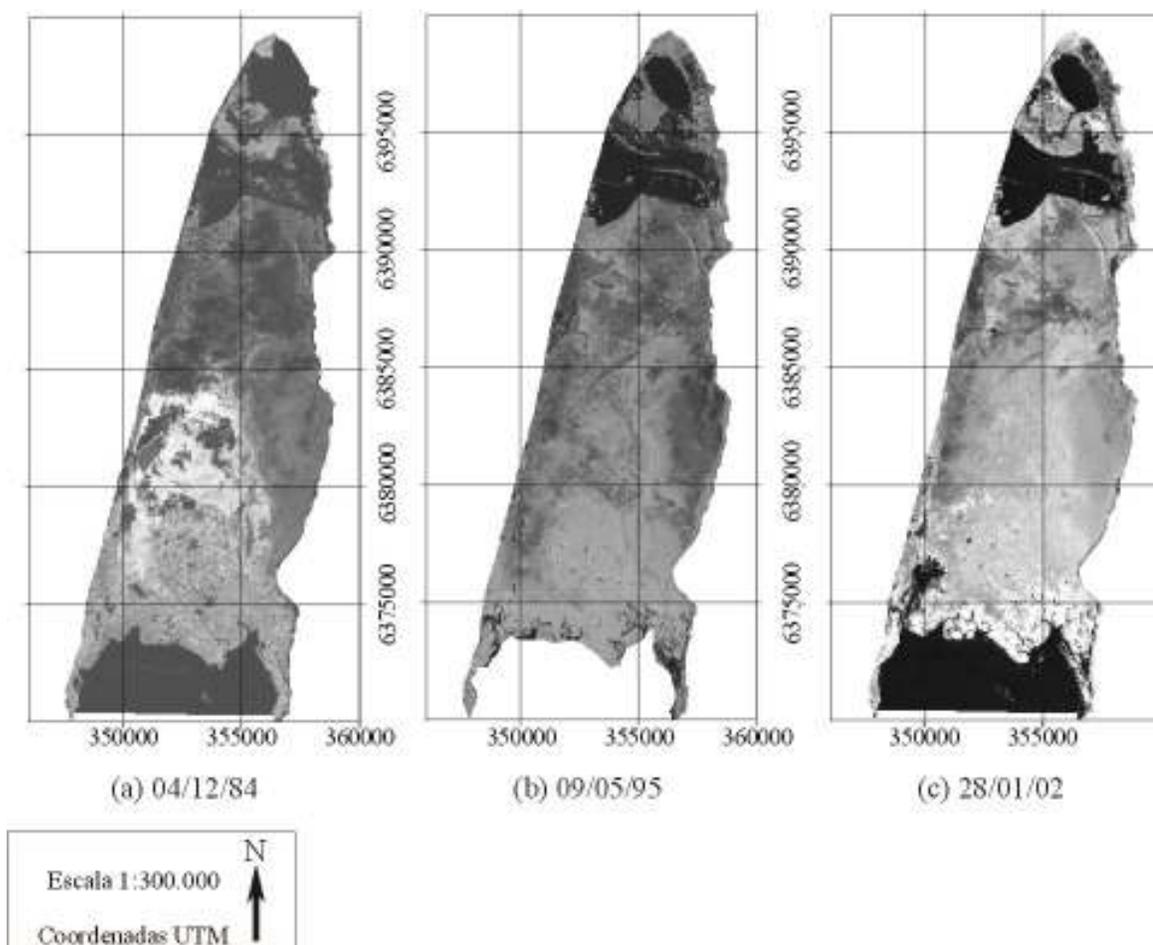


Figura 6.2.1 – Imagens Landsat TM, banda TM4, das imagens de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, no banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).

As imagens de índice de diversidade representam uma medida de textura da paisagem, e combinam riqueza e igualdade. O índice H é dado por:

$$H = - \sum [\rho * \ln(\rho)]$$

onde

ρ = a proporção de cada atributo (níveis de cinza dentro da janela móvel que no caso deste trabalho é uma janela 7 x 7); \ln = ao logaritmo natural.

Este índice expressa o grau que dada variedade de elementos de paisagem está representada no mapa em proporção igual. Quanto maior o valor de H, maior a diversidade da paisagem. A diversidade máxima é alcançada quando todas as coberturas estão representadas em proporções iguais.

A medida de diversidade da paisagem indica que, se um atributo não se repete na janela, o valor calculado para o pixel central corresponderá ao maior índice de diversidade possível ($H=3,86$ no caso da janela 7×7), enquanto que, se todos os pixels da janela tiverem o mesmo atributo, não haverá diversidade na região analisada ($H=0$ para o pixel central).

Para análise dos padrões das imagens de textura de índice H , foram definidos intervalos de classes de mapeamento. As imagens de índice H representam valores de contador digital entre 0 e 2,20. Foram definidos cinco intervalos:

- 1) muito baixo = 0 - 1,0;
- 2) baixo = 1,0 - 1,5;
- 3) médio = 1,5 - 2,5;
- 4) alto = 2,5 - 3,5;
- 5) muito alto = acima de 3,5.

6.3 Resultados e discussão

Para auxiliar na caracterização dos padrões das paisagens no banhado do Taim, considerando a possibilidade de diferenciar os padrões dos estandes de macrófitas aquáticas no banhado, foi utilizado imagens de textura. Buscou-se, também, avaliar a contribuição do índice de diversidade da paisagem, na diferenciação das classes destas macrófitas, pois segundo Soares-Filho (1999), este é o índice que melhor sintetiza a variabilidade ambiental presente em uma paisagem.

As datas escolhidas foram tomadas como padrão para análise da variação de textura. O critério utilizado para a escolha foi a oscilação do nível da água no banhado, em três níveis distintos, nestas datas, o nível da água estava em 4,39 (04/12/84); 2,04 (09/05/95) e 3,14 metros (28/01/02), e foram classificados como alto, baixo e médio respectivamente. Talvez o mais importante, considerando a possibilidade de alteração das estruturas dos padrões da vegetação de macrófitas aquáticas no banhado, é que nestas datas o tempo de permanência nestes três níveis foi longo, na Tabela 6.3.1 observa-se que estes níveis se mantiveram estáveis por pelos menos três anos.

Tabela - 6.3.1 – Variação do nível médio da água (régua do arroio Veado), banhado do Taim.

datas de imagem	nível médio régua arroio Veado (m)						
	dias			anos			
	30	60	90	180	1	2	3
4/12/84	4.39	4.46	4.47	4.36	3.91	3.41	3.55
9/5/95	2.09	2.09	2.14	2.34	2.32	2.20	2.02
28/01/02	3.14	3.19	3.26	3.26	2.98	2.82	2.81

A influência das escalas espacial e temporal nas características dos padrões de paisagem em análises ecológicas (Forman e Godron, 1986; Nellis e Briggs, 1989; Turner, 1989; Turner, 1990; Benson e Mackenzie, 1995; Moody e Woodcock, 1995), os efeitos da resolução de diferentes sensores nos parâmetros da estrutura da paisagem (Chuvieco, 1999, Luque, 2000, Saura, 2004) e avaliação da acurácia (Myint, 2003; Ivits *et al.*, 2004), mostram que as comparações de dados em diferentes escalas podem não ser diretas. Parâmetros e processos importantes em uma escala não são frequentemente importantes ou preditivos em outra escala.

Esta síntese da evolução da paisagem, e as diferentes escalas espaciais e temporais que as afetam, é bastante adequada para caracterizar os padrões espaço-temporais dos estandes de macrófitas aquáticas no banhado do Taim através de sensoriamento remoto. Poucos estudos, entretanto, têm sido realizados em áreas de banhados utilizando índices de paisagem, através de dados de sensoriamento remoto. Liu e Cameron (2001) analisam padrões espaciais nos banhados, mas utilizaram somente medidas de área e perímetro. Consideram os diferentes tipos de vegetação, tamanho das manchas, localização, nível de distúrbio humano e áreas de banhado e não banhado. Para a série histórica (1956, 1979 e 1989) utilizaram Índice de diversidade, concluindo que diferentes tipos de vegetação de banhado têm dimensão fractal diferente devido a suas diferentes funções.

A Figura 6.3.1, apresenta as imagens de índice de diversidade. Nestas imagens, os pixels mais claros representam maior diversidade, e os pixels mais escuros representam menor diversidade do ambiente, ou ambientes menos fragmentados. Esta representação da variabilidade de textura permite discriminar os ambientes muito fragmentados dos ambientes com textura mais homogênea. Estas diferenças indicam potencial para diferenciar os ambientes ou períodos a que o ambiente foi submetido a graus de oscilação ambiental.

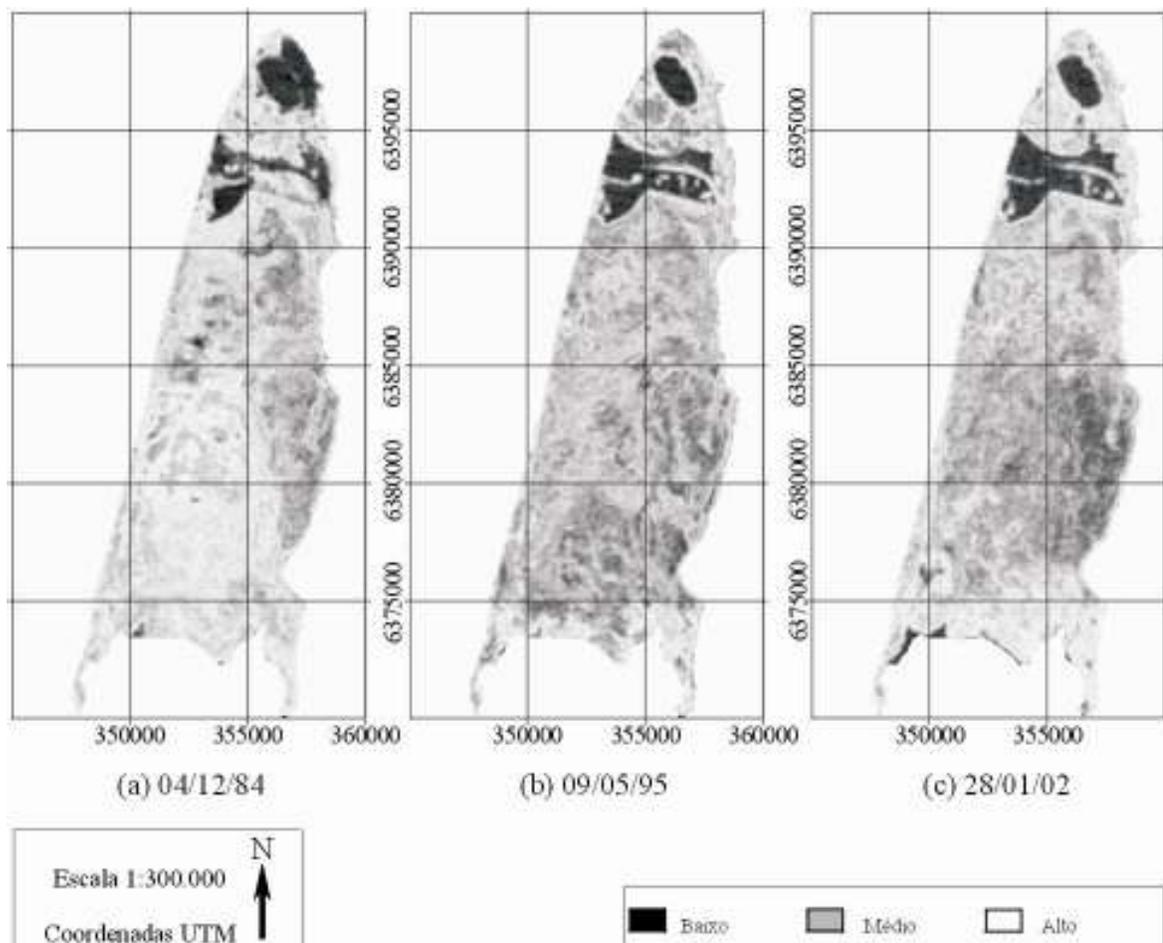


Figura 6.3.1 – Imagens de textura, índice de diversidade, a partir da banda TM4 das imagens de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, no banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).

A comparação visual entre as três imagens, indica que os pixels mais claros, que representam níveis altos de diversidade, normalmente estão localizados nas zonas de borda das manchas de macrófitas aquáticas, sinalizando certo grau de ruptura da organização interna existente nos padrões das manchas de macrófitas.

A Figura 6.3.2, mostra os histogramas das imagens de textura ou índice de diversidade, a partir da banda TM4 das imagens de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, no banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros). Nestas imagens as médias de índice de diversidade foram o seguinte: 2,90333; 2,3423 e 2,5926 respectivamente. Estas médias refletem o relacionamento entre o grau de diversidade e a variação do nível da água no banhado.

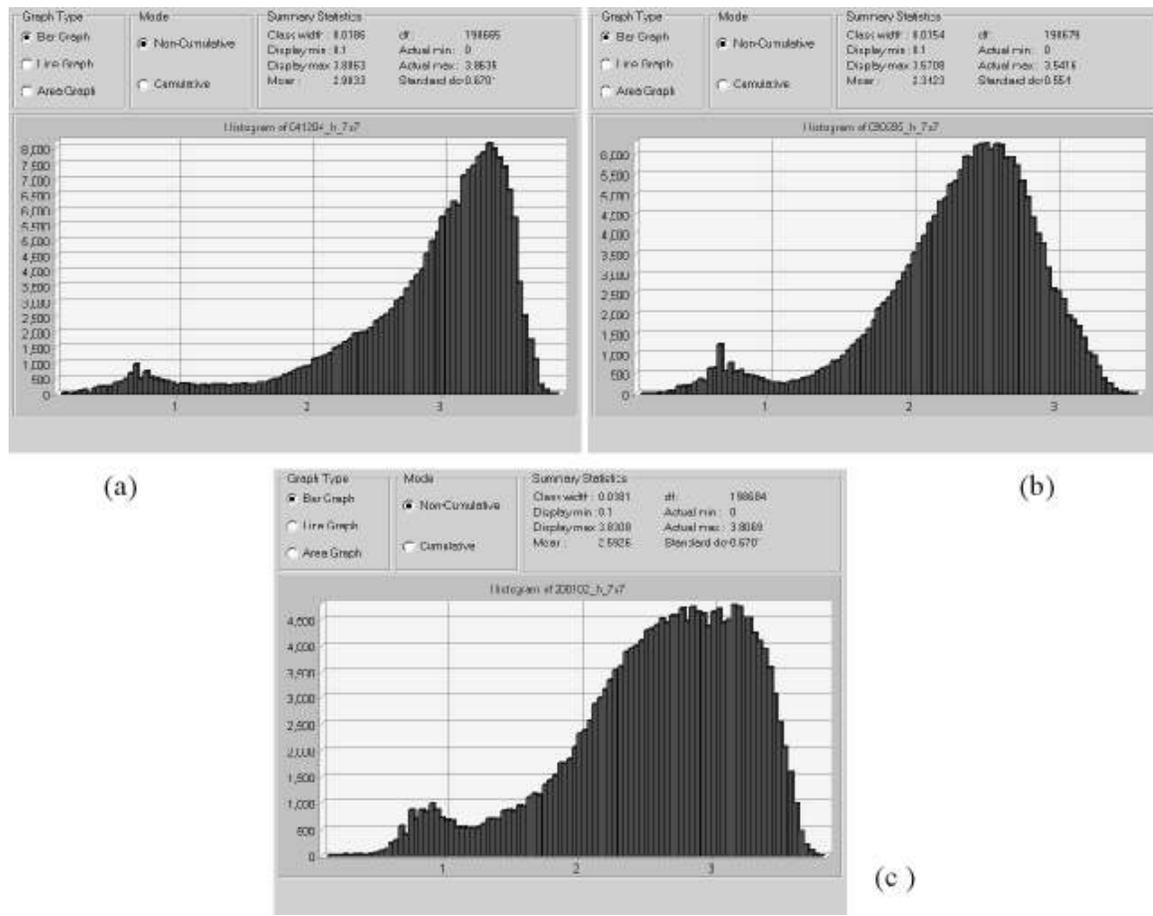


Figura 6.3.2 – Histogramas das imagens de textura, índice de diversidade, a partir da banda TM4 das imagens de (a) 04/12/84, (b) 09/05/95 e (c) 28/01/02, no banhado do Taim, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14metros).

A textura mais rugosa observada nas imagens pode ser associada às áreas onde ocorre maior circulação da água em direção a lagoa Mirim, na margem ocidental. Nestas áreas, se pressupõe que também existe uma maior diversidade de espécies macrófitas. Em experimentos em banhados, onde foram avaliados riqueza de espécies e número de espécies raras, estas foram maiores em áreas de topografia heterogênea (Vivian-Smith, 1997; Werner, 2002; Morzaria-Luna, 2004). Outros estudos têm observado que certas plantas estão associadas com o lado dos canais ou crescimento em pequenos níveis ao longo dos canais (Mendelssonh, 1981; Adam, 1990).

Ao analisar-mos a Figura 6.3.1-(a) de 04/12/84, quando o nível de água está alto, observa-se que os padrões de textura estão profundamente alterados. Principalmente na região sudoeste do banhado, os pixels na imagem aparecem bastante claros, evidenciando maiores

níveis de diversidade espacial da paisagem naquela região, o que também pode ser observado na Figura 6.3.2-(a) que apresentou médias maiores (2,9033).

Entretanto, esta região de maior diversidade, mostra-se internamente com um comportamento textural homogêneo, associado ao agrupamento das macrófitas aquáticas, causado pela elevação da água. Esta maior diversidade textural, evidencia mudanças estruturais nos padrões de distribuição espacial das macrófitas aquáticas. A amplitude destas modificações e/ou da reorganização dos padrões dos diferentes fragmentos e, principalmente o seu tempo de permanência nessa estrutura temporária (período de cheia no banhado), vai depender da intensidade destas oscilações ambientais, no caso o nível da água.

Segundo Dale (1999), uma categoria de fatores ambientais que pode causar importantes mudanças nas características do padrão espacial da vegetação, e que deve ser considerado na análise, são os chamados distúrbios. Os distúrbios são eventos que definem mudanças nas características de um sistema, e geram uma resposta do ambiente a estes eventos perturbadores interferindo na configuração da cobertura vegetal. A perturbação ou distúrbio consiste em um evento que causa uma mudança significativa no padrão normal de um ecossistema ou paisagem (Forman e Godron, 1986). Segundo Bridgewater (1993) em um sistema próximo da estabilidade, as perturbações ocasionam mudanças dramáticas nos elementos de paisagem. No banhado do Taim, em relação ao nível da água, é a permanência em um nível específico por longos períodos que importa para que ocorram distúrbios, que seriam uma combinação do nível da água e do seu tempo de permanência.

No banhado do Taim, esta ruptura na estrutura das manchas, entretanto, é temporária. Fato que pode ser observado nas imagens de classes dos estandes de macrófitas aquáticas, do capítulo que aborda os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no banhado do Taim. Naquelas imagens, uma série história entre 1973 e 2005, observa-se que a estrutura da distribuição das macrófitas no banhado é recorrente, voltando ao seu padrão típico, após o término de prolongados períodos de inundação ou de seca.

Nas imagens, os pixel mais escuros, que representam textura mais homogênea ou menor diversidade, são predominantemente localizados nas áreas das lagoas Nicola e Jacaré. Mas de forma geral, no interior do banhado predominam baixos valores de diversidade.

No entanto, uma paisagem homogênea dificilmente é atingida, devido à ocorrência permanente de perturbações e diferentes taxas de alteração de cada elemento de paisagem. Distúrbios moderados normalmente estabelecem mais manchas na paisagem, enquanto, distúrbios severos podem eliminar a presença de manchas, resultando numa paisagem mais homogênea, embora devastada (Dale, 1999).

Uma área que se destaca, pela textura mais homogênea e menores índices de diversidade, é a margem oriental do banhado. Esta área caracteriza-se por ser uma área mais rasa, a circulação das águas é mais lenta já que a circulação principal se dá pela margem oeste, e tem como principal ocorrência de macrófita o *Scirpus giganteus*. Nesta área ocorrem camadas de argila, com espessuras variando entorno de 2,5 metros à pequena profundidade em relação à superfície.

Na Figura 6.3.1-(b) de 09/05/95, imagem de período com nível de água mais baixo, diferentes estruturas no banhado mostram-se mais evidentes. Em situações com esta característica, as imagens se mostram mais úteis para discriminação textural entre as paisagens e as suas relações com os padrões estruturais de fundo. Nesta imagem, destaca-se a estrutura mais homogênea, e com baixos índices de diversidade, formada na região de ocorrência de manchas de *Zizaniopsis bonariensis*, a Figura 6.3.2-(b) mostra que nesta data ocorreram as menores médias (2,5926) de índice de diversidade.

Esta variação de padrões de textura nas imagens foi simplificada, através da definição de cinco classes de diversidade. As imagens de classes de diversidade estão apresentadas nas Figuras 6.3.3-(a), (b) e (c). A maior variabilidade textural, e conseqüentemente maior diversidade espacial da paisagem, ocorre na imagem da Figura 6.3.3-(a), apesar de ser uma variabilidade transitória como já discutido anteriormente. Nesta figura a região centro-oriental destaca-se, pela permanência em níveis baixos de diversidade, mesmo quando ocorreram eventos perturbadores à estrutura do banhado, os pulsos de inundação.

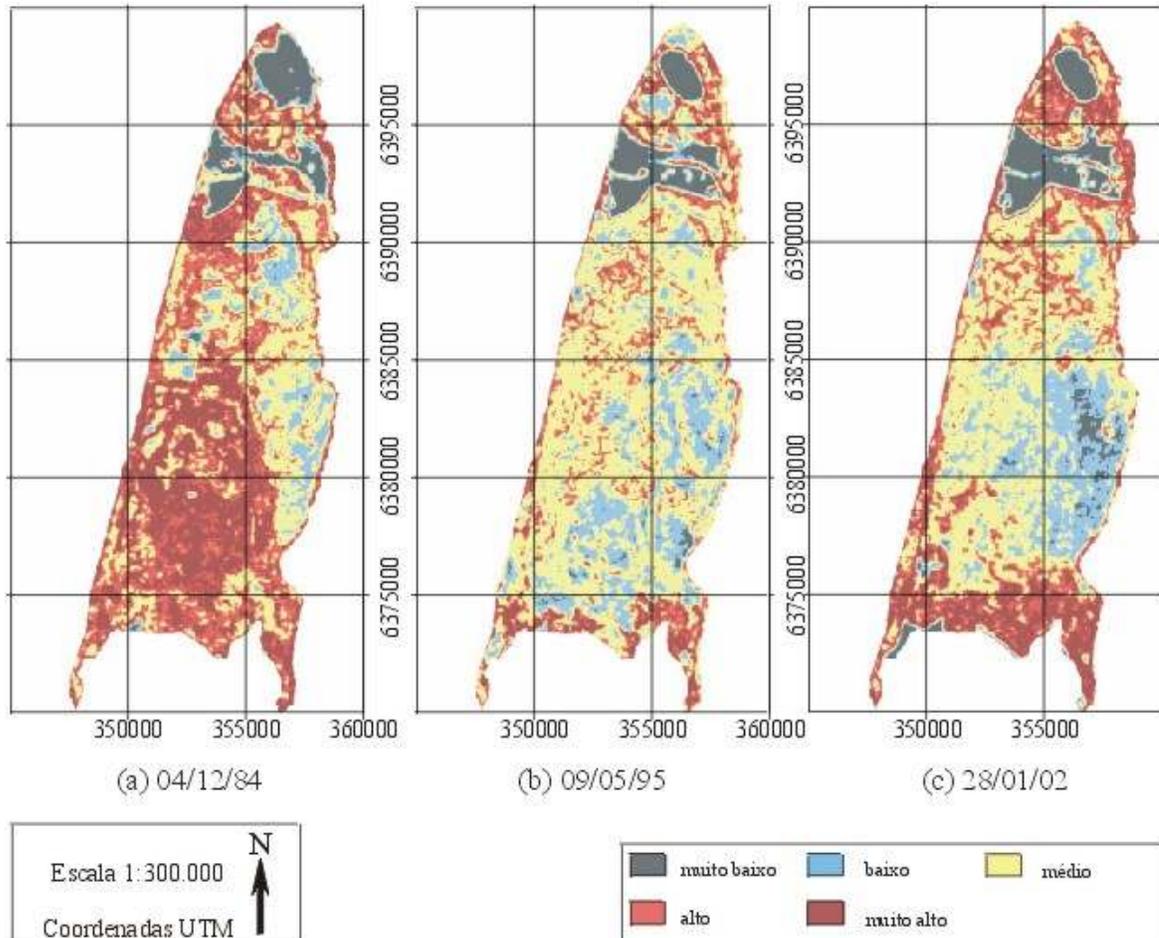


Figura 6.3.3 – Classes de índice de diversidade no banhado do Taim-RS, para diferentes níveis de água (4,49; 2,04; 3,14 metros).

Para analisar a dinâmica do arranjo das manchas de textura no contexto espacial do banhado, e avaliar quais as alterações causadas nos habitats das macrófitas aquáticas, foi executado um cruzamento entre as imagens de classes de diversidade e as imagens de classes de macrófitas aquáticas obtidas por meio de classificação digital. A tabulação dos dados está apresentada nas Tabelas 6.3.2; 6.3.3 e 6.3.4.

Tabela 6.3.2 – Área (ha.) das classes de macrófitas aquáticas em relação às classes de diversidade (imagens de 04/12/84, nível de água alto).

classes de macrófitas	Classes de diversidade				
	muito baixa	baixa	média	alta	muito alta
<i>Z.bonariensis</i> 1	0	0	438,3	817,0	1017,5
<i>Z.bonariensis</i> 2	0,1	4,6	520,3	1047,6	1271,6
<i>Z.bonariensis</i> 3	2,5	280,1	738,0	650,8	793,3
<i>S.giganteus</i> ; <i>S.californicus</i> ; Flutantes	2,2	52,6	472,6	272,1	218,1
<i>S.giganteus</i> ; <i>S.californicus</i> ; Flutantes	0,3	4,4	569,8	928,1	1194,3
Submersa	1122,0	1085,7	3332,4	1668,8	1077,5

Tabela 6.3.3 – Área (ha.) das classes de macrófitas aquáticas em relação às classes de diversidade (imagens de 09/05/95, nível de água baixo).

classes de macrófitas	Classes de diversidade				
	muito baixa	baixa	média	alta	muito alta
<i>Z.bonariensis</i> 1	120,3	1674,1	1891,7	213,0	60,1
<i>Z.bonariensis</i> 2	5,8	358,2	1963,3	427,1	122,8
<i>Z.bonariensis</i> 3	11,1	467,5	3142,0	961,2	290,0
<i>S.giganteus</i> ; <i>S.californicus</i> ; Flutantes	20,2	490,6	1431,4	687,1	503,5
<i>S.giganteus</i> ; <i>S.californicus</i> ; Flutantes	11,1	349,7	1781,3	388,7	63,2
Submersa	1048,4	375,3	584,6	223,8	166,3

Tabela 6.3.4 – Área (ha.) das classes de macrófitas aquáticas em relação às classes de diversidade (imagens de 28/01/02, nível de água médio).

classes de macrófitas	Classes de diversidade				
	muito baixa	baixa	média	alta	muito alta
<i>Z.bonariensis</i> 1	2,3	114,3	368,4	575,1	846,4
<i>Z.bonariensis</i> 2	30,8	1212,7	2093,8	538,8	386,5
<i>Z.bonariensis</i> 3	305,2	1388,7	2765,7	902,3	505,4
<i>S.giganteus</i> ; <i>S.californicus</i> ; Flutantes	7,7	298,9	2119,6	1032,6	637,1
<i>S.giganteus</i> ; <i>S.californicus</i> ; Flutantes	8,2	96,8	759,0	519,3	504,2
Submersa	1195,0	351,4	232,3	42,0	28,2

As informações das Tabelas 6.3.2, 6.3.3 e 6.3.4, de resultados dos cruzamentos entre as classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas e as classes de índices de diversidade, permitem fazer a seguinte análise.

a) Na classe de macrófitas submersas e/ou lâmina de água aparente, predomina a textura muito baixa. Exceção é a data de 04/12/84, quando também ocorrem maiores níveis de textura, que correspondem, entretanto, às áreas submersas pelo pulso de inundação;

b) Nas classes de *Z.bonariensis*, a diversidade da paisagem responde diretamente a oscilação do nível da água. Passa da diversidade baixa, no nível de água baixo, para diversidade muita alta com a elevação do nível;

c) As áreas de ocorrência das classes de flutuantes, *S.californicus* e *S.giganteus*, não apresentam um padrão predominante de diversidade, sendo relativamente bem distribuídas em todas as classes de textura. Esta maior rugosidade da textura está potencialmente relacionada à maior diversidade das condições do ambiente, a maior diversidade de espécies e influência permanente da circulação da água.

Essas diferenças associadas com o tipo e o nível de distúrbio, entretanto, devem ser mais estudadas. Qual distúrbio é mais impactante em áreas de terras úmidas? Vários estudos têm procurado responder a essa questão (Vazzoler *et al.* (1997); Thomaz *et al.* (1997); Thomaz e Santos (1997); Tsujimoto (1999); Santos e Thomaz (2002); Vasconcelos e Novo (2003)).

Existem algumas divergências quanto às conclusões encontradas em diferentes estudos que utilizam índices de paisagem. Alguns estudos argumentam que paisagens que tiveram menos influência da atividade humana tendem a ser mais complexas na forma do que paisagens que tiveram grande influência humana (Turner, 1990). Esse argumento é confirmado em Liu e Cameron (2001), quando analisam que em áreas de banhado com diferentes tipos e intensidades de distúrbio, decresce a diversidade.

Por outro lado Galo e Novo (1998) e Lago *et al* (2001) avaliam que tanto a fragmentação como a diversidade espacial são decorrentes da maior intervenção humana e que em ambientes naturais a diversidade seja baixa.

Neste estudo, a imagem com nível de água alto, apresentou manchas maiores para os diferentes níveis de diversidade, mas apresentando textura homogênea internamente às manchas. Nas imagens de nível de água baixo e médio, apresentam-se manchas menores e mais fragmentadas espacialmente. De acordo com Forman e Godron (1986) uma paisagem pode encontrar-se em equilíbrio ou existir em diferentes estados de equilíbrio, dependendo da sua energia potencial ou biomassa, do nível de resistência à perturbação e da habilidade de se recuperar de um processo de perturbação. Assim distúrbios moderados normalmente estabelecem mais manchas na paisagem, no entanto, distúrbios severos podem eliminar a presença de manchas, resultando numa paisagem mais homogênea, muito embora devastada.

Segundo Neiff (1997) os processos ecológicos seguem padrões causados pelas diferenças temporais na velocidade e duração do fluxo de água e de materiais transportados (organismos, sólidos dissolvidos e suspensos). Cada uma das ondulações está composta de valores positivos e negativos em relação à ordenada. Durante a fase de inundação os corpos de água da planície (lagunas, paleocanais e meandros abandonados) se interconectam pelo fluxo do rio e recebe destes materiais e por sua vez aportam a água, matéria orgânica e minerais do solo. Na fase de seca ocorre o isolamento paulatino dos corpos de água até que ocorra uma nova fase de inundação. O padrão de variabilidade dessas ondas é uma seqüência temporal conforme o regime pulsátil.

6.4 Conclusões

Os resultados da utilização do índice de diversidade espacial, obtido por meio de dados orbitais, demonstraram potencial na análise da composição das paisagens. Permitiram discriminar as paisagens em condições ambientais estáveis daquelas submetidas a diferentes graus de distúrbios relacionados à variação do nível da água no banhado do Taim. Estes resultados permitem as seguintes conclusões:

a) As imagens de índices de diversidade mostraram-se promissoras para relacionar alguns processos ecológicos como, por exemplo, os distúrbios causados pelos pulsos de inundação e as alterações dos padrões observados no banhado.

b) mudanças significativas na paisagem através do tempo e espaço podem ser representadas através de textura no banhado do Taim;

c) capacidade de recompor a estrutura original dos elementos da paisagem, após distúrbios ligados à oscilação do nível da água (resiliência).

6.5 Referências bibliográficas

ADAM, P. (1990) Saltmarsh ecology. Cambridge University Press: Cambridge.

BENSON, B.J.; MACKENZIE, M.D. (1995) Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. *Landscape Ecology*, v.10, n° 2, p.113-120.

BRIDGEWATER, P.B. (1993) Landscape Ecology, GIS and nature conservation. In: HAINES-YOUNG, R.; GREN, D.R.; COUSINS, S. *Landscape ecology and spatial information systems*. Bristol, Taylor and Francis, p.23-36.

CHUVIECO, E. (1999) Measuring changes in landscape pattern from satellite images: short-term effects of fire on spatial diversity. *International Journal of Remote Sensing*, v.20, p.2331-2346.

CHRISTIAN, C.S.; STEWART, G.A. (1985) General report on survey of Katherine-Darwin region, 1946. Land Research Series, Canberra, v.1.

DALE, M.R.T (1999) Spatial pattern analysis in plant ecology. Cambridge Studies in Ecology. 326p.

DNOS (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO) (1969). Estudo edafológico complementar da viabilidade técnico econômica de transformação em irrigação da região do Taim (RS) – Tomo II Zona Sul, 100p.

EASTMAN, J.R. (2000) IDRISI for windows user's guide version 3.2. Introduction. Worcester-MA. Graduate School of Geography, Clark University. Help: Pattern Notes.

FORMAN, R.T.T; GODRON, M. (1986) Landscape Ecology. New York, John Wiley & Sons, 619p.

FORMAN, R.T.T (1995) Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press.

GALO, M.L.B.T.; NOVO, E.M.L.M. (1998) Índices de paisagem aplicados à análise do Parque Estadual Morro do Diabo e entorno. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, 11-18 setembro 1998. INPE/SELPER.

IVITS, E.; KOCK, B. BLASCHKE, T.; ADLER, P.; JOCHUM, M. (2004). Uncertainties in Landscape Studies: Image grey values, segmentation based classification, and visual interpretation of remote sensing images on different spatial resolutions. Special Issue *International Journal of Remote Sensing*.

LAGO, F.P.L.S.; CHAVES, H.M.L.; GALVÃO, W.S. (2001) Avaliação da estrutura da paisagem para o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, através de análise de imagens de sensoriamento remoto. Anais do X SBSR, Foz do Iguaçu-PR, 21-26 abril 2001, INPE, p.1633-1640.

LIU, A .J.; CAMERON, G.N. (2001) Analysis of landscape patterns in coastal wetlands of Galveston Bay, Texas (USA). *Landscape Ecology*, v.7, n° 16, p.581-595.

LUQUE, S.S. (2000) The challenge to manage the biological integrity of nature reserves: a landscape ecology perspective. *Int. J. Remote Sensing*, v.21, p.1613-1643.

LIU, A.J.; CAMERON, G.N. (2001) Analysis of landscape patterns in coastal wetlands of Galveston Bay, Texas (USA). *Landscape Ecology*, v.7, n° 16, p.581-595.

MENDELSSONHN, I.A.; McKEE, K.L.; PATRICK, W.H.J. (1981) Oxygen deficiency in spartina alterniflora roots: metabolic adaptation to anoxia. *Science*, v.214, p.439-441.

MORZARIA-LUNA, H.; CALLAWAY, J.C.; SULLIVAN, G.; ZEDLER, J.B. (2004) Relationship between topographic heterogeneity and vegetation patterns in a Californian salt marsh. *Journal of Vegetation Science*, Opulus Press Uppsala, 14, p.523-530.

MOODY, A.; WOODCOCK C.E. (1995) The influence of scale and the spatial characteristic of landscape on land-cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology*, v.10, n° 6, p.363-379.

MYINT, S.W. (2003) Fractal approaches in texture analysis and classification of remotely sensed data: comparisons with spatial autocorrelation techniques and simple descriptive statistics. *Int. J. Remote Sensing*, v.24, n° 9, p.1925-1947.

NEIFF, J.J. (1997) El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. In: *Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos* Pp. 1-49, Malvarez, A.I. y P. Kandus (eds.), 1997. ORCYT-MAB (UNESCO), Montevideo, Uruguay. 106 p.

NELLIS, M.D.; BRIGGS, J.M. (1989) The effect of spatial scale on konza landscape classification using textural analysis. *Landscape ecology*, v.2, n°2, p.93-100.

O'NEILL, R.V.; KRUMMEL, J.R.; GARDNER, R.H. SUGIHARA, G. JACKSON, B.; DEANGELIS, D.L.; MILNE, B.T.; TURNER M.G.; ZYGMUNT, B.; CHRISTENSEN, S.W. DALE, V.H.; GRAHAM, R.L. (1988) Indices of landscape pattern. *Landscape ecology*, v.1, n°3, p.153-162.

SANTOS, A.M.; THOMAZ, S.M. (2002) O papel da conectividade na estruturação da assembléia de macrófitas aquáticas. Relatório 2002 Planície de inundação do rio Paraná. Programa PELD/CNPq. p.193-196.

SAURA, S. (2004) Effects of remote sensor spatial resolution and data aggregation on selected fragmentation indices. *Landscape Ecology*, v.2, n°19, p.197-209.

SHANNON, C.E.; WEAVER, W. (1975) *The mathematical theory of communication*. Urbana II, University of Illinois Press.

SOARES-FILHO, B.S. (1998) *Análise de paisagem: Fragmentação e mudanças*. Apostila. www.csr.ufmg.br.

THOMAZ, S.M.; PAGIORO, T.A.; BINI, L.M.; SOUZA, D.C. (1997) Macrófitas aquáticas. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) *A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: EDUEM.

THOMAZ, S.M.; SANTOS, A.M. (1997) Efeito dos pulsos de inundação do Rio Paraná sobre a biologia populacional de *Eichhornia azurea* (Kunth) e *Polygonum ferrugineum* Wedd. In: VAZZOLER, A.E.A. de M.; AGOSTINHO, A.A.; HANH, N.S. (Ed.) A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM. p.279-288.

TSUJIMOTO, T. (1999) Fluvial processes in streams with vegetation. Journal of Hydraulic Research, vol.37, n 6, p.789-803.

TSUYUZAKI, S.; HARAGUCHI, A.; KANDA, F. (2004) Effects of scale-dependent factors on herbaceous vegetation patterns in a wetland, northern Japan. Ecological Research, V.19, Issue3, May 2004, pp.349. <http://www.blackwell-synergy.com/servlet/useragent>

TURNER, M.G. (1989) Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. Landscape Ecology, v.3, p.153-162.

TURNER, M.G. (1989) Landscape Ecology: The effect of pattern on process. Annual Revision Ecological System, v.20, p.171-197.

TURNER, M.G. (1990) Spatial and temporal analysis landscape patterns. Landscape Ecology, v.4, n  1, p.21-30.

TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. (1990) Quantitative methods in landscape ecology: The analyses and interpretation of landscape heterogeneity. New York, Springer Verlag, p.3-16.

VASCONCELOS, C.H.; NOVO, E.M.L.M. (2003) Mapeamento de macrófitas e paliteiros do reservatório de Tucuruí (Pará), utilizando imagens Radarsat. Anais do XI SBSR. Belo Horizonte - MG. 05-10 de abril 2003. INPE. p.2633-2638.

VAZZOLER, A.E.A.M.; AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N.S.A. (1997) A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM. 460p.

VIVIAN-SMITH, G. (1987) Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities. J. Ecol., v.85, p.71-82.

WERNER, K.J.; ZEDLER, J.B. (2002) How sedge meadow soils, microtopography, and vegetation respond to sedimentation. Wetlands, v.22, n 3, p.451-466.

ZONNEVELD, I.S. (1972) Land evaluation and land(scape)science. ITC Textbook of photointerpretation, v.7, Enschede, 106p.

7 RELAÇÕES ENTRE AS ESTRUTURAS DE FUNDO E OS PADRÕES DA COBERTURA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO BANhado DO TAIM - RS

7.1 Introdução

Este estudo dá ênfase à variação da estrutura de fundo do banhado e dos diferentes estratos que o compõem, buscando caracterizar a distribuição dos padrões espaciais da vegetação no Banhado do Taim. Esta abordagem busca avaliar se a estrutura de fundo desempenha um papel mais importante do que lhe vem sendo atribuído. Neste sentido utiliza imagens de satélite como fonte da distribuição espacial dos diferentes estratos das macrófitas aquáticas do Banhado do Taim. A ocorrência de vegetação aquática, suas características e sua distribuição espacial têm papel fundamental sobre o comportamento hidrodinâmico dos banhados. Esta mesma vegetação pode estar associada com as características edáficas e hidrológicas e eventualmente desempenhar papel fundamental em vários processos de banhado (Nickerson *et al.*, 1989).

O Banhado do Taim está inserido na feição geológica/geomorfológica denominada Planície Costeira do Rio Grande do Sul, cuja formação é resultado das sucessivas variações glacioeustáticas do nível oceânico. A formação geológica superficial é basicamente datada como sendo do Quaternário. Diversos estudos citados em Gomes *et al.* (1987) evidenciaram através de perfuração e geofísica que a espessura desses depósitos varia em torno de 200 metros de profundidade nessa região.

A formação do Quaternário mais antiga, reconhecível na área é a Formação Chuí, localizada ao norte do Banhado do Taim, sendo denominada de platô do Taim. Essa Formação é definida por Delaney (1965) como sendo de depósitos arenosos de mar pouco profundo, acumulados durante uma transgressão, e teria funcionado como uma ilha barreira para os depósitos posteriores, formadores das sucessivas linhas de praia.

Em todo esse conjunto (do banhado do Aguirre até o norte do Banhado do Taim) os restos dos níveis lacustres, mais elevados que o atual são freqüentes, formando ligeiros degraus (Gomes *et al.*, 1987). Essa autora considera como sendo três as principais unidades geomorfológicas na área do entorno do banhado: 1) a planície marinho-eólica; 2) os banhados do Aguirre e do Taim; 3) o litoral da lagoa Mirim, (Figura – 7.1.1). Os banhados do Aguirre e do Taim ocupam, essencialmente, um antigo fundo de golfo nas proximidades da passagem que permitiu, no passado, a comunicação da atual lagoa Mirim com o oceano Atlântico.

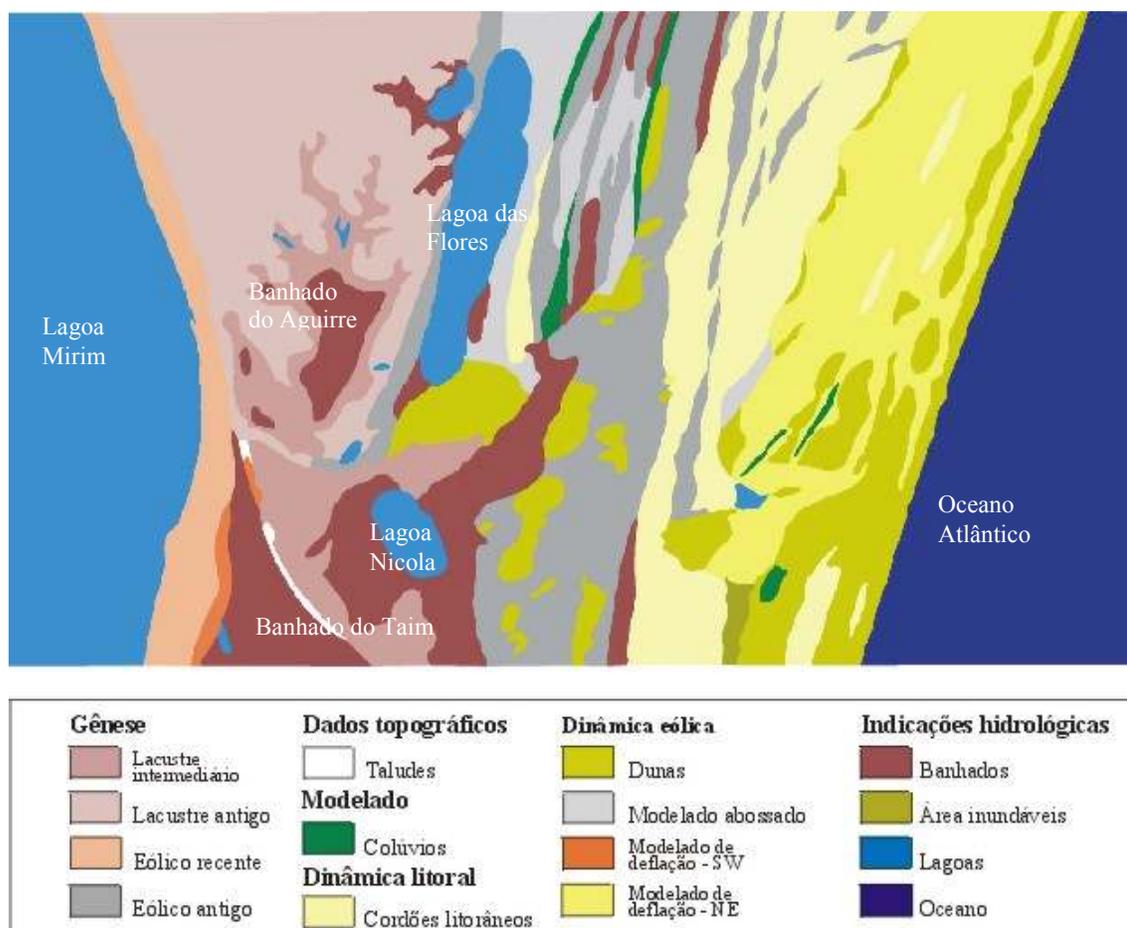


Figura 7.1.1 – Carta Geomorfológica - Transecto do Taim, modificado de Gomes *et al.* (1987).

Tratando-se naturalmente de solos permanentemente inundados, no Banhado do Taim, somente nas zonas marginais, sobretudo na sua porção norte, e em algumas áreas da porção central, a água não cobre de modo habitual a superfície do solo. Por isso, a ocorrência de precipitações abundantes e de distribuição bastante regular, contribui para que estas áreas, secas estacionalmente, não difiram do conjunto das zonas inundáveis. A vegetação natural mostra estas diferenças e as indica claramente, mas, não de modo como ocorreria no caso de prolongadas secas, nas quais o lençol freático desce muito.

Normalmente nas terras úmidas a capa de solo impermeável pode estar à escassa distância da superfície, ou a dezenas de metros de profundidade. Segundo a posição da mesma podem dar-se diferentes fases: a) de acumulação (ou saturação); b) de inundação, quando a água transborda a capacidade de armazenamento. Nesta segunda, são freqüentes as transfluências da água em nível da bacia ou extensos setores da paisagem.

Segundo Tsujimoto (1999) é de extrema importância para o gerenciamento dos processos fluviais relacionados com a vegetação: o escoamento é afetado pela estrutura de fundo, pelas estruturas e pela vegetação, além de governar o transporte de sedimentos, que causa a deformação de fundo; este por sua vez, controla o crescimento da vegetação e, em eventos extremos de cheias, sofre mudanças bruscas que ocasionam o colapso das estruturas.

Do ponto de vista ecológico, padrão espacial é um arranjo de pontos, de plantas ou outros organismos, ou de manchas de organismos no espaço no qual exibem certa quantidade de predição (Dale, 1999). Em muitas instâncias, esta predição poderá ser na forma de periodicidade de algumas classes ou espécies. A identificação dos padrões em uma primeira abordagem serve, não para a inferência dos processos, mas para a geração de hipóteses a respeito desses processos.

Certo é que, nesta questão, não cabe separar este fator do propriamente fisiográfico, responsável pela permanência de água superficial, mais em função da topografia local, do que do regime de chuvas em si, que somente é um auxiliar para o encharcamento, embora importante quantitativamente, com um total de 1.100mm anuais de chuva.

De acordo com o Estudo Edafológico Complementar da Viabilidade Técnico Econômica de Transformação em Irrigação da Região de Taim, Tomo II Zona Sul – DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO (DNOS, 1968), o

Banhado do Taim apresenta uma estrutura de fundo constituída basicamente por três níveis: 1) fundo arenoso; 2) uma camada de argila intermediária; 3) uma camada de restos orgânicos.

Esses níveis são característicos de diferentes ambientes de deposição. O fundo de constituição arenosa tem profundidades entre 2,0 e 3,50 metros é de caráter marinho recente, e foi formado por praias originando-se de complexo e longo processo de transporte. A camada intermediária de argila tem origem sedimentar mais recente procedente das águas turvas da lagoa Mirim, que em épocas de crescente extraordinárias penetram no banhado, abrindo caminho através da lagoa Mangueira até romper o cordão de dunas que isola esta do oceano Atlântico. Existe aí, talvez, uma divergência, pois Gomes *et al.* (1987) afirma que os depósitos de argila iniciaram sua formação quando a desembocadura da Lagoa Mirim estava aberta para o Atlântico, não existindo ainda dados sobre a desembocadura a Barreira IV de formação marinho eólica, fechando essa comunicação direta com o oceano. O último nível, o mais superficial e também o mais recente, é caracterizado por depósitos de restos orgânicos vegetais em parte decompostos e depositados no banhado.

Quanto à topografia da superfície atual, ela é muito plana (Tabela 7.1.1). Esta topografia pode influir na hidrodinâmica do Taim apenas de modo indireto, na medida em que a ocorrência de macrófitas aquáticas emergentes é dependente das profundidades de água de cada área (Paz *et al.*, 2003 e Paz, 2003). Esta relação também foi observada em Tsuyuzaki (2004).

Tabela 7.1.1 – Topografia de superfície do Banhado do Taim nos transectos A, B e C.

Transectos	Comprimento	Desnível	Declividade média
	(m)	E a W (m)	E a W
A	6.500	0,31	0,05
B	7.500	1,51	0,20
C	8.500	1,46	0,15

Fonte: Modificada de DNOS (1968).

A partir da ênfase na análise da variação da estrutura de fundo do banhado e dos diferentes extratos que o compõem, e seu efeito determinante na distribuição dos padrões espaciais da vegetação no Banhado do Taim, foram definidos os seguintes objetivos: 1) Analisar as relações entre a variação da estrutura de fundo e a ocorrência de superfícies de lâmina de água aparente, as classes de macrófitas aquáticas e as classes de NDVI, buscando

compreender a dinâmica das macrófitas aquáticas, na janela do DNOS; 2) Espacializar as relações entre a estrutura de fundo e os padrões da dinâmica das macrófitas aquáticas, observados na janela do DNOS, para toda a superfície do Banhado do Taim.

7.2 Materiais e métodos

A área de estudo, o Banhado do Taim, situa-se na região sul do litoral do Rio Grande do Sul, entre a lagoa Mirim e o oceano Atlântico, e está delimitada pelas coordenadas geográficas S 32°31' e S 32°47' de latitude e O 52°40' e O 52°29' de longitude.

A metodologia utilizada nesta pesquisa adota duas escalas espaciais para análise das relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, RS: 1) toda a área do Banhado do Taim, abrangendo uma superfície de 17882hectares (Figura 7.2.1-(a)); 2) janela na área central do Banhado do Taim, doravante denominada de janela do DNOS, abrange uma superfície de 2700hectares (Figura 7.2.2-(b)).

Neste estudo utilizaram-se os dados edafológicos extraídos do Estudo complementar da viabilidade técnico econômica de transformação em irrigação da Região do Taim DNOS (1968). Estes dados foram obtidos através da abertura de quatro transectos com 7,5km de extensão em média, e entre 2 e 2,5metros de largura, denominados de A, B, C e D, em sentido norte-sul, respectivamente. Destes os três primeiros atravessaram o banhado, sendo que o transecto D foi interrompido por causa da profundidade da água na sua parte central. Estes transectos serviram de referência para situar as sondagens, realizadas com trado tipo Holandês de 8 cm de diâmetro, com intervalos de 500metros. Apenas nos transectos A, B e C, o DNOS efetuou nivelamento topográfico, motivo pelo qual, foram somente destes transectos os dados utilizados para elaboração dos perfis e mapas neste trabalho; os dados geomorfológicos da carta Geomorfológica do Taim, elaborada por Gomes *et al.* (1987) (Figura 7.1.1); uma série histórica de dados de nível médio da água no banhado a partir dos dados da régua do Veado; uma série histórica de médias de precipitação com base nos dados da Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar-RS; e uma série temporal de imagens orbitais dos sensores Landsat MSS, Landsat TM5 e ETM7 e Cbers CCD, entre 1973 e 2005.

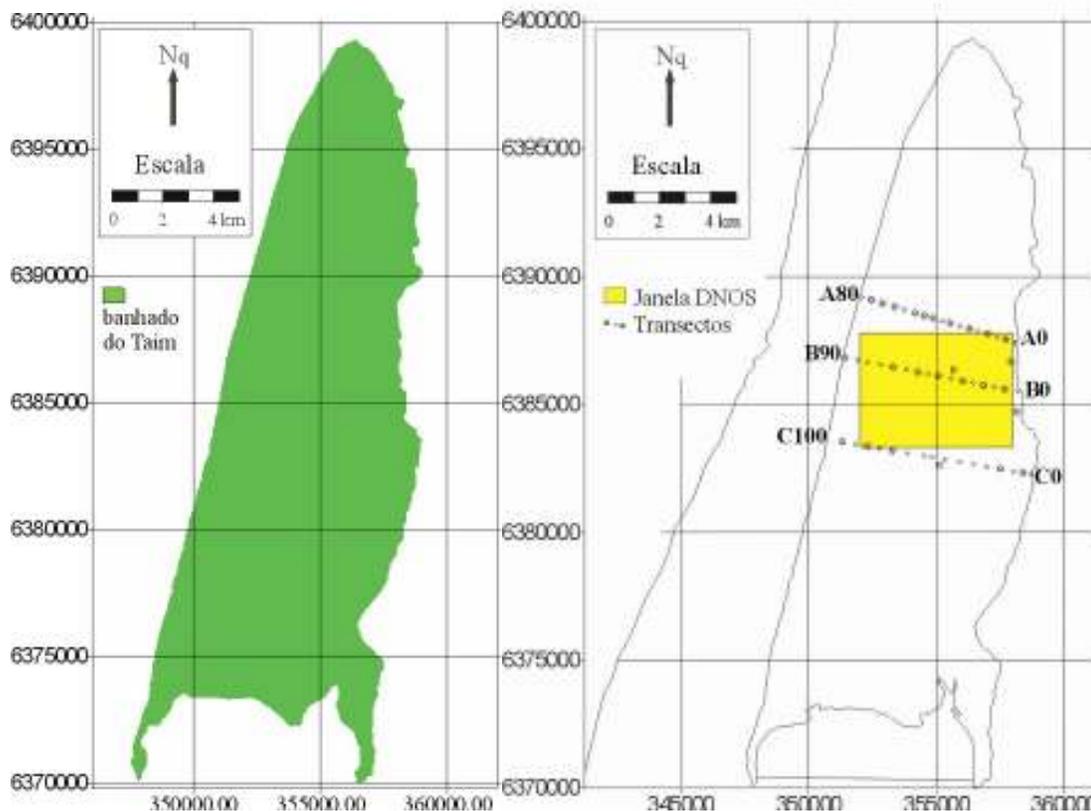


Figura 7.2.1 – Localização das duas escalas de análise: (a) Banhado do Taim; e (b) janela do DNOS.

Com base nos dados edafológicos foram gerados perfis e mapas derivados da estrutura de fundo com base nos transectos A, B e C, para os seguintes tipos de fundo: areia, argila e matéria orgânica, na janela do DNOS. Estes mapas serviram para a espacialização das características das estruturas de fundo do banhado, foram confeccionados apenas para a área destes transectos. Foram gerados, por interpolação visual, quatro mapas no total, dois mapas de matéria orgânica para profundidade e espessura das camadas, e dois mapas de argila para profundidade e espessura das camadas. Estes mapas de variação da profundidade foram elaborados com cinco classes: 1) 0 - 1,49; 2) 1,50 - 1,79; 3) 1,80 - 2,59; 4) 2,60 - 2,99; 5) 3,00 - 3,70 metros. Os mapas de variação da espessura dos depósitos foram elaborados com quatro classes: 1) 0,20 - 1,00; 2) 1,00 - 1,50; 3) 1,50 - 2,00; 4) acima de 2,00 metros.

A partir da série temporal de imagens orbitais, foram elaboradas as seguintes imagens derivadas: 1) de lâmina de água aparente; 2) de classes de macrófitas aquáticas. Por meio da classificação digital não supervisionada Isodata da banda do infravermelho próximo ou médio; 3) classes de NDVI, por meio de fatiamento das imagens de NDVI; 4) de áreas mais

suscetíveis de ocorrência de lâmina de água aparente, com base na soma algébrica das 21 imagens de água aparente.

Para tanto, antes foram realizados os seguintes pré-processamentos nestas imagens: 1) georeferenciamento com base nas coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51 W; 2) correção atmosférica pelo método “dark pixel” disponível no Idrisi 32; 3) mosaicagem das imagens Cbers CCD; e 4) geração de dois polígonos limite, utilizados como máscara para a janela do DNOS, Figura 7.2.1-(b), e para a área do Banhado do Taim como um todo (Figura 7.2.1-(a)).

Foram executados cruzamentos entre as imagens de classes de espessura e profundidade das camadas de argila, com as imagens de lâmina de água aparente, e também com as imagens de classes de macrófitas aquáticas, para a área da janela do DNOS.

Foi realizada uma análise temporal da variação de NDVI, por meio da ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA), utilizada para uma série longa de tempo de dados de imagens. Este método gera produtos de saída que incluem os padrões espaciais e temporais e que podem ser interpretados juntos. Os dados espaciais consistem de um conjunto de imagens de Principais Componentes padronizadas, indicando o padrão espacial dos principais elementos de variabilidade sobre a série. Os dados temporais consistem de um conjunto de dados numéricos, produzidos para cada componente, e neste contexto, mostram a correlação (eixo y) entre a imagem componente e cada uma das imagens (eixo x). É uma técnica estatística multivariada, que permite obter o menor número possível de fatores (Componentes Principais ou PC's), que representem a máxima porcentagem da variabilidade do conjunto de dados originais. Ou seja, pra um conjunto de variáveis X_j , $j = 1, 2, \dots, p$, o primeiro componente pode ser escrito segundo Dillon e Goldstein (1984), como:

$$PC_{(1)} = w_{(1)1}.X1 + w_{(1)2}.X2 + \dots + w_{(1)p}.Xp$$

onde

os valores $w_{(1)1}, w_{(1)2}, \dots, w_{(1)p}$, são escolhidos de forma que a razão entre a variância de $PC_{(1)}$ e a variância total seja máxima, com a condição de que $\sum w_{(1)j} = 1$, $j = 1, 2, \dots, p$.

A primeira Componente Principal $PC_{(1)}$, representa a característica típica do fenômeno estudado. Sucessivamente as seguintes componentes representam mudanças, a segunda Principal Componente $PC_{(2)}$, resulta de uma combinação linear ponderada das variáveis

originais não correlacionadas com a $PC_{(1)}$, e representa a máxima proporção da variabilidade restante não explicada por $PC_{(1)}$. Cada PC subsequente, portanto, contém gradativamente menos da variabilidade restante. Podem ser extraídos tantos fatores quanto foram as variáveis originais. Neste estudo, foram geradas as três primeiras Principais Componentes PC1, PC2 e PC3.

7.3 Resultados e discussão

7.3.1 Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas na janela do DNOS

Os resultados aqui apresentados correspondem à janela do DNOS, e dizem respeito à caracterização da estrutura de fundo do Banhado do Taim e as relações estabelecidas entre as informações de variação da altura da lâmina de água, de classes de cobertura de macrófitas aquáticas e de variação de NDVI desta vegetação.

7.3.2 Relações entre a estrutura de fundo e a ocorrência de lâmina de água aparente

O comportamento dos depósitos que formam o substrato do Banhado do Taim é distinto nos perfis para os transectos A, B e C, que foram elaborados a partir das informações do DNOS (1968) (Figuras 7.3.2.1; 7.3.2.1; e 7.3.2.3).

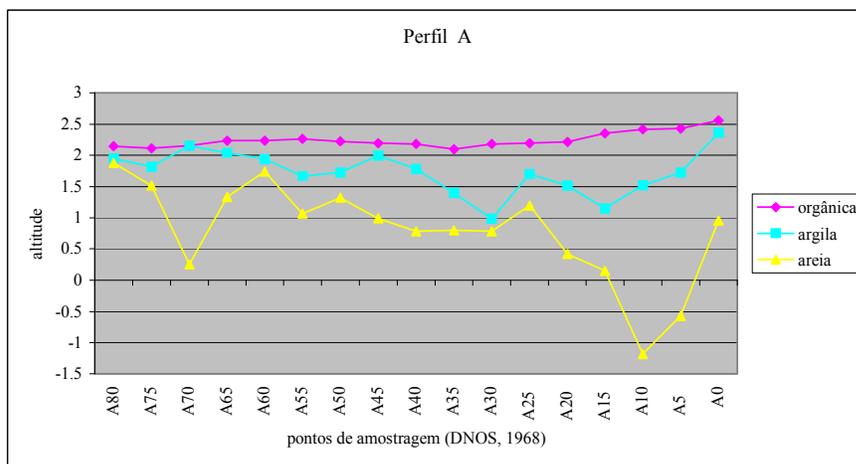


Figura 7.3.2.1 – Perfil do transecto A, para os fundos de areia, argila e matéria orgânica, Banhado do Taim - RS (DNOS, 1968).

No perfil A, a curva do fundo de areia evidencia dois antigos paleocanais, bem definidos, de circulação da água nos pontos A70 e A10, sendo que este último encontrava-se abaixo do atual nível zero do mar (Figura 7.3.2.1). Mas, em A55 e em A40 há dois outros canais mais rasos provavelmente associados aos meandros de circulação das águas. O intervalo entre a profundidade da camada de areia e o topo da camada de argila, define a espessura dos depósitos de argila, onde se destacam dois pontos A70 e A10 que apresentam maior espessura. Nos pontos A60 e A30, a espessura praticamente não existe. Nos pontos A70, A45 e A25 ocorrem três picos mais elevados de argila. A curva de matéria orgânica apresenta-se plano horizontalizada.

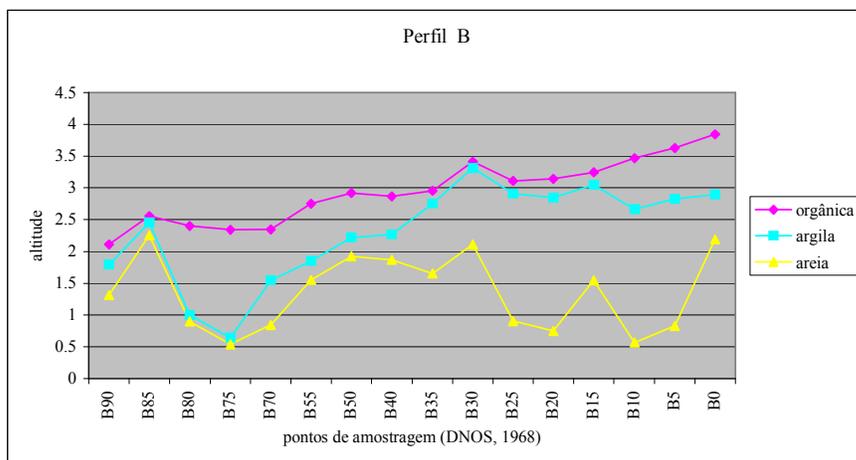


Figura 7.3.2.2 – Perfil do transecto B, para os fundos de areia, argila e matéria orgânica, Banhado do Taim - RS (DNOS, 1968).

O perfil B, evidencia a estrutura de três paleocanais de circulação em B75, B20 e B10 (Figura 7.3.3.2). Os depósitos de argila encontram-se quase inexistentes do lado oeste, mas no lado leste, ocorrem depósitos desse material com até dois metros de espessura, destacando-se dois picos mais elevados em B30 e B15. Para os depósitos de matéria orgânica, essa relação apresenta-se inversa, com grandes depósitos no lado oeste, e praticamente não existindo na área central do banhado, ponto A30.

O perfil C, apresenta marcadamente uma direção geral de mergulho das camadas de leste para oeste (Figura 7.3.2.3). A curva dos depósitos da camada de areia evidencia um paleocanal em C75, e está mais elevada do lado leste associadas às antigas migrações dos depósitos de dunas. Os depósitos de argila apenas contornam a camada inferior, mas destaca-se um pico na área central C35, indicando maior espessura. Os depósitos de matéria orgânica praticamente não existem no ponto C35, mas a oeste encontram-se bastante espessas.

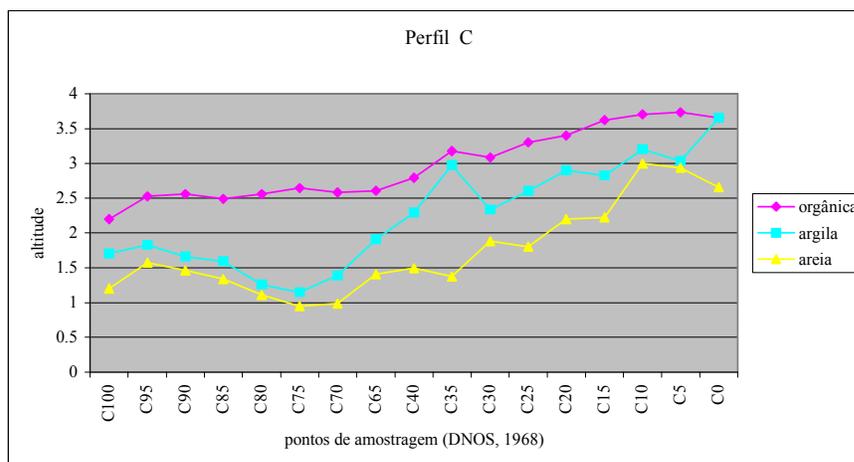


Figura 7.3.2.3 – Perfil do transecto C, para os fundos de areia, argila e matéria orgânica Banhado do Taim - RS (DNOS, 1968).

A espacialização das estruturas de fundo do banhado, são apresentadas em dois mapas de matéria orgânica, profundidade e espessura das camadas (Figuras - 7.3.2.4-(a) e (c)), e em dois mapas de argila, profundidade e espessura das camadas (Figuras – 7.3.2.4-(b) e (d)). Nos mapas da profundidade, as áreas na cor verde claro representam maior profundidade das camadas, e as áreas na cor marrom menor profundidade, portanto, estão mais próximas da superfície (ver descrição dos perfis das Figuras 7.3.2.1, 7.3.2.2 e 7.3.2.3). Nos mapas de variação da espessura, as áreas na cor verde claro representam menor espessura das camadas, e as áreas na cor azul escuro maior espessura (ver descrição dos perfis das Figuras 7.3.2.1, 7.3.2.2 e 7.3.2.3).

Esta área delimitada pelos mapas de espessura e profundidade dos depósitos de argila e matéria orgânica, foi utilizada para estabelecer correlações com os seguintes dados: 1) altura da lâmina de água; 2) padrões de distribuição espacial das macrófitas aquáticas; e 3) variação de NDVI.

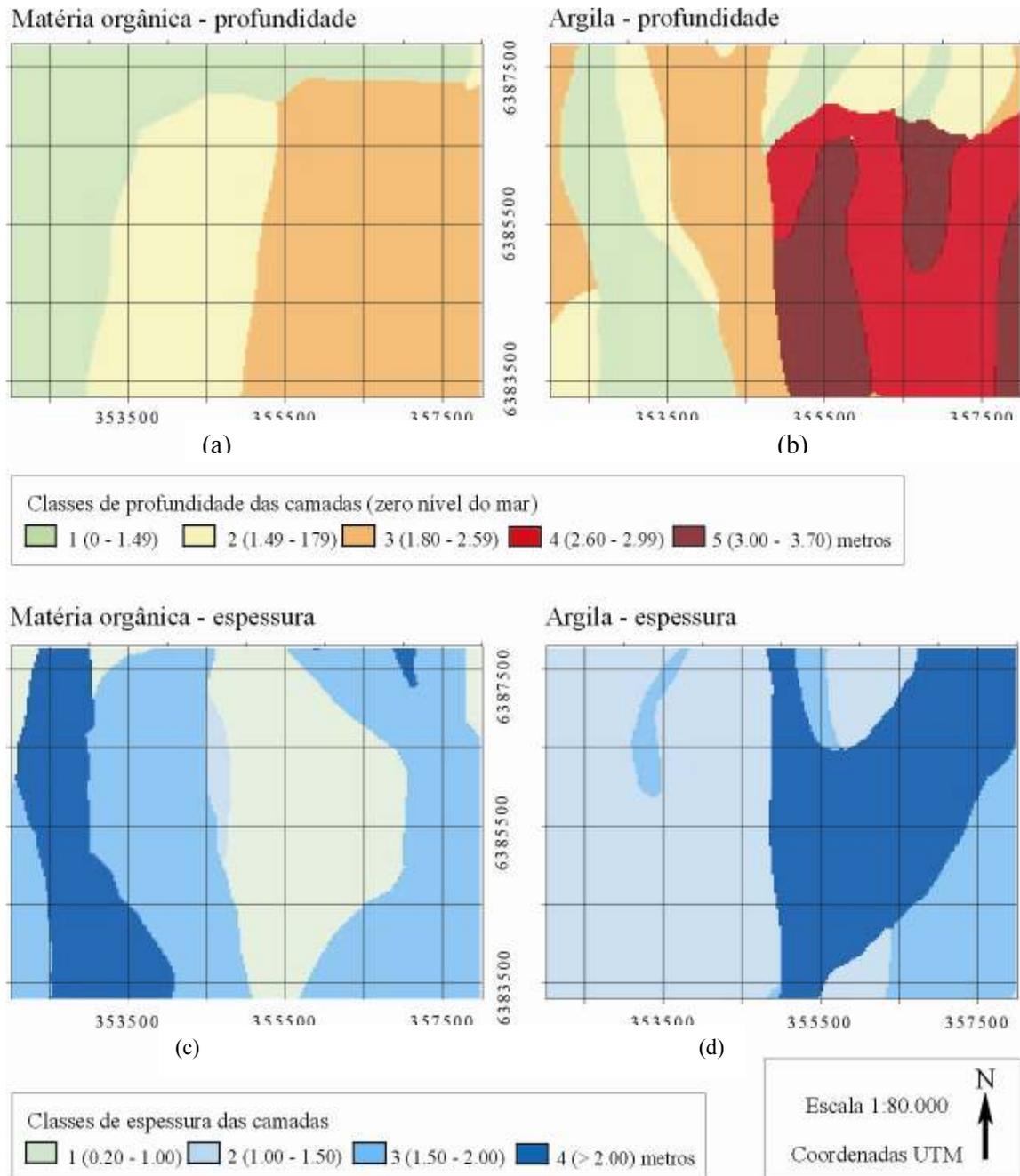


Figura 7.3.2.4 – Mapas de profundidade: (a) matéria orgânica; (b) argila; e mapas de espessura: (c) matéria orgânica e (d) argila, para a janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.

Com relação aos dados representativos da variação da superfície de lâmina de água aparente, para essa área, destacam-se, pela maior superfície ocupada pela água, os dados de 04/12/84, 14/08/84, 17/10/03 e 29/04/79, que ocupam respectivamente 79%, 72%, 45% e 44% dos 2700hectares da superfície total desta janela. Já as datas de imagens 30/07/96, 03/03/97 e 06/03/05, destacam-se pela ausência total de lâmina de água aparente, Figura 7.3.2.5.

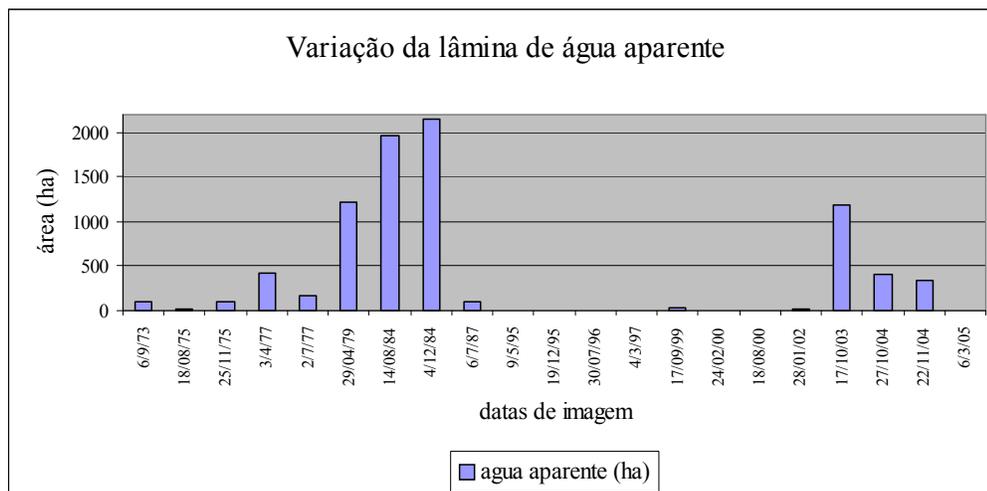


Figura 7.3.2.5 – Variação da superfície de lâmina de água aparente, janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.

Para entendermos a distribuição das áreas de lâmina de água aparente e a sua relação com as estruturas de fundo, foi elaborada uma representação espacial das superfícies mais suscetíveis a esta ocorrência (Figura 7.3.2.6). Esta imagem é produto da soma das 21 imagens de áreas de ocorrência de lâmina de água aparente, estando representadas na figura o número de vezes em que a superfície teve ocorrência de lâmina de água aparente.

Nesta imagem, para 126,18hectares, ou 4,67% da área Banhado do Taim, nunca ocorreu lâmina de água aparente, ou seja, nestas áreas a resposta espectral predominante sempre foi a da cobertura de macrófitas aquáticas (Tabela 7.3.2.1). Em função dos pulsos de inundação, em 277,56hectares ou 10,28% ocorreu apenas uma vez (imagem de 17/10/03), e em 498,51hectares ou 18,46%, tiveram-se até 3 ocorrências (14/08/84 e 04/12/84). Na maior parte da superfície desta janela, 1680,93hectares ou 62,25% a lâmina de água aparente ocorreu em seis imagens. E entre 6 e 21 ocorrência apenas 116,82hectares ou 4,32% da superfície de 2700hectares desta janela.

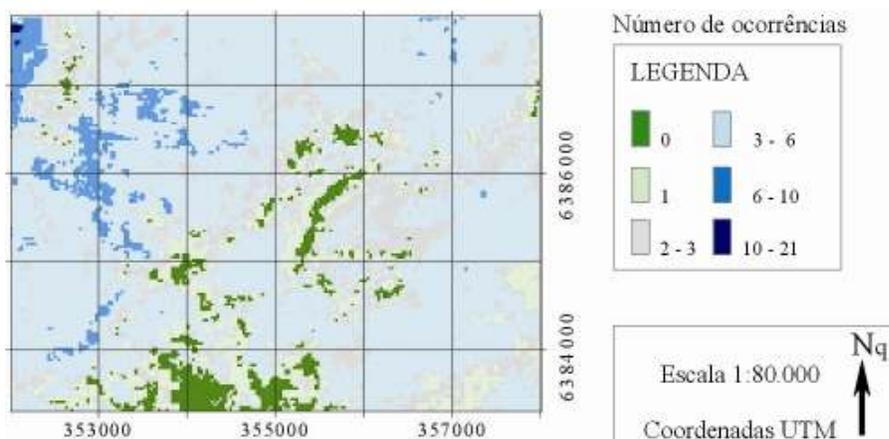


Figura 7.3.2.6 – Áreas mais suscetíveis à cobertura de lâmina de água aparente, janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.

Tabela 7.3.2.1 – Número de ocorrências de lâmina de água aparente, nas 21 imagens classificadas, no Banhado do Taim - RS.

<i>Número de ocorrências</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>%</i>
0	126,18	4,67
1	277,56	10,28
2-3	498,51	18,46
3-6	1680,93	62,25
6-10	115,02	4,26
10-21	1,80	0,06

O resultado dos cruzamentos dos mapas de espessura das camadas de matéria orgânica e argila, com mapa de superfícies mais suscetível a ocorrência de água aparente, estão apresentados nas Tabelas 7.3.2.2 e 7.3.2.3. No cruzamento entre a lâmina de água aparente e as classes de espessura da camada de argila, a principal ocorrência de água está na classe 2, que representa menores espessuras da camada de argila, representando 54,35% da ocorrência (Tabela 7.3.2.2). Por outro lado, a menor ocorrência de água nas classes de maior espessura das camadas de argila, pode estar relacionada aos picos de argila que funcionam com divisor de escoamento no Banhado do Taim. Esta relação fica ainda mais evidente, quando são eliminadas as imagens de cheias extremas (4,40, 4,39 e 4,40 metros, nas datas de 14/08/84, 04/12/84 e 17/10/03 respectivamente), quando 73,66% (1989,0hectares) da água estão na classe 2.

Tabela 7.3.2.2 – Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de espessura de argila, no Banhado do Taim - RS.

	Classes de espessura de argila			
	1	2	3	4
lâmina de água aparente (ha)	não ocorre	1467,7	356,6	875,7
lâmina de água aparente (ha), sem as datas de nível de água alto.	não ocorre	1989,0	92,0	619,0

Para o cruzamento entre a lâmina de água aparente e as classes de espessura da camada de matéria orgânica, a principal ocorrência de água está na classe 3. As classes 3 e 4 relativas às maiores espessuras da camada, representam 69,5% da ocorrência de água aparente (Tabela 7.3.2.3). Esta maior ocorrência de lâmina de água e as camadas de maior espessura, se localizam na margem oeste do banhado, e estão relacionados ao principal canal de circulação da água entre a lagoa Mangueira e a lagoa Mirim. Os 30,5% restantes, representam as menores espessuras da camada, e estão relacionados aos picos de espessura da camada de argila, onde tem menor ocorrência de lâmina de água. Eliminando os períodos de cheias extremas, as classes 3 e 4 relativas às maiores espessuras da camada, representam 67,96% da ocorrência de água.

Tabela 7.3.2.3 – Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de espessura de matéria orgânica, no Banhado do Taim - RS.

	Classes de espessura de matéria orgânica			
	1	2	3	4
lâmina de água aparente (ha)	822,5	459,0	1425,0	451,6
lâmina de água aparente (ha), sem as datas de nível de água alto.	854,0	11,00	1042,00	793,00

O resultado dos cruzamentos dos mapas de profundidade das camadas de matéria orgânica e argila, com mapa de superfície mais suscetível a ocorrência de água aparente, estão apresentados nas Tabelas 7.3.2.4 e 7.3.2.5. No cruzamento entre a lâmina de água aparente e as classes de profundidade da camada de argila, a ocorrência de água está com distribuição relativamente homogênea nas 5 classes do mapeamento (Tabela 7.3.2.4). Estes resultados, parecem mostrar uma incoerência em relação ao que vinha sendo dito até agora para os outros cruzamentos. Mas ao se analisar os dados relativos ao número de ocorrência de lâmina de água (Figura 7.3.2.6), entretanto, observou-se que a ocorrência desta homogeneidade só

acontece devido aos períodos de cheias extremas. Já em relação ao nível médio da água no Banhado do Taim (de 3,01 metros, com base na variação da régua Veado montante, entre 1960 e 2001), este cruzamento mostrou que 40,33% (1089,0hectares) da água estão sobre as maiores profundidades de argila, e que somente 22% da água ocorrem nas menores profundidades (classes 4 e 5) de argila.

Tabela 7.3.2.4 – Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de profundidade de argila, no Banhado do Taim - RS.

	Classes de profundidade de argila				
	1	2	3	4	5
lâmina de água aparente (ha)	581,6	409,2	604,1	637,7	467,2
lâmina de água aparente (ha), sem as datas de nível de água alto.	1089,0	240,0	797,0	167,0	427,0

E no cruzamento entre a lâmina de água aparente e as classes de profundidade da camada de matéria orgânica, a principal ocorrência de água está na classe 3, que representa profundidades médias da camada (entre 1,80 e 2,59 metros de profundidade), representando 42,47% da ocorrência de água aparente (Tabela 7.3.2.5). Novamente ao se analisar os dados relativos ao número de ocorrência de lâmina de água (Figura 7.3.2.6), entretanto, observou-se que a ocorrência desta homogeneidade só acontece devido aos períodos de cheias extremas (4,40, 4,39 e 4,40 metros, nas datas de 14/08/84, 04/12/84 e 17/10/03 respectivamente). Já em relação ao nível médio da água no Banhado do Taim, 42,85% (1157,0hectares) da água estava sobre as maiores profundidades, esta ocorrência como dito antes está relacionada a maior facilidade de circulação da água entre a lagoa Mangueira e a lagoa Mirim.

Tabela 7.3.2.5 – Ocorrência de lâmina de água aparente por classe de profundidade de matéria orgânica, no Banhado do Taim - RS.

	Classes de profundidade de matéria orgânica		
	1	2	3
lâmina de água aparente (ha)	867,5	685,7	1146,8
lâmina de água aparente (ha), sem as datas de nível de água alto.	1157,0	980,0	563,00

Assim nas áreas em que a camada de argila se encontra mais espessa e mais próxima da superfície, existe menor ocorrência de lâmina de água aparente como, por exemplo, na região centro-leste do Banhado do Taim, região mais elevada e menos sujeita a oscilação positiva do nível da água no banhado. Já na margem oeste, onde ocorrem menores espessuras de argila, mas maiores espessuras de matéria orgânica, está mais sujeita a oscilação do nível da água. O entendimento destas relações é importante tendo em vista que os padrões de variação do nível da água e da topografia de fundo do banhado, interferem na ocorrência e distribuição espacial da vegetação ou na sua ausência (Shaw *et al.*, 1999; David, 1996).

7.3.3 Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas

Para comparação e o estabelecimento das correlações entre profundidade e espessura dos depósitos de argila e matéria orgânica com os padrões de distribuição espacial das classes de macrófitas aquáticas e de classes de NDVI, tomou-se como base as imagens Landsat TM de 04/12/84, 09/05/95 e 28/01/02, Figuras 7.3.3.1-(a), 7.3.3.2-(a) e 7.3.3.3-(a), que foram utilizadas como padrão para representar o comportamento das macrófitas aquáticas, na área da janela do DNOS. Esta escolha deve-se ao contraste da resposta espectral obtido nestas imagens. Estas imagens serviram para analisar as relações entre a estrutura de fundo e os padrões das macrófitas aquáticas. Contudo o principal critério utilizado para esta escolha, foi a oscilação do nível do banhado em três níveis distintos da água. Nestas datas, o nível da água, estava em 4,39; 2,04; e 3,14 metros, segundo leitura na régua Veado montante.

A Figura 7.3.3.1 apresenta as seguintes imagens: (a) imagem Landsat TM de 04/12/84, em composição colorida 4R5G3B, com aumento de contraste linear; (b) imagem de classes de cobertura de macrófitas aquáticas, na janela do DNOS, para a mesma data.

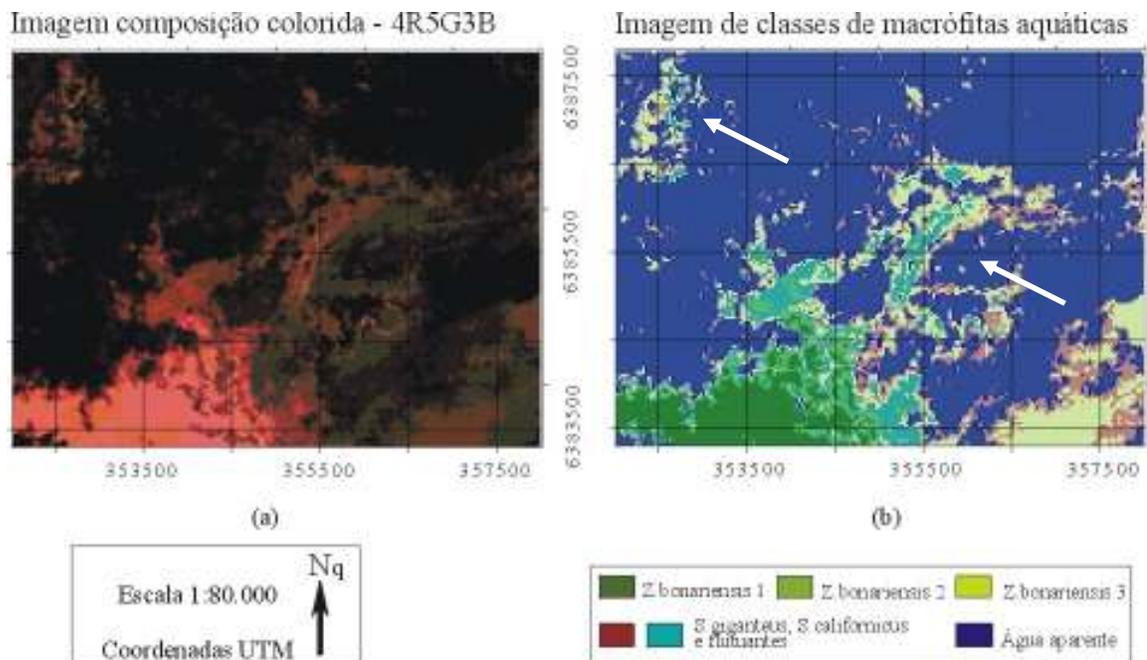


Figura 7.3.3.1 – Imagens Landsat TM, de 04/12/84, em composição colorida 4R5G3B (a); e imagem de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim – RS.

Na imagem da data que representa o nível alto da água no banhado (4,39 metros) observa-se que, na área norte desta janela, as macrófitas aquáticas têm sua resposta espectral característica totalmente mascarada pela lâmina de água aparente (Figura 7.3.3.1-(a)). Ocorre nesses períodos, uma reorganização temporária das macrófitas no banhado, fazendo com que, por exemplo, apareça no sudoeste desta janela uma grande mancha de macrófitas da classe *Z. bonariensis*, mancha que não aparece nas duas imagens seguintes.

A imagem de classes, resultado da classificação digital, mostra esta predominância, quando 65,5% da superfície total da janela foram classificadas como lâmina de água aparente (Figura 7.3.3.1-(b)). Destacam-se, nesta figura duas áreas, uma em formato de “meia-lua”, que corresponde à união dos picos de argila (B30 e C35), e que representam os altos topográficos. E a segunda área, onde a vegetação também se mantém permanentemente acima da água, local referente ao ponto A70, que se caracteriza por uma espessa camada de argila (ver perfil da Figura 7.3.2.1).

A imagem seguinte, representa o nível baixo da água no banhado (2,04 metros). Com o nível mais baixo da água, pode-se obter maior contraste, na imagem, entre as variações dos padrões das macrófitas aquáticas, e as suas relações com as estruturas de fundo do banhado

(Figura 7.3.3.2-(a), de 09/05/95). Este período, segundo análise no capítulo 5.3, corresponde à estação de crescimento vegetativo e, portanto, aumento de biomassa das macrófitas no banhado.

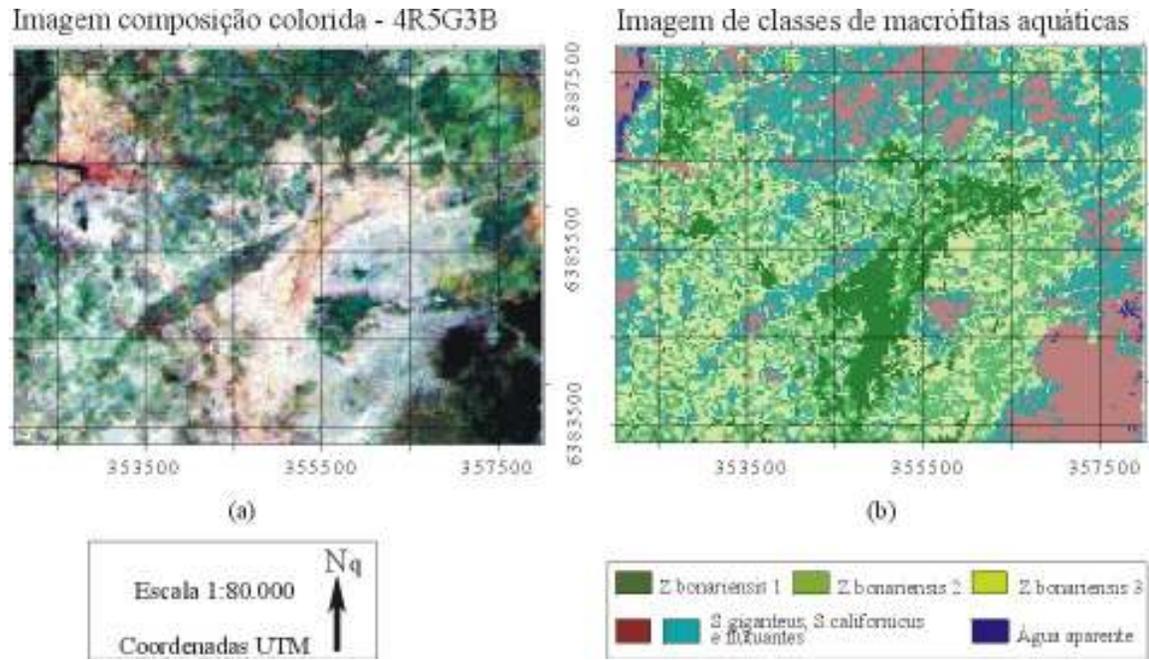


Figura 7.3.3.2 – Imagens Landsat TM, 09/05/95, em composição colorida 4R5G3B (a); e imagem de classes de cobertura vegetal de macrófitas aquáticas (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.

Nesta imagem, as áreas que aparecem entre os tons de laranja claro e vermelho, correspondem às áreas em que as macrófitas cobrem com maior eficiência a lâmina de água. No caso da janela do DNOS, estas áreas correspondem às classes 1,2 e 3 da espécie *Z. bonariensis*, Figura 7.3.3.2-(b).

Apesar do mês de maio corresponder a um dos períodos de máximo crescimento vegetativo das macrófitas no banhado, a influência do baixo nível da água, faz com que nas regiões mais dependentes da circulação da água, como por exemplo, as áreas mais escuras nesta figura, tenham uma maior influência da matéria orgânica em decomposição na sua resposta espectral. Este contraste fica ainda mais acentuado, tendo em vista que algumas plantas não cobrem de forma eficiente a superfície de fundo como, por exemplo, o *S. californicus*.

A imagem da Figura 7.3.3.3-(a) é a data de imagem que representa o nível médio da água no banhado (3,14 metros). O nível médio da água no Banhado do Taim no período entre 1960-2001, segundo a régua arroio Veado, é de 3,01 metros. As diferenças entre os padrões de resposta espectral, ainda são acentuadas. Como esta data corresponde à estação do verão, ocorre um predomínio de vegetação senescente. Nesta imagem, as áreas que aparecem em tons de laranja, correspondem predominantemente à ocorrência de *Z. bonariensis*, ainda que tenha sua resposta espectral mascarada pela senescência sazonal.

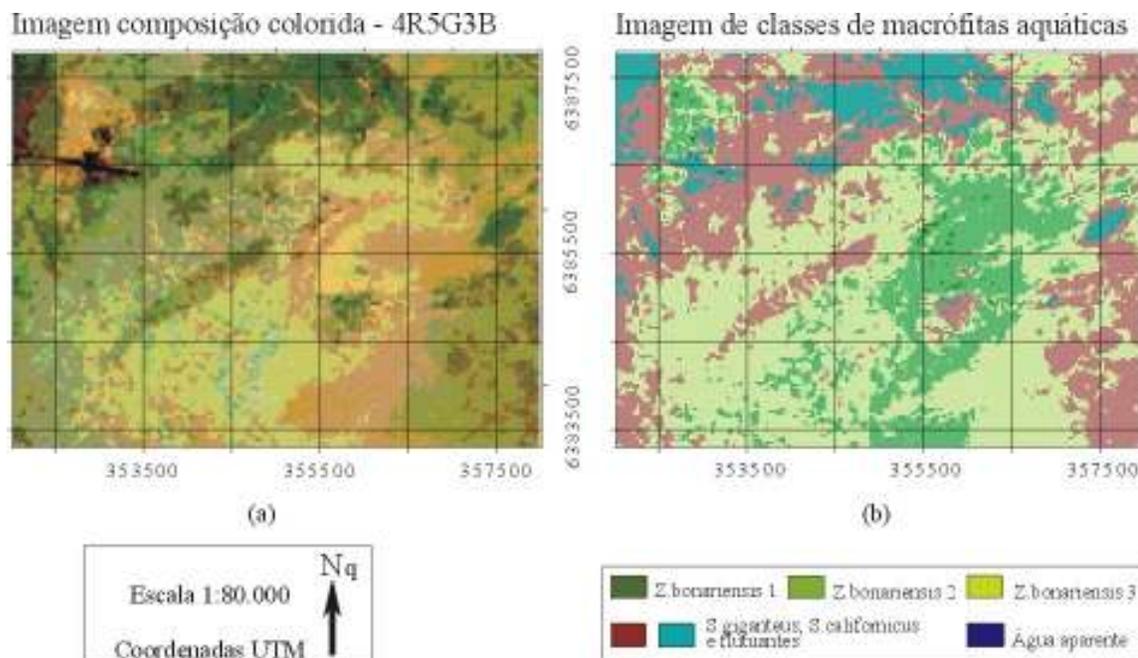


Figura 7.3.3.3 – Imagens Landsat TM, de 28/01/02, em composição colorida 4R5G3B (a); e imagem de classes de cobertura vegetal de macrofitas aquáticas (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.

Os resultados dos cruzamentos entre as imagens de classes de espessura de argila e as três imagens de classes de cobertura de macrofitas aquáticas, Figuras 7.3.3.1-(b), 7.3.3.2-(b) e 7.3.3.3-(b), são apresentados na Tabela 7.3.3.1. Verifica-se que: a classe *Z. bonariensis* 3, é a classe predominante na janela do DNOS, ocupando, em média para as três datas, 33,56% da superfície total de 2700hectares. Do total da ocorrência da classe *Z. bonariensis* 3, 52,86% acontecem na classe 3 de argila, que corresponde a maiores espessuras desta camada; a classe de lâmina de água aparente aparece ocupando uma grande superfície desta janela (24,45% da área total), entretanto, este percentual corresponde somente a data de 04/12/84, quando o nível da água estava alto; o restante da área total se distribui entre as demais classes do mapeamento.

Tabela 7.3.3.1 – Cruzamento entre as áreas (ha) das classes de espessura de argila e as classes de macrófitas aquáticas.

datas de imagens	nível da água	classes de espessura de argila	classes de macrófitas aquáticas					
			1	2	3	4	5	6
04/12/84	4,39	2	0,2	3,3	135,2	107,2	63,2	666,6
		3	0,5	1,0	105,4	85,2	0,4	264,0
		4	173,9	67,2	125,3	71,5	95,7	1034,1
09/05/95	2,04	2	155,1	166,9	333,5	87,0	233,2	0
		3	3,9	27,0	72,0	239,7	108,5	5,5
		4	154,5	235,5	581,2	195,4	390,7	10,4
28/01/02	3,14	2	5,2	315,8	430,6	190,3	33,8	0
		3	0	8,5	174,9	244,0	29,0	0,2
		4	1,5	114,5	730,5	569,6	151,4	0,2

1, 2 e 3 = *Z.bonariensis*; 4 e 5 = *S.californicus*, *S.giganteus* e flutuantes; 6= submersas;
1, 2 e 3 = classes de espessura de argila.

A análise de correlação espacial entre os mapas de espessura e profundidade dos depósitos de argila e matéria orgânica com a variação do NDVI, foi também estabelecida apresentando os seguintes resultados.

A Figura 7.3.3.4, apresenta a imagem NDVI de 09/05/1995 e a imagem de classes de NDVI, destacam-se principalmente duas áreas, em tons de verde escuro, que estão associadas aos maiores valores de NDVI. Estas áreas, conforme Figura 7.3.3.2-(b), correspondem à ocorrência da espécie de macrófita *Z.bonariensis*.

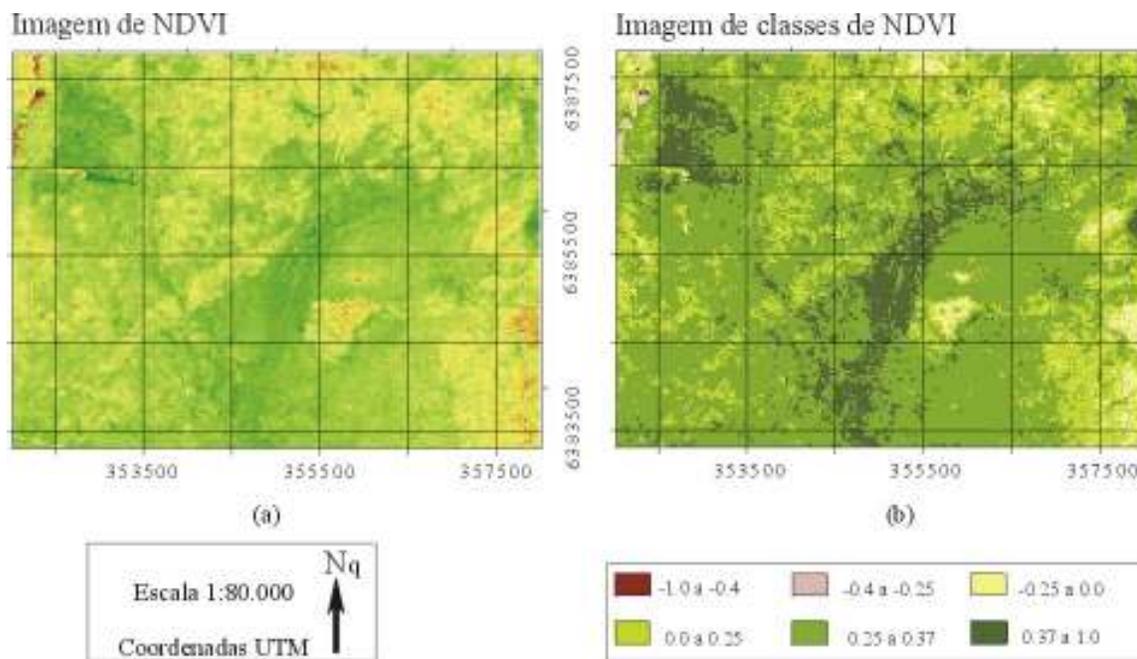


Figura 7.3.3.4 – Imagem de NDVI (a); e imagem de classes de NDVI (b), janela do DNOS, no Banhado do Taim - RS.

Para concluirmos as relações entre os parâmetros ocorrência de lâmina de água aparente, classes de macrófitas aquáticas, variação de NDVI e a espessura e profundidade das camadas de argila e matéria orgânica, observamos que: as áreas em tons de marrom correspondem aos menores valores de NDVI. Normalmente estas áreas estão associadas às áreas de lâmina de água aparente, que correspondem a maior profundidade e espessura da camada de matéria orgânica. Estes valores mais baixos de NDVI, também podem estar associados à senescência de algumas espécies, dependendo da época do ano; as áreas em tons de verde escuro, em contrapartida, são relativos aos maiores níveis de NDVI, e correspondem as áreas de menor profundidade e maior espessura da camada de argila, ver Figura 7.3.2.4.

Para análise da variação temporal dos índices de vegetação representados nas imagens de NDVI, foram aplicadas as ferramentas de Análise de Séries Temporais (TSA). A Figura 7.3.3.5, mostra três imagens geradas por TSA e sua composição colorida. Estas imagens são as três primeiras Principais Componentes (a) Principal Componente 1 (PC1); (b) Principal Componente 2 (PC2); (c) Principal Componente 3 (PC3), geradas sobre uma variação temporal de 21 datas de imagens de NDVI, e que abrangem o período entre 1973 e 2005. Estas três PC's contém juntas 42.19% da variância total (autovalores) das 21 imagens utilizadas.

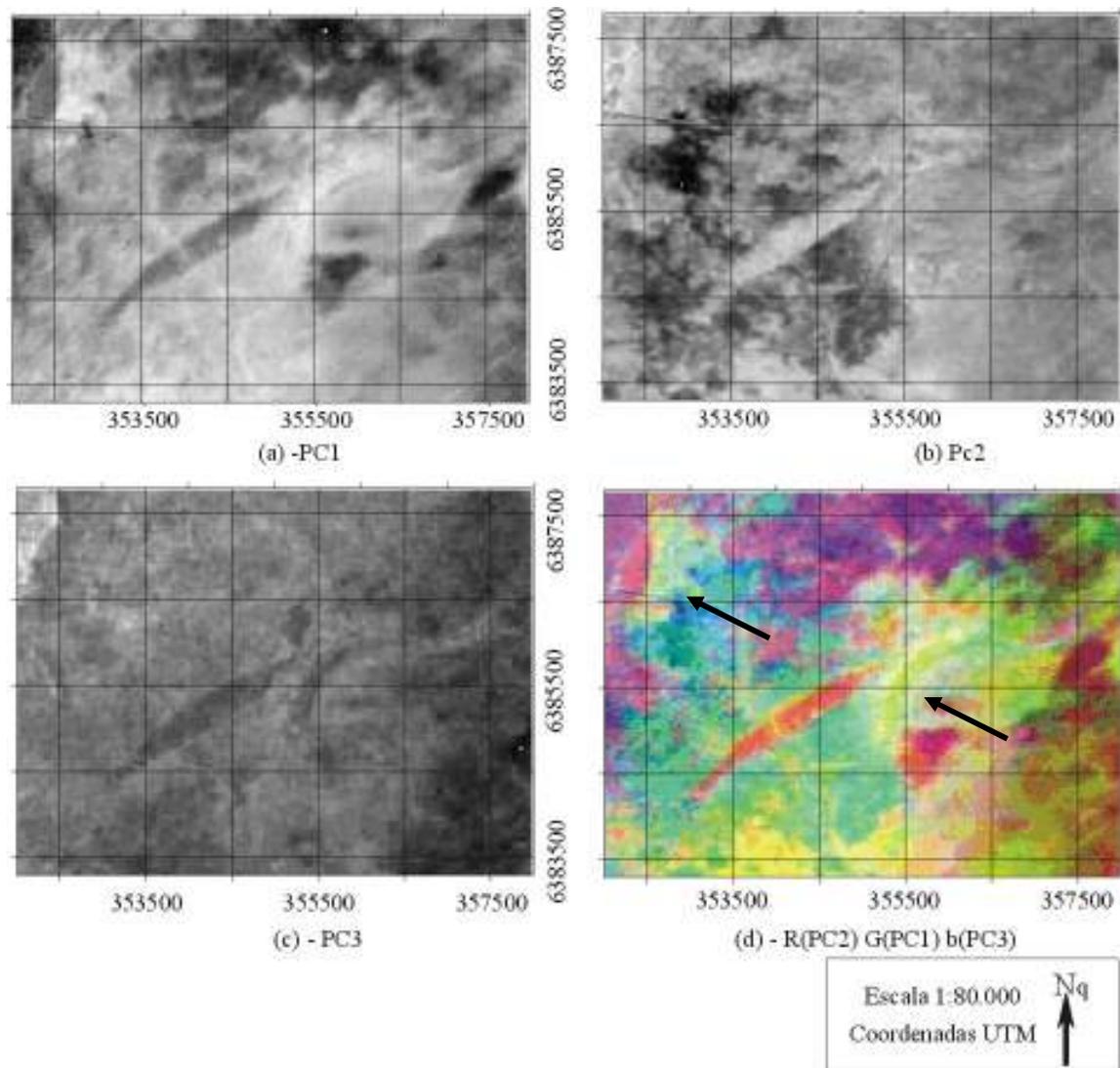


Figura 7.3.3.5 - Imagens de Principais Componentes, no Banhado do Taim - RS, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI (1973-2005): (a)PC1; (b)PC2; (c)PC3 e (d) composição colorida dos três PCs.

A Tabela 7.3.3.2 e a Figura 7.3.3.6, apresentam as contribuições (autovetores) relativas as 21 datas de imagem para cada uma das três Principais Componentes PC1, PC2 e PC3.

Tabela 7.3.3.2 - Contribuição das três Principais Componentes, geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 21 datas de imagens de NDVI.

Datas de imagem	CP 1	CP 2	CP 3
06/09/73	0.2688	-0.3229	-0.5843
03/04/77	0.2173	-0.3259	-0.6116
02/07/77	0.3880	-0.2746	-0.0314
18/08/75	0.0818	-0.2826	0.0182
25/11/75	0.2216	-0.1893	0.4151
29/04/79	0.5795	0.0791	0.4922
14/08/84	0.4395	0.3968	-0.4250
04/12/84	0.3100	0.5723	-0.3158
06/07/87	0.5263	0.0912	-0.0205
09/05/95	0.7185	-0.0501	0.2137
19/12/95	0.7711	0.0403	0.0617
30/07/96	0.6100	-0.1542	-0.0343
04/03/97	0.7158	-0.1106	0.0116
17/09/99	0.8174	-0.0946	0.0373
24/02/00	0.8388	-0.1561	0.0166
18/08/00	0.7444	-0.1732	-0.2997
28/01/02	0.5739	0.2607	-0.3635
17/10/03	-0.1694	0.6794	-0.3343
27/10/04	0.1842	0.8359	0.1312
22/11/04	0.2072	0.8297	0.1628
06/03/05	0.5783	0.0667	0.5243

A primeira Principal Componente (PC1), Figura 7.3.3.5-(a) contém as informações de brilho associadas aos padrões gerais de NDVI das imagens utilizadas. Possui a maior parte da variância total dos dados (28.18%), concentrando as informações comuns antes diluídas nas 21 dimensões. Nesta imagem, a contribuição (autovetores) de todas as imagens é positiva, portanto, os maiores índices de vegetação aparecerão com alto brilho e decrescendo conforme o NDVI. As maiores contribuições ao padrão apresentado pela PC1, correspondem às informações contidas nas imagens das datas compreendidas entre o período de 09/05/95 e 28/01/02, quando o nível das águas estava baixo (ver Tabela 7.3.3.2 e Figura 7.3.3.6, das contribuições as PC's). A segunda e a terceira Principal Componente apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos, com respectivamente 13.93 % e 10.08 % da variância total dos dados.

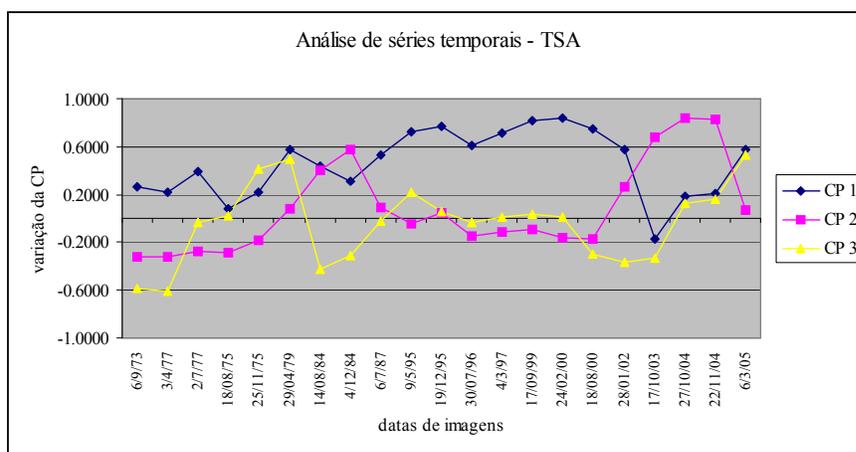


Figura 7.3.3.6 – Contribuição das três Principais Componentes (autovetores), geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 21 imagens de NDVI.

Na imagem PC2, destaca-se pela contribuição positiva as imagens das seguintes datas: 14/08/84, 04/12/84, 17/10/03, 27/10/04 e 22/11/04 (Figura 7.3.3.5-(b)). Estas imagens são responsáveis pelo maior volume de informação, e suas contribuições são positivas. Logo, os valores positivos de NDVI, apareceram também com os mais elevados valores de brilho. Ocorre, entretanto, que sendo estas imagens representativas dos pulsos de inundação, as áreas emersas (não significando necessariamente maiores valores de NDVI) ficaram com os valores de brilho mais alto. A contribuição da maior frequência de áreas de lâmina de água aparente aparece nas áreas em tons de cinza escuro.

A PC3, tem como contribuição positiva as imagens das datas 25/11/75 e 29/04/79 (Figura 7.3.3.5-(c), ver também a Tabela 7.3.3.2 e a Figura 7.3.3.6). Nestas datas, a lâmina de água aparente teve forte contribuição no brilho das imagens. A diferença, é que nestas imagens, a área com maior influência da lâmina de água aparente foi a porção oriental desta janela (ver Figuras 3.3.3-(c) e (f) do capítulo 3). Como nestas datas, estas áreas estão com o NDVI baixo, na PC3 ocorre baixo brilho. A situação inversa ocorre para as imagens de contribuição negativa (06/09/73 e 03/04/77), quando o NDVI estava elevado nestas áreas. Outra contribuição positiva à PC3, foi a imagem de 06/03/05, que tem áreas com ocorrência de algumas nuvens e de sombra de nuvens, na área da janela do DNOS. Mas esta ocorrência não tem informação significativa para a variação do NDVI no banhado.

Obteve-se uma composição colorida das três PC's, com a imagem PC2 no vermelho, a PC1 no verde e a imagem PC3 no azul (Figura 7.3.3.5-(d)). As áreas que aparecem em tons de amarelo, são as áreas em que os valores de contribuição de NDVI permaneceram altos na

maior parte das 21 imagens. Oscilações positivas do nível da água, tem forte influência sobre a variação de brilho da imagem PC3, assim estas áreas aparecem em tons de ciano. E as áreas em tons de vermelho, onde os valores de NDVI foram permanentemente mais baixos, mas permaneceram emersos.

As áreas em tons de amarelo, estão destacadas com setas (Figura 7.3.3.5-(d)), porque os valores de NDVI estão permanentemente mais altos. Uma delas caracteriza-se pela forma de “meia-lua”, e coincide exatamente com a área de união de dois picos de argila (B30 e C35), que seriam pontos secos no interior do banhado. De acordo com DNOS (1968), nas épocas de cheias ficam descobertas apenas algumas áreas, de superfície muito reduzida, no centro do Banhado do Taim, chamadas de “meia-lua”, que são pontos mais secos.

A Análise de Séries Temporais (TSA), com base em 21 imagens de NDVI, se mostrou bastante adequada para caracterizar os padrões da variação temporal de NDVI da cobertura de macrófitas, na janela do DNOS. A análise destas PC's, permitiu também estabelecer relações entre os padrões de variação das áreas de lâmina de água aparente, das classes de cobertura de macrófitas, das classes de NDVI e das variações da estrutura de fundo.

Também a associação destas imagens, com os padrões do zoneamento das macrófitas em terras úmidas, apresentado na Figura 4.1.1 do capítulo Padrões da cobertura de macrófitas aquáticas, permitiu indicar, que as variações dos níveis de NDVI e a oscilação do nível da água estão estreitamente associadas às variações das estruturas da morfológica do fundo do banhado. A imagem da PC2 mostra que ocorrem áreas em que os padrões são determinados pelas variações/oscilações do ambiente do banhado, como por exemplo, a elevação do nível das águas. As imagens Landsat TM de 14/08/84, 04/12/84, 17/10/03, 27/10/04 e 22/11/04, mostram que, nestas datas, a área de lâmina de água aparente se destaca sobre a vegetação do banhado.

Na análise das relações entre as estruturas de fundo e os padrões espaciais e temporais apresentados nas imagens de ocorrências de lâmina de água aparente, de classes de cobertura de macrófitas aquáticas e de classes de NDVI, para a janela do DNOS, foi observado que a ocorrência de determinadas espécies de macrófitas e os diferentes ambientes criados por estas estruturas, induzem que em áreas com determinadas características as macrófitas tenham desenvolvimento desigual.

Diferente dos sistemas aquáticos e terrestres, as áreas úmidas constituem macro-sistemas de alta variabilidade espaço-tempo. Isso não implica assumir que são sistemas de baixa estabilidade. Sistemas pulsáteis, como as áreas úmidas, se comportam como sistemas em permanente desequilíbrio, nos quais a variabilidade temporal é uma complexa função dependente das entradas e saídas de energia e materiais em distintos sítios da bacia, e das oportunidades combinatórias das populações na mesma para ajustar sua distribuição e abundância. Então o desequilíbrio só pode ser percebido como a flutuação do sistema em uma série histórica de tempo (Neiff, 1999).

A importância da variável tempo para o entendimento da dinâmica de áreas como o Banhado do Taim, também foi enfatizada na análise da hidrodinâmica e do hidroperíodo do Sistema Hidrológico do Taim (Villanueva, 1997; Villanueva e Tucci, 2001, Paz *et al.*, 2003), e da variação do regime hídrico do Taim (Tucci, 1996).

A análise em terras úmidas é um tanto complexa tendo em vista que o movimento horizontal da água e os fluxos de energia e de materiais, não ocorrem na forma de ciclos e sim como pulsos com fases de inundação e seca. Esta variabilidade, quando analisada em séries históricas é evidenciada com certo grau de ordem em sua ocorrência e características, gerando tendências temporais e espaciais da distribuição da vegetação.

7.3.4 Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim, RS

Para espacializar as relações observadas na janela do DNOS, e analisar as relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas, na área total do Banhado do Taim, foi utilizado como esquema geral de zoneamento da distribuição das plantas hidrófilas o esquema apresentado na Figura 7.3.4.1. Nesta figura, partindo das áreas de água livre, onde a profundidade é maior encontram-se as comunidades de plantas aquáticas flutuantes, logo depois as áreas das plantas sobre solo flutuante, e por último, próximo das áreas de terra firme, uma zona de transição. Nestas duas últimas zonas predominam as plantas palustres.

Na Figura 7.3.4.1, pode-se observar um perfil esquemático mostrando a zonação das plantas hidrófilas, partindo das áreas de água livre onde a profundidade é maior e se

encontram as comunidades de plantas aquáticas, logo as áreas com solo flutuante, e por último, próximo das áreas de terra firme, uma zona de transição, onde predominam as plantas palustres. As plantas que ocorrem nos solos flutuantes são basicamente plantas palustres.

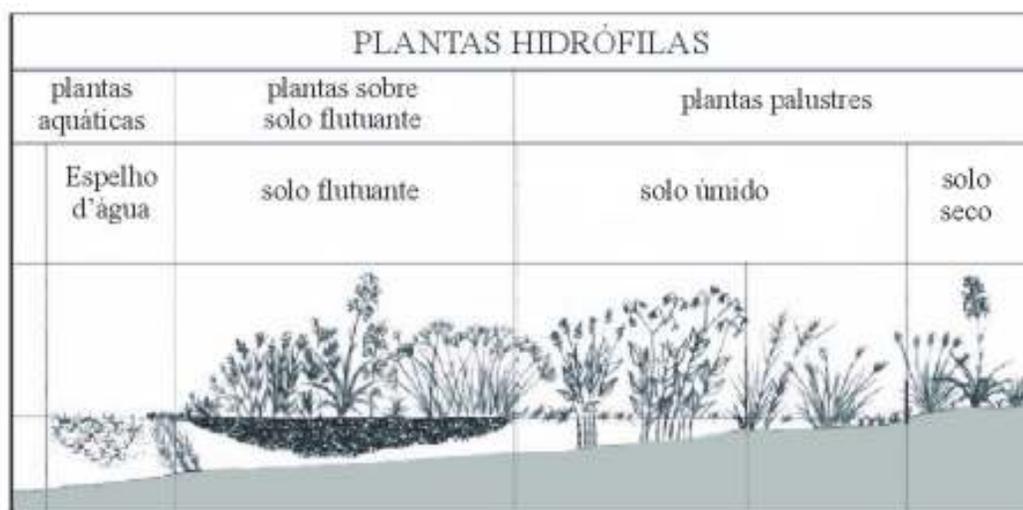


Figura 7.3.4.1 - Perfil esquemático mostrando a zonação das plantas hidrófilas (modificado de Arbo *et al.*, 2001).

Os ambientes habitados por plantas palustres estão inundados permanentemente ou temporariamente, apresentam adaptações tanto para resistir às inundações como para suportar os períodos de seca. As áreas de transição e os canais estão permanentemente inundados e apresentam pequena superfície de água livre, nestas áreas a circulação da água é muito lenta, quase imperceptível, ocorrendo basicamente nos canais de circulação.

A complexidade que apresentam as terras úmidas se relaciona com o número de compartimentos resultantes dos diferentes pulsos ao longo de uma série de tempo. A complexidade interna de cada mosaico depende da amplitude que tenha em sua capacidade de carga (Neiff, 1999).

A análise dos dados dos transectos do DNOS, a geração dos perfis e a identificação dos padrões de distribuição da vegetação nas imagens de satélite, permitiram algumas conclusões sobre as relações entre a estrutura de fundo do banhado e os padrões da distribuição da macrófitas no Banhado do Taim como um todo.

Existem elementos que consideramos importantes na estrutura de fundo do banhado que influenciam na definição dos padrões de distribuição espacial das macrófitas aquáticas (Figuras 7.3.2.1, 7.3.2.2 e 7.3.2.3, ver também a Figura 7.3.4.2).

Nestes perfis, destacamos os pontos em que a camada de argila encontra-se mais espessa e mais próxima da superfície, formando picos mais salientes (A45 e A25, B30 e B15, C35 e C10). Também nestes pontos, por sua vez, a camada de matéria orgânica encontra-se bem delgada, o que ocorre provavelmente, pelo menor desenvolvimento de macrófitas nessas áreas e conseqüentemente menor deposição e acúmulo no fundo do banhado.

A estrutura que forma a união destes picos de argila, mais altos e salientes, funcionaria como uma espécie de divisor do escoamento das águas no Banhado do Taim, com sentido geral aproximadamente norte-sul, dividindo a área em dois compartimentos com comportamentos distintos, com uma estrutura de forma sinuosa (Figuras 7.3.2.2; 7.3.2.3; 7.3.3.4 e 7.3.3.5).

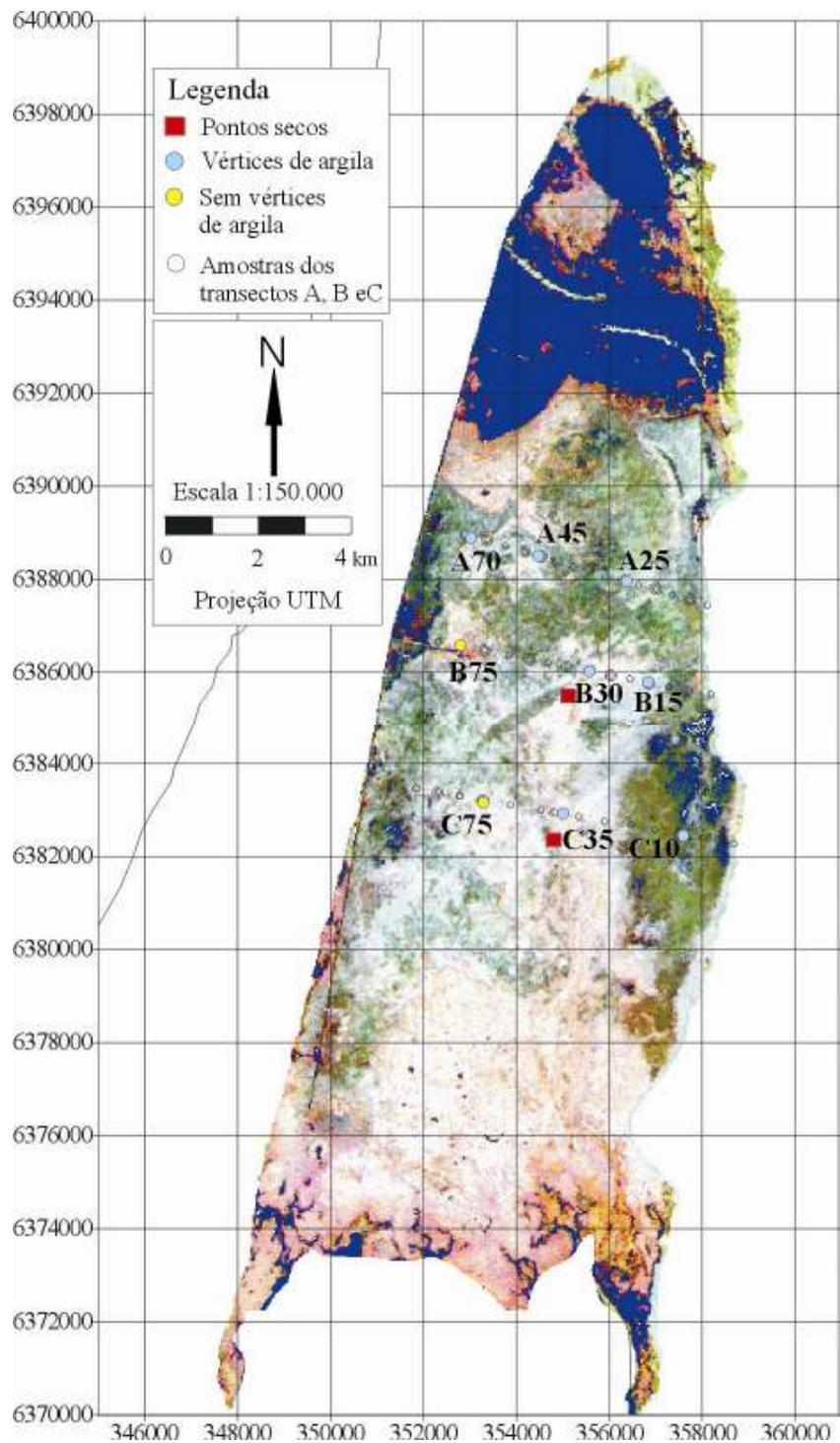


Figura 7.3.4.2 – Localização dos transectos A, B e C do DNOS, no Banhado do Taim - RS, com destaque para os pontos mais secos e os vértices de argila, sobre imagem Landsat TM em composição colorida 4R5G3B, de 09/05/95.

A heterogeneidade ambiental é um conceito que tem uma influência significativa na dinâmica e estrutura de comunidades ecológicas (Vivian-Smith, 1997). Em particular, a heterogeneidade topográfica pode criar um complexo mosaico do substrato, na qual variam estrutura, hidrologia e a química (Bledsoe e Shear, 2000).

Em terras úmidas, por exemplo, simples feições de heterogeneidade topográfica, em macroescala, como as marés associadas a riachos e seus padrões correspondentes como bancos de canais e suas variações de níveis, saliências e rugosidades (Morzaria-Luna *et al.*, 2004), podem afetar o padrão da vegetação pela imposição de contrastes ambientais no crescimento e desenvolvimento das plantas (Mendelssohn *et al.* 1981).

Em micro escala as terras úmidas também têm variações, como por exemplo, pequenas elevações e conseqüentes áreas de terrenos mais secos ou pequenas depressões, poços e canais de águas rasos (Morzaria-Luna, 2004). A variação micro-topográfica é estreitamente correlacionada com a distribuição e vigor dos indivíduos e das comunidades de plantas em terras úmidas (Schelesinger, 1978). Alguns estudos (Mahall e Roderic, 1976; Snow e Vince, 1984; Armstrong *et al.*, 1985; Zedler *et al.*, 1999, Sanderson *et al.*, 2000; Morzaria-Luna, 2004) sobre vegetação em terras úmidas tem relatado o relacionamento entre a distribuição de espécies com gradientes físicos associados às máres e pequenas oscilações na topografia de fundo. Sanderson *et al.* (1998), em estudo utilizando dados de sensoriamento remoto, revela que os canais de marés têm uma importante influência no padrão de cobertura da lâmina de água pela vegetação nas paisagens de terras úmidas. Mesmo em pequenos canais, esse padrão de cobertura influencia a reflectância dos pixels com vegetação, numa área de 400m².

De acordo com o relatório do DNOS, a topografia do banhado está sulcada por uma série de lombadas e depressões que, embora muito suaves e de orientação norte-sul, tendem a conduzir a água desde a lagoa Mirim para a lagoa Mangueira nas cheias. A localização destes picos de argila corresponde exatamente às áreas onde, de acordo com os relatos do DNOS, a partir de reconhecimento de campo, ocorrem alguns pontos considerados mais secos no interior do banhado (Figuras 7.3.2.1, 7.3.2.2 e 7.3.2.3).

A camada de argila funcionaria então, como uma espécie de camada impermeabilizante ao escoamento das águas. No caso da argila, os poros ou os capilares são extremamente finos, fazendo com que haja pouca comunicação entre eles. Dessa forma, as argilas podem receber água mas não permitem a sua circulação depois de saturadas, ficando a

água neles retida. “A camada de argila, praticamente impermeável, tem textura argilosa, estrutura maciça e condutividade hidráulica menor que 0,1m/dia e até 0,01m/dia. Esta excessiva proporção de argila (entre 70 e 80%) é um grande inconveniente quando se trata de drenar estes solos, pois tal camada será praticamente impermeável e toda espessura abaixo dela resulta completamente inutilizável” (DNOS, 1968).

Normalmente em terras úmidas, de uma forma geral, a capa de solo impermeável pode estar próxima da superfície, ou a dezenas de metros de profundidade. Segundo a posição da mesma podem ocorrer duas fases: a) de acumulação (ou saturação); b) de inundação, quando a água transborda a capacidade de armazenamento. Nesta segunda situação, são freqüentes as transfluências da água em nível da bacia ou extensos setores da paisagem.

A porção leste do banhado tem menor profundidade em relação à superfície, e apresenta camadas mais espessas de argila. A porção a oeste é mais profunda, sendo a camada de argila bem mais estreita. Esta porção oeste do banhado se caracteriza pelo atual padrão de circulação das águas, inclusive onde foi aberto um canal artificial, o que permite a navegação desde as comportas de escoamento do banhado para a lagoa Mirim, ao lado da sede da Estação Ecológica do Taim, até a lagoa Mangueira.

Os ambientes habitados por plantas palustres inundados permanentemente ou sazonalmente, apresentam adaptações tanto para resistir às inundações como para suportar os períodos de seca. As áreas de transição e os canais estão permanentemente inundados e apresentam pequena superfície de água livre. Aqui a circulação da água é muito lenta, quase imperceptível, ocorrendo basicamente nos canais de circulação.

Segundo Neiff (1997) as terras úmidas na América do Sul estão caracterizadas por uma dominância de formas atuais e antigas: paleocanais mais ou menos dissipados, antigas espirais e meandros. O escoamento no interior das áreas inundadas pode ser mais ou menos organizado (ainda que muito lento), as correntes de água se dividem em numerosas vias anastomosadas que tendem a se reagrupar águas abaixo. Nessas áreas úmidas há maior capacidade dinamogénica da paisagem e é possível apreciar diferenças espaciais em relação à posição da área de inundação e o escoamento.

A Figura 7.3.4.3, mostra imagens de três períodos mais secos e em que o nível da água também esteve mais baixo: 25/11/75 do satélite Landsat MSS, 09/05/95 e 04/03/97 do satélite

Landsat TM, quando o nível do banhado estava em 2,75; 2,04 e 1,86 metros, respectivamente. Estes níveis estão no entorno e/ou abaixo da média, que é de 3,01 metros (média para a régua do arroio Veado, entre o período de janeiro de 1973 e janeiro de 2002).

Através da análise de imagens de períodos mais secos no banhado, observa-se melhor a estratificação das classes de cobertura vegetal, sendo possível estabelecer de forma mais adequada a sua relação com o relevo de fundo e o teor de umidade, Figura 7.3.4.3.

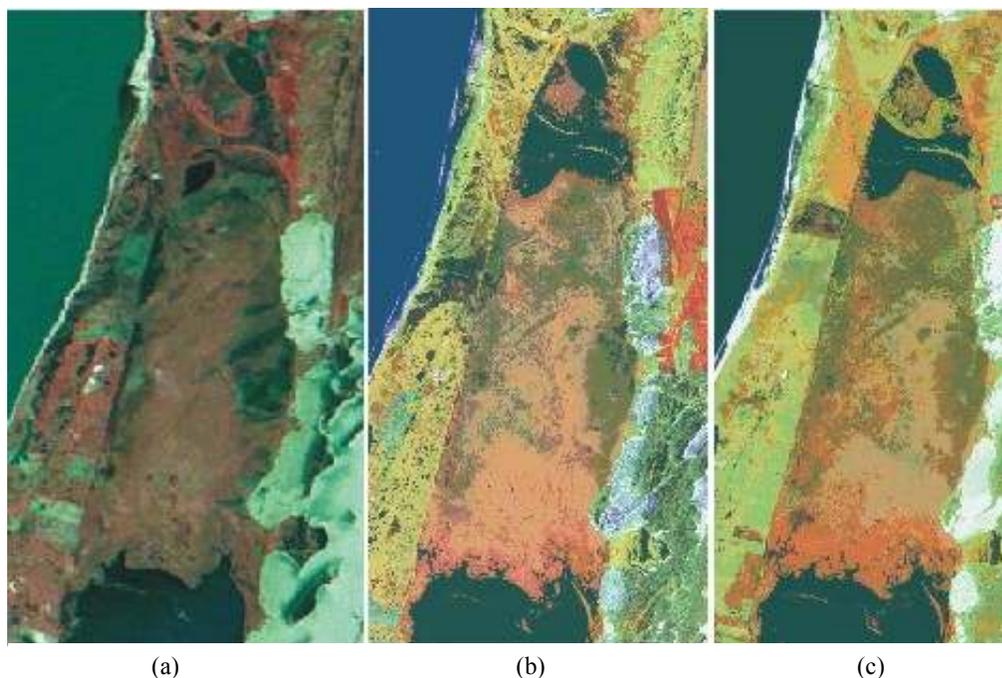


Figura 7.3.4.3 - Nível de água baixo no Banhado do Taim - RS, imagens de satélite (a) - 25/11/75 (sensor MSS); (b) - 09/05/95 e (c) - 04/03/97 (sensor TM), com respectivamente 2,89; 2,09 e 1,86 respectivamente de nível de água.

Tratando-se de solos, permanentemente inundados somente nas zonas marginais, sobretudo na porção norte, e em algumas áreas da porção central, a água não cobre de modo habitual a superfície do solo. Por isso, a ocorrência de precipitações abundantes e de distribuição bastante regular, contribui para que estas áreas, secas estacionalmente, não difiram do conjunto das zonas inundáveis de modo geral. A vegetação natural mostra estas diferenças e as indica claramente, mas, não de modo como ocorreria no caso de prolongadas secas, nas quais o lençol freático desce muito.

Em estudo sobre a hidrodinâmica do Banhado do Taim, Villanueva (1997) e Paz (2003) utilizaram para suas análises a variação das curvas de nível do banhado apresentada na

Figura 7.3.4.4-(a). Paz (2003), a partir desses dados, gerou um modelo hidrodinâmico para o Banhado do Taim, para avaliar os efeitos sobre a distribuição espacial da vegetação no banhado. A Figura 7.3.4.4-(b) indica segundo o modelo gerado, as áreas consideradas secas (em cinza), para os três níveis de água característicos do Banhado do Taim: a) nível baixo, cota 2,40m; b) nível médio cota 2,90m; c) nível alto, cota 3,40m.

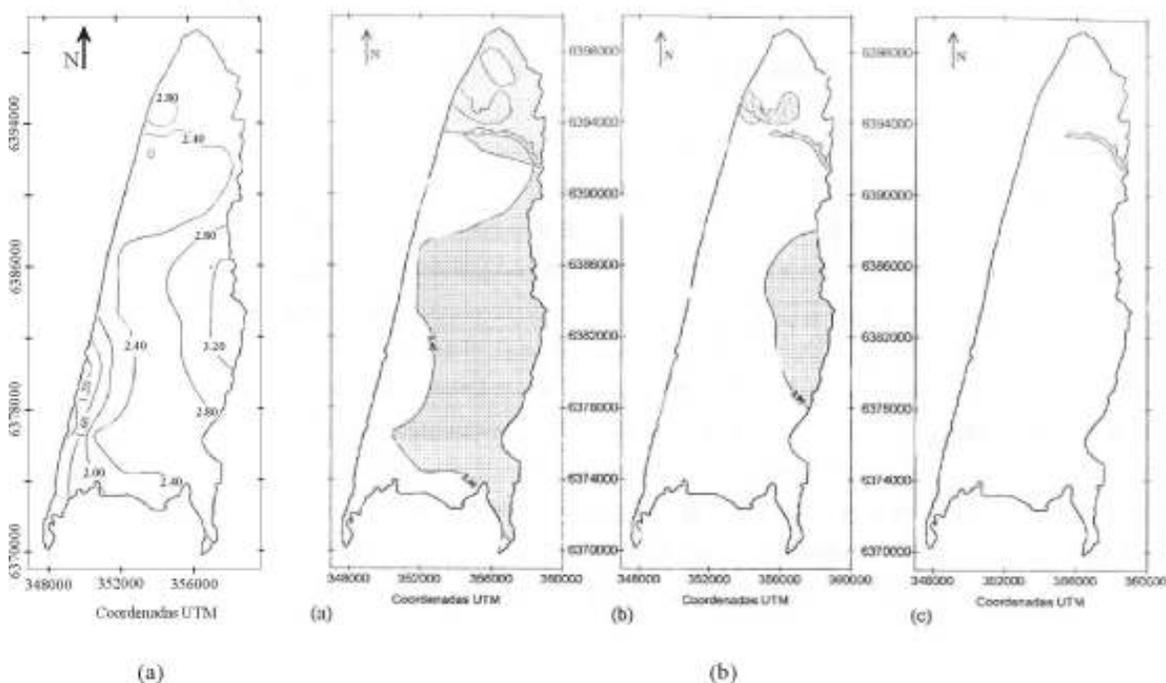


Figura 7.3.4.4 – Banhado do Taim - RS: (a) Mapa de curvas de nível, e (b) Mapa das zonas não inundadas e com vegetação aparente, segundo Paz (2003).

Quando se analisa um ambiente tão suscetível às oscilações e mudanças como o Banhado do Taim, uma série temporal mais longa de imagens de satélite, do que o utilizado por Paz (2003), se mostra de extrema importância para avaliar as perturbações causadas por oscilações do nível da água, e as transformações decorrentes dessas oscilações.

Esta avaliação se torna importante, quando se compara o mapa da Figura 7.3.4.4-(b) e as imagens de três períodos de cheias extremas, Figura 7.3.4.5. Nos mapas de zonas não inundadas geradas através do modelo de Paz (2003), observa-se que já a partir do nível da água em 3,40 metros somente um esporão arenoso não é inundado. Mas nas Figuras 7.3.4.5-(a), (b) e (c), onde são apresentadas as imagens de 29/04/79 do satélite Landsat MSS, 14/08/84 e 17/10/03 do satélite Landsat TM, quando o nível do banhado estava em 4,49; 4,40

e 4,40 metros, portanto bem acima da média que está entorno de 3,01 metros, extensas áreas de macrófitas estão emersas.

Na região do extremo sul do banhado na zona de contato com a lagoa Mangueira, destacado com uma seta, que a cobertura de macrófitas se deslocou mais para o norte. Esse deslocamento se dá em função da elevação do nível da lagoa Mangueira, em períodos de cheia, e do escoamento de suas águas através do banhado para a lagoa Mirim. Esta ação é reforçada pela ação dos ventos que são predominantes em SE/W na maior parte do ano. Esta é a direção atual de escoamento segundo Buchmann (1997) e Gomes *et al.* (1987). Provavelmente a movimentação nesta região ocorra, e seja facilitada, tendo em vista que a área apresenta características semelhantes à de solos flutuantes como o mostrado no esquema da Figura 7.3.4.1.

Uma outra feição importante, que caracteriza esse deslocamento, é a ocorrência de um padrão de acumulação das macrófitas no entorno de um ponto mais central do banhado, destacadas com um círculo (Figuras 7.3.4.5-(a) e (c)). Mesmo nas grandes cheias, este não é coberto pelas águas. Esse ponto coincide com um dos picos mais altos do fundo de argila, que como comentado anteriormente, seriam pontos mais secos dentro do banhado (DNOS, 1968).

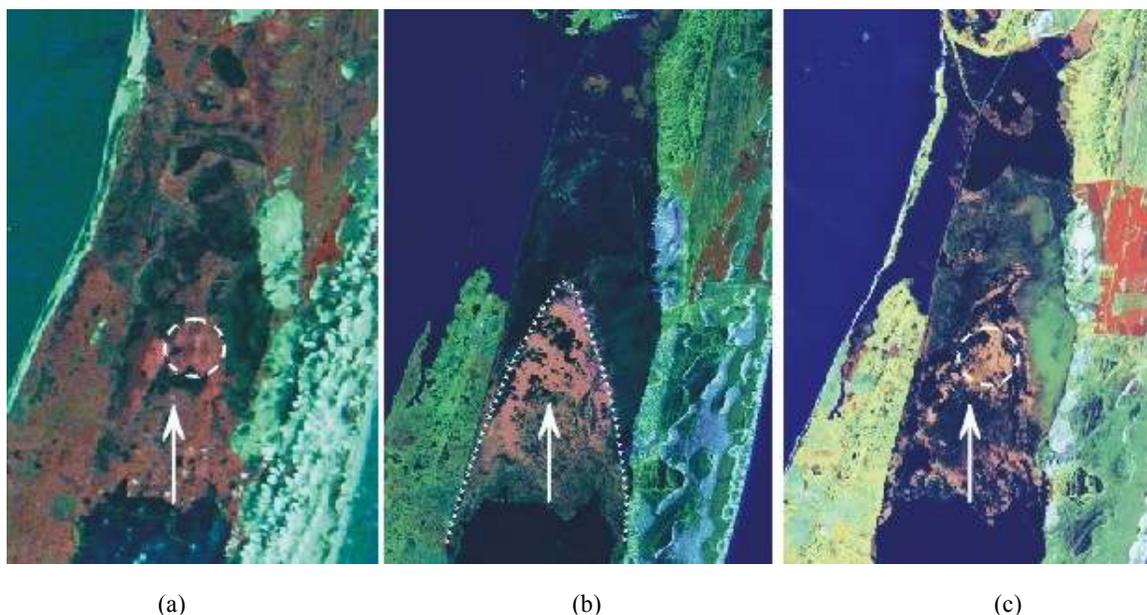


Figura 7.3.4.5 – Nível de água alto no Banhado do Taim - RS, as setas indicam pontos de acumulação de macrófitas aquáticas, imagens de satélite: (a) 24/09/79 (sensor MSS); (b) 14/08/84; (c) 17/10/03 (sensor TM), com respectivamente 4,49; 4,40 e 4,40 respectivamente de nível de água

Essa região dos picos funcionaria como um elemento redutor da velocidade de escoamento das águas em direção a lagoa Mirim. Segundo DNOS (1968), a partir do transecto C e indo até a região de contato com a lagoa Mangueira, os depósitos de argila vão diminuindo até sua ausência completa. As macrófitas nesta região estão basicamente sobre solos flutuantes, o que faz com que a água da lagoa Mangueira ao escoar para a lagoa Mirim encontre somente próximo ao meio do banhado, uma barreira física de argila que dificultaria o escoamento. Essa redução da velocidade possibilitaria a formação da densidade de macrófitas apresentada nessa região. Este papel de redução da velocidade das águas da lagoa Mangueira, entretanto, é atribuído apenas à densidade da vegetação no estudo de Paz (2003).

Em alguns períodos, a elevação do nível das águas é maior na lagoa Mirim, como aparece na imagem de 14/08/1984 (Figura 7.3.4.5-(b)) fazendo com que as água da lagoa e do banhado se comuniquem. Não é possível ver parte da “barreira arenosa” que separa a lagoa Mirim do Banhado do Taim, que está totalmente inundada.

Uma terceira feição, associada aos períodos de cheia mencionados, é a formação de uma espécie de “cone” de macrófitas (Figura 7.3.4.5-(b)) que se evidencia sobre o restante da área inundada e totalmente submersa do banhado. Esta forma de cone aparece nas três

imagens de 14/08/84, 24/09/79 e 17/10/03, e está destacada com uma linha pontilhada sobreposta a imagem.

Em algumas áreas, entretanto, somente com base nas informações de estrutura de fundo, não se consegue explicar alguns padrões que aparecem repetitivamente nas imagens de satélite (Figura 7.3.3.5). Uma destas áreas corresponde aos pontos B75 e C75, e se repetem ao longo da série temporal de imagens analisadas (ver também as Figuras 7.3.2.2 e 7.2.2.3 de classificação, e 7.3.3.4 e 7.3.3.5 de classes de NDVI). Entretanto, na área dos pontos B75 e C75, de acordo com os perfis não ocorrem picos de argila (Figuras 7.3.2.2 e 7.2.2.3). Ao contrário, nestes pontos a camada de argila é profunda e com pequena espessura. Na área dos pontos A70, A45 e A25 (Figura 7.3.2.1) a camada de argila chega a ter até dois metros de espessura. Entretanto, estes pontos formam picos de argila menores, se comparados com os picos dos transectos B e C, que se encontram mais próximo da superfície. Estas áreas apresentam o mesmo padrão das áreas com níveis mais altos de argila, cobertura vegetal mais densa, maiores valores de NDVI e normalmente se sobrepõem à lâmina de água, quando da elevação do nível no banhado.

Assim, a análise de 21 imagens de satélite Landsat MSS, Landsat TM e Cbers CCD, no período compreendido entre 1973 e 2005, e de seus produtos derivados: de imagens de área de lâmina de água aparente, imagens de classes de macrófitas aquáticas, imagens de classes de NDVI, permitiu alguns padrões na estrutura das paisagens no Banhado do Taim.

Os produtos apresentados neste estudo mostraram uma recorrência da estrutura dos padrões de distribuição das macrófitas no Banhado do Taim. Esta recorrência de padrões de distribuição das macrófitas se manifesta mesmo depois de prolongados períodos secos ou de pulsos de inundação. O tempo de permanência dos pulsos de inundação ou dos períodos de seca, mesmo sendo prolongado, o que poderia trazer grandes modificações ao padrão espacial desta distribuição das macrófitas, também não altera os padrões de distribuição.

O que acontece, entretanto, depois do término dos pulsos de inundação ou períodos de seca, é que as estruturas que definem a paisagem (padrão de distribuição espacial das macrófitas) no banhado retornam ao padrão típico da distribuição das macrófitas anteriormente existente.

7.5 Conclusões

Nas áreas em que a camada de argila se encontra mais espessa e mais próxima da superfície, existe menor ocorrência de lâmina de água aparente, por outro lado as áreas onde estas espessuras são menores e em maiores profundidades, combinadas com maiores espessuras da camada de matéria orgânica, estão mais sujeitas influência da oscilação do nível da água.

A Análise de Séries Temporais (TSA), com base em 21 imagens de NDVI, se mostrou bastante adequada para caracterizar os padrões da variação temporal de NDVI da cobertura de macrófitas, na janela do DNOS. A análise destas PC's, permitiu também estabelecer relações entre os padrões de variação das áreas de lâmina de água aparente, das classes de cobertura de macrófitas, das classes de NDVI e das variações da estrutura de fundo.

Há uma série de formas associadas, locais de acumulação e padrões de distribuição das macrófitas aquáticas que estão relacionadas à oscilação do nível da água e as estruturas da estrutura de fundo do Banhado do Taim.

Existe uma recorrência da estrutura dos padrões de distribuição das macrófitas no Banhado do Taim. Esta recorrência de padrões de distribuição das macrófitas se manifesta mesmo depois de prolongados períodos secos ou de pulsos de inundação. O tempo de permanência dos pulsos de inundação ou dos períodos de seca, mesmo sendo prolongado, o que poderia trazer grandes modificações ao padrão espacial desta distribuição das macrófitas, também não altera os padrões de distribuição.

7.6 Referências bibliográficas

- ARMSTRONG, W.; WRIGHT, E.J.; LYTHER, S.; GAYNARD, T.J. (1985) Plant zonation and the effects of the spring-neap tidal cycle on soil aeration in a humber salt marsh. *J.Ecol.*, v.73, p.323-340
- BLEDSON, B.P.; SHEAR, T.H. (2000) Vegetation along hydrologic and edaphic gradients in a North Carolina coastal plain creek bottom and implications for restoration. *Wetlands*, v.20, p.126-147.
- DAVID, P.G. (1996) Changes in plant communities relative to hydrologic conditions in the Florida Everglades. *Wetlands*. vol.16, n^o1, p.15-23.
- DELANEY, P.J.V. (1965) Fisiologia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Escola de Geologia, UFRGS, Porto Alegre, (publicação especial n^o 6).
- DILLON, W.R.; GOLDSTEIN, M. (1984) *Multivariate analysis – Methods and applications*. New York: John Wiley & Sons, 587p.
- DNOS (DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO) (1969). Estudo edafológico complementar da viabilidade técnica econômica de transformação em irrigação da região do Taim (RS) – Tomo II Zona Sul, 100p.
- GOMES, A.; TRICART, J.L.F.; TRAUTMANN J. (1987) Estudo ecodinâmico da Estação Ecológica do Taim e seus arredores. Porto Alegre. Ed. da Universidade, UFRGS, 84p.
- MAHALL, B.E.; RODERIC, B.P. (1976) The ecotone between *Spartina foliosa* Trin. And *Salicornia virginica* L. in salt marshes of northern São Francisco Bay. *J. Ecology*, v. 64, p.811-819.
- MENDELSSONHN, I.A.; McKEE, K.L.; PATRICK, W.H.J. (1981) Oxygen deficiency in *spartina alterniflora* roots: metabolic adaptation to anoxia. *Science*, v.214, p.439-441.
- MORZARIA-LUNA, H.; CALLAWAY, J.C.; SULLIVAN, G.; ZEDLER, J.B. (2004) Relationship between topographic heterogeneity and vegetation patterns in a Californian salt marsh. *Journal of Vegetation Science*, Opulus Press Uppsala, 14, p.523-530.
- NEIFF, J.J. (1990) Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*, 15(6), p.424-441.
- NEIFF, J.J. (1997) El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. En: *Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos* Pp. 1-49, Malvarez, A.I. y P. Kandus (eds.), 1997. ORCYT-MAB (UNESCO), Montevideo, Uruguay, 106 p.
- NEIFF, J.J.; IRONDO, M.H.; CARGNAN, R. (1994) Large tropical South American wetlands: an overview. pp.156-165. In: LINK, G.L.; NAVAN, R.J. *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*. Proceedings book, Univ. of Washington.
- PAZ, A.R. (2003) Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do Banhado do Taim. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 134p.

PAZ, A.R.; CAMAÑO, E.B.; VILLANUEVA, A. (2003) Hidrodinâmica do Sistema do Taim. In: Relatório 2002/2003 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, p.4-13.

SANDERSON, E.W.; USTIN, S.L.; FOIN, T.C. (2000) The influence of tidal channels on the distribution of salt marsh plant species in Petaluma Marsh, CA, USA. *Plant Ecol.*, v.146, p.29-41.

SCHLESINGER, W.H. (1978) On the relative dominance of shrubs in Okefenokee Swamp. *American Naturalist*, v.21, p.112-124.

SNOW, A. A.; VINCE, S.W. (1984) Plant zonation in Alaskan salt marsh: 2 an experiment study of the role of edaphic conditions. *J. Ecology*, v.72, p.669-684.

TSUYUZAKI, S.; HARAGUCHI, A.; KANDA, F. (2004) Effects of scale-dependent factors on herbaceous vegetation patterns in a wetland, northern Japan. *Ecological Research*, V.19, Issue3, May 2004, pp.349. <http://www.blackwell-synergy.com/servlet/useragent>

TUCCI, C.E.M. org. (1996) Comportamento hidrológico do Taim. IPH/UFRGS e IBAMA. Porto Alegre. v.1 e 2.

VILLANUEVA, A.O.N. (1997) Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125p.

VILLANUEVA, A. O.; TUCCI, C.E.M. (2001) Hidrodinâmica e hidroperíodo do sistema hidrológico do Taim. Relatório 2000/2001 - Sistema Hidrológico do Taim PELD – SITE 7. Coord. MOTTA MARQUES, D.M.L. IPH/UFRGS, FURG e FZB. Porto Alegre, 174p.

VIVIAN-SMITH, G. (1987) Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities. *J. Ecol.*, v.85, p.71-82.

ZEDLER, J.B.; CALLAWAY, J.C.; DESMOND, J.S.; VIVAN, S.G.; WILLIAMS G.D.; SULLIVAN, G.; BREWSTER, A.E.; BRADSHAW, B.K. (1999) Californian salt-marsh vegetation: an improved model of spatial pattern. *Ecosystems*, v.2, p.19-35.

8 DINÂMICA DA VEGETAÇÃO NO BANHADO DO TAIM - RS

Tendo em vista o objetivo principal desta Tese de avaliar a dinâmica da vegetação no Banhado do Taim, a partir da análise e mapeamento da distribuição espacial e temporal dos padrões da vegetação de macrófitas aquáticas por meio de uma série temporal de imagens de satélite e de técnicas de geoprocessamento. Os resultados apresentados neste estudo permitem fazer as seguintes conclusões:

Em relação aos “Efeitos das flutuações do nível da água sobre a dinâmica do Banhado do Taim”, pode-se avaliar que a variação da superfície de áreas de lâmina de água aparente, obtidas por classificação digital, foi correlacionada positivamente com os dados de precipitação e medidas de altura da lâmina de água. Estas correlações indicaram que se necessita um tempo de permanência relativamente longo em determinados níveis, para que haja resposta do nível da água no Banhado do Taim. A oscilação do nível da água, ou seja, o hidropéριο é o que determina suas características. As áreas mais suscetíveis à ocorrência de lâmina de água aparente estão praticamente restrita às regiões das lagoas Nicola e Jacaré e a áreas inundáveis do seu entorno, à área próxima ao canal da Sarita e à zona de contato com a lagoa Mangueira, só ocorrendo em outras áreas quando dos pulsos de inundação. A região menos suscetível está localizada na região centro-sul do Banhado do Taim.

A análise dos “Padrões da cobertura de macrófitas aquáticas no Banhado do Taim”, por meio de classificação digital das imagens orbitais, permitiu com maior eficiência diferenciar as áreas de ocorrência da classe *Z.bonariensis* das outras classes de macrófita aquática no Banhado do Taim, esta é, aliás, a espécie de macrófita predominante área total no Banhado do Taim, ocupando 10403hectares ou 58.17% de sua superfície total. Já a diferença entre as espécies de macrófitas *S.californicus*, *S.giganteus* e flutuantes, no processo de classificação,

foi mascarada pela influência da oscilação da lâmina de água na maior parte das datas de imagens analisadas.

Na análise dos “Padrões do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada no Banhado do Taim”, verificou-se que as médias de NDVI das macrófitas aquáticas, obtidas para toda a área do banhado e para as amostras das classes de macrófitas aquáticas *Z.bonariensis*, *S.californicus* e as espécies flutuantes, mostraram um comportamento sazonal, entretanto, esse comportamento médio, pode ser fortemente mascarado pela oscilação do nível das águas no banhado.

A análise dos padrões da cobertura de macrófitas aquáticas e da variação de NDVI, por meio de uma série temporal de imagens geradas por classificação digital, evidenciou a existência de um padrão recorrente nas estruturas de distribuição espacial e temporal das classes das macrófitas aquáticas e das classes de NDVI no Banhado Taim.

Para analisar os “Efeitos da oscilação do nível da água na definição de padrões espaciais das paisagens no Banhado do Taim”, as imagens de textura de índices de diversidade mostraram-se promissoras para relacionar alguns processos ecológicos como, por exemplo, os distúrbios causados pelos pulsos de inundação ou por longos períodos de águas baixas, e as alterações dos padrões observados no banhado. Demonstraram potencial na análise da composição das paisagens, permitindo discriminar, as paisagens em condições ambientais estáveis, daquelas submetidas a diferentes graus de distúrbios ambientais. Assim mudanças significativas na paisagem através do tempo e espaço podem ser representadas através de textura no Banhado do Taim.

Nas áreas em que a camada de argila se encontra mais espessa e mais próxima da superfície, existe menor ocorrência de lâmina de água aparente, por outro lado as áreas onde estas espessuras são menores e em maiores profundidades, combinadas com maiores espessuras da camada de matéria orgânica, estão mais sujeitas influência da oscilação do nível da água. Há uma série de formas associadas, locais de acumulação e padrões de distribuição das macrófitas aquáticas que estão relacionadas à oscilação do nível da água e as estruturas de fundo do Banhado do Taim.

As “Relações entre a estrutura de fundo e os padrões da cobertura de macrófitas aquáticas, no Banhado do Taim”, mostraram que nas áreas em que a camada de argila se encontra mais espessa e mais próxima da superfície, existe menor ocorrência de lâmina de água aparente, por outro lado as áreas onde estas espessuras são menores e em maiores profundidades, combinadas com maiores espessuras da camada de matéria orgânica, estão mais sujeitas influência da oscilação do nível da água. E também que há uma série de formas associadas, locais de acumulação e padrões de distribuição das macrófitas aquáticas que estão relacionadas à oscilação do nível da água e as estruturas de fundo do Banhado do Taim.

Assim as análises elaboradas neste estudo nos permitiram estabelecer por meio da análise das imagens orbitais, do período compreendido entre 1973 e 2005, que há uma recorrência das estruturas básicas dos padrões de distribuição das macrófitas no Banhado do Taim. Esta recorrência de padrões de distribuição das macrófitas se manifesta mesmo depois de prolongados períodos secos ou de pulsos de inundação. O tempo de permanência dos pulsos de inundação ou dos períodos de seca, mesmo sendo prolongado, o que poderia trazer grandes modificações ao padrão espacial de distribuição das macrófitas, também não altera os padrões de distribuição. O que acontece, entretanto, depois do término dessas fases, é que as estruturas que definem a paisagem (padrão de distribuição espacial das macrófitas) no banhado, retornam ao padrão típico da distribuição das macrófitas anteriormente existente.