

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

CARLOS VINICIUS DA CRUZ WEISS

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO  
DAS CONECTIVIDADES DAS LAGOAS DO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE  
DO SUL, BRASIL EM PERÍODOS EXTREMOS DE ESTIAGEM E DE CHEIA

IMBÉ

2011

Aos examinadores,

Este trabalho está formatado segundo as normas de GRANDI, Cleci *et al.* **Orientações para elaboração e apresentação de trabalhos e relatórios acadêmicos.** Porto Alegre: UERGS, 2010. 95 p. O qual segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

W429S Weiss, Carlos Vinicius da Cruz Weiss

Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo das conectividades das lagoas do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil em períodos extremos de estiagem e cheia / Carlos Vinicius da Cruz Weiss.

- - 2011.

51 f.

Orientador: Heinrich Hasenack.

Coorientador: Fernando Gertum Becker.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Ciências Biológicas, ênfase em gestão ambiental marinha e costeira, Cidreira/Imbé, BR – RS, 2011.

1. Sensoriamento remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Conectividade estrutural. 4. Lagoas costeiras. 5. Litoral norte do Rio Grande do Sul. I. Hasenack, Heinrich, orient. II. Becker, Fernando Gertum, coorient. III. Título

Adaptado do Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CARLOS VINICIUS DA CRUZ WEISS

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO  
DAS CONECTIVIDADES DAS LAGOAS DO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE  
DO SUL, BRASIL EM PERÍODOS EXTREMOS DE ESTIAGEM E DE CHEIA

Monografia apresentada, como pré-requisito para conclusão de curso de graduação em Ciências Biológicas com ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientador: Prof. MSc. Heinrich Hasenack

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Gertum Becker

IMBÉ

2011

CARLOS VINICIUS DA CRUZ WEISS

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO  
DAS CONECTIVIDADES DAS LAGOAS DO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE  
DO SUL, BRASIL EM PERÍODOS EXTREMOS DE ESTIAGEM E DE CHEIA

Trabalho de Conclusão de Curso  
aprovado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Biológicas, com ênfase em  
Gestão Ambiental Marinha e Costeira na  
Universidade Estadual do Rio Grande do  
Sul e Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul.

Aprovado em 07/07/2011

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Catarina da Silva Pedrozo/  
UFRGS

---

Prof. Dr. Nelson Augusto Flores Machado/  
UFRGS

Coordenador da atividade Trabalho de  
conclusão II - CBM

---

Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

Dedico aos meus pais Carlos Alberto e Cleuza.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores Heinrich Hasenack e Fernando Gertum Becker pela compreensão, paciência e orientação neste trabalho, a professora Catarina Pedrozo pelo apoio para iniciar o mesmo, à Raquel Cardoso pela ajuda no georreferenciamento das imagens. Aos bibliotecários do Ceclimar/UFRGS, Angelo e Stella, pelo apoio e ajuda nas formatações, a banca examinadora deste trabalho e a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Tudo tem seu momento de acontecer e apressar-se não vale de nada.”

Rodrigo Piccolo

## RESUMO

A conectividade entre ambientes é um ponto chave no entendimento de vários processos ecológicos, porém pouco estudada em ambientes aquáticos. No presente estudo foram analisadas as conectividades estruturais entre as 40 lagoas do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, pertencentes ao sistema do rio Tramandaí, relacionando estas com o índice pluviométrico da região. Para tal abordagem foi realizado o teste de três metodologias. Com base em dados de pluviosidade da estação hidrometeorológica de Imbé - RS foram identificados dois períodos no tempo, um de estiagem e outro de cheia, respectivamente agosto de 1988 e agosto de 2009. Para cada período foi selecionada uma imagem Landsat TM 5 e realizadas as análises de processamento de imagens. Três métodos foram testados nesta pesquisa para gerar como resultado uma imagem com duas classes: água e não-água: classificação não supervisionada; NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) da mesma imagem; e a utilização da banda 5. O produto da reclassificação segundo os três métodos e para cada uma das datas foi sobreposto ao mapa das lagoas para verificação de existência de conectividade entre elas. O melhor resultado foi obtido com a classificação não supervisionada, por permitir diferenciar com mais clareza a presença de água dos outros atributos, sugerindo-se esse método para o monitoramento da extensão do espelho d'água na região.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto. Geoprocessamento. Conectividade estrutural. Lagoas costeiras. Litoral norte do Rio Grande do Sul.

## **ABSTRACT**

Connectivity between habitats is a key point in understanding many ecological processes, but little studied of this kind has been done for aquatic environments. In this study we analyzed the structural connectivity among the 40 lakes of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, belonging to the Tramandaí-river-system relating these to rainy and dry periods in the region. For such an approach t three methods were tested. Based on rainfall data of the hydrometeorological station Imbé-RS two time periods were identified, one rainy and another dry, respectively in August 1988 and August 2009. For each period we selected a Landsat TM 5 and performed the image processing analysis. Three methods were tested in this research aiming to generate, by each method, an image with two classes: water, not-water. The methods used were: unsupervised classification, reclassification of NDVI (Vegetation Index Normalized Difference) and reclassification of band 5. The product according to the reclassification of the three methods and for each of the dates was superimposed on the coastal lakes map to check for existence of connectivity between them. The best result was obtained with the unsupervised classification, since it allows to differentiate more clearly the presence or absence of water from the other attributes, suggesting this method for monitoring the extent of water surface in the region.

**Key-words:** Remote sensing. Geographical Information Systems. Structural Connectivity. Coastal lakes. Coastal plain of States Rio Grande do Sul, Brazil.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área de estudo, situando as 40 lagoas analisadas com seus respectivos nomes.....	17
Figura 2 – Imagem na composição R5G4B3, da imagem de satélite Landsat TM 5, do ano de 2009 (ano de cheia).....	25
Figura 3 – Imagem na composição R5G4B3, da imagem de satélite Landsat TM 5, do ano de 1988 (ano de estiagem).....	26
Figura 4 – Banda 5 da imagem de satélite Landsat TM 5, compreendendo a área de estudo, ano de 2009 (cheia).....	27
Figura 5 – Banda 5 da imagem de satélite Landsat TM 5, compreendendo a área de estudo, ano de 1988 (estiagem).....	28
Figura 6 – Composição NDVI da imagem de satélite do ano de cheia. ....	29
Figura 7 – Composição NDVI da imagem de satélite do ano de estiagem .....	30
Figura 8 – Classificação cruzada ( <i>cross-classification</i> ), entre as imagens de composição RGB, dos anos de 2009 e 1988. Teste do método de classificação não supervisionada .....	31
Figura 9 – Classificação cruzada ( <i>cross-classification</i> ), entre a banda 5 das imagens dos anos de 2009 e 1988 .....	32
Figura 10 – Classificação cruzada ( <i>cross-classification</i> ), entre as composições NDVI dos anos de 2009 e 1988 .....	33
Figura 11 – Análise de grupos da composição NDVI do ano de 1988 (estiagem) ....	35
Figura 12 – Análise de grupos da composição NDVI do ano de 2009 (cheia) .....	36
Figura 13 – Análise de grupos da banda 5 do ano de 1988 (estiagem).....	38
Figura 14 – Análise de grupos da banda 5 do ano de 2009 (cheia) .....	39
Figura 15 – Análise da composição RGB, do ano de 1988 (estiagem).....	40
Figura 16 – Análise da composição RGB, do ano de 2009 (cheia).....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	16
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45
<b>APÊNDICE</b> .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

A conectividade entre ambientes é essencial para o entendimento de vários processos ecológicos, porém foi pouco estudada em ambientes aquáticos. Neste trabalho foram analisadas estas conectividades estruturais, perante o uso do sensoriamento remoto aplicado e do geoprocessamento de imagens de satélite. Foram selecionadas imagens Landsat TM da área de estudo de acordo com os dados de pluviosidade obtidos na estação hidrometeorológica de Imbé – RS, para dois períodos no tempo, um de estiagem e outro de cheia.

Nestas imagens foram feitas análises digitais com sistema de informações geográficas (SIG) e processamento de imagens, comparando e mensurando as conectividades entre as lagoas e as áreas de inundação das duas imagens. Sendo estas, uma para o ano mais chuvoso e outra para o ano mais seco, de acordo com os dados de pluviosidade, a disponibilidade e qualidade das imagens no banco de dados consultado.

A área de estudo é localizada no litoral norte do Rio Grande do Sul – Brasil, estendendo sua área, pela costa, desde o município de Torres, onde se encontra a lagoa de Itapeva, no limite norte, até o município de Pinhal, onde localiza-se a lagoa de Cerquinha, cuja está mais no extremo sul da área de interesse, sendo o limite.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a conectividade estrutural entre as 40 lagoas da planície costeira do Rio Grande do Sul pertencentes ao sistema do rio Tramandaí, relacionando a mudança no grau de conectividade a dados pluviométricos da região, para constatar quais as lagoas que se encontram conectadas, e de que forma períodos extremos de estiagem e de cheia afetam o grau de conexão entre elas.

Tem-se como objetivo específico, fazer o teste de três metodologias na análise digital de imagens de satélite de áreas com corpos de água, através do programa Idrisi Andes© 15.0. Sendo estas metodologias a utilização da composição RGB (Bandas 5,4 e 3, respectivamente) na classificação não-supervisionada de imagens, utilização da banda 5 na reclassificação de imagens, e a utilização do NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada) também com a reclassificação de imagens.

Devido à falta de trabalhos publicados e de pesquisas científicas que abordam corpos d'água em função da sua conectividade nas lagoas do Sistema Tramandaí, este tende a trazer novas informações de âmbito ecológico das lagoas do litoral norte do Rio Grande do Sul. Além de testar a eficácia das metodologias empregadas nas análises digitais das imagens de satélite utilizadas, disponíveis gratuitamente no banco de dados do INPE<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) Site: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Planícies de inundação são caracterizadas como áreas inundadas durante períodos de cheias, sendo marcadas pela sua alta complexidade estrutural, pelos diferentes estágios de sucessão, e pela diferença nos gradientes de fatores ecológicos (por exemplo, saturação de oxigênio, salinidade, temperatura, período de alagamento, corrente) (AMOROS; BORNETTE, 2002; POOLE, 2002; WARD *et al.*, 2002). Refletem, assim, um mosaico paisagístico e funcional decorrentes das modificações sazonais às quais o sistema é submetido periodicamente (JUNK *et al.*, 1989). A inundação está diretamente associada ao regime hidrológico, a qual pode provocar a expansão, contração e a fragmentação dos sistemas aquáticos, além de interferir no grau de conectividade entre as partes deste sistema (TOCKNER *et al.*, 1999).

Em períodos de inundação os sistemas aquáticos expandem suas áreas, estabelecendo ligações entre diferentes tipos de compartimentos do sistema. Essa conectividade pode ocorrer entre rio e planície, rio e lagoa, lagoa e planície, lagoa e lagoa, e entre os próprios compartimentos da planície, ou ainda entre uma combinação de todos estes ambientes. Nesses ecossistemas aquáticos continentais, a transferência de matéria e nutrientes, o deslocamento de organismos entre os compartimentos, e as características de um habitat (físicas e químicas), dependem dos padrões de conectividade hidrológica em varias escalas temporais e espaciais (por exemplo, diária, mensal e anual, dentro ou entre bacias hidrográficas) (HEILER *et al.*, 1995; NEIFF, 1996; PRINGLE, 2003; SOARES *et al.*, 2010). Segundo Wantzen *et al.* (2008), os sistemas aquáticos litorâneos rasos e de topografia sem relevo, apresentam áreas alagadas maiores.

A conectividade hidrológica é definida como a transferência, mediada pela água, de matéria e energia (incluindo organismos) dentro ou entre os elementos do ciclo hidrológico (HEILER *et al.*, 1995; PRINGLE, 2003). Seu estudo teve início principalmente após o desenvolvimento da teoria de metapopulação e da ecologia de paisagem (TAYLOR *et al.*, 1993; TISCHENDORF; FAHRIG, 2001). A intensidade e a duração da conectividade hidrológica podem afetar fortemente as características químicas, físicas e biológicas do ambiente aquático (SOARES *et al.*, 2010). Conforme Cruz *et al.* (2009), a utilização do caminho preferencial do escoamento da

água pode ser uma ferramenta eficaz na avaliação da conectividade entre compartimentos dentro da planície de inundação.

A conectividade entre manchas de hábitat tem sido vista como um ponto chave para o entendimento de muitos processos ecológicos como fluxo gênico, dispersão, invasão de espécies exóticas (MEDINA; VIEIRA, 2007). Uma mancha de hábitat estruturalmente conectada pode não estar conectada funcionalmente e, eventualmente, manchas de hábitat não-contínuas podem estar funcionalmente conectadas, dependendo da espécie em questão (TAYLOR *et al.*, 2006; TISCHENDORF; FAHRIG, 2000). Nas lagoas a conectividade pode ser determinante para as comunidades, pois afeta a probabilidade de recolonização (SCHEFFER; GEEST, 2006) e do efeito resgate (populações locais mantidas por constante imigração de indivíduos).

Em todo o mundo, os ecossistemas costeiros estão fortemente ameaçados pela urbanização e pela contaminação por esgotos domésticos e industriais (GELWICK *et al.*, 2001; LORENZ; SERAFY, 2006). No Brasil, a história do povoamento e desenvolvimento urbano costeiro nos últimos 200 anos tem contribuído para a redução acentuada na superfície dos corpos d'água (por exemplo, lagoas, lagos e pântanos), nas planícies das restingas (vegetação arbustiva em solo arenoso) e arredores da Mata Atlântica (DEAN, 1995). Essas mudanças nos padrões de conectividade podem ser problemáticas para a biota de água doce, pois o estabelecimento e ocorrência de determinadas espécies na comunidade depende do ciclo hidrológico (CHASE, 2007).

Na literatura, quando se trata de conectividade em ambientes aquáticos, geralmente se associa a ligação entre rio e lagoa adjacente, desprezando sua ligação com outras lagoas e a bacia contribuinte, o que pode subestimar os processos de transporte, principalmente de organismos, por desconsiderar outras formas de conectividade (CRUZ *et al.*, 2009). Outro equívoco na avaliação da conectividade em ambientes aquáticos é considerar que pontos mais próximos possuem por padrão uma maior conectividade ou utilizar distâncias lineares para fazer tal inferência, pois sabe-se que o escoamento dificilmente segue a um curso linear e por isso mesmo locais geograficamente próximos podem estabelecer conexão a muitos quilômetros de distância ou até mesmo não ter nenhum tipo de ligação devido a barreiras que o impeçam (CRUZ *et al.*, 2009).

A conectividade é um fator importante dentro da ecologia de paisagem, porém ainda possui um conceito difuso e ambíguo (KINDLMANN; BUREL, 2008). Na ecologia de paisagem, os estudos sobre a conectividade em ambientes aquáticos tendem a mensurar conectividade estrutural entre estes, classificando-os em conectados ou isolados.

A grande variedade de conectividade hidrológica nos sistemas fluviais sul-americanos e da sazonalidade nos regimes de inundação, fez com que surgisse o conceito de pulso de inundação (JUNK *et al.*, 1989; NEIFF, 1990). O pulso de inundação nos sistemas aquáticos é regulado através da sazonalidade pelo regime de chuvas (SOARES *et al.*, 2010). Como consta em IPCC (2001), em uma escala global, os efeitos das alterações climáticas interferem fortemente no regime hidrológico, devido a períodos de seca prolongada e ao aumento da probabilidade de eventos chuvas torrenciais.

O padrão temporal de pulsos de inundação de lagos, assim como nos rios pode ser multimodal (ou seja, muitas inundações por ano) ou monomodal. Estes padrões podem ser previsíveis (ocorrendo em um determinado momento, como por exemplo, chuvas previstas para aquela época) ou imprevisíveis (por exemplo, chuvas não previstas) (WANTZEN *et al.*, 2008).

Wantzen *et al.* (2008) reformularam os conceitos de pulso de inundação para lagos, afirmando que os padrões de pulso de inundação naturais variam entre os anos e mostram diferentes fases entre anos de estiagem e chuvosos. E que a morfologia da secção transversal da bacia e do regime hidrológico da mesma são decisivas para o padrão espaço-temporal da suposta conectividade (alagamento e secagem) entre os compartimentos do sistema.

O sensoriamento remoto possui técnicas que objetivam detectar áreas inundadas (SAKAMOTO *et al.*, 2007). Portanto, aplicações práticas de sensoriamento remoto orbital podem ser realizadas em corpos hídricos, pois estes apresentam componentes que justificam sua utilização, tanto pela sua facilidade em interagir com a energia eletromagnética, como pela sua importância estratégica (MARTINI *et al.*, 2006). Liu (2006) afirma que dentre as principais aplicações das imagens de satélite Landsat, esta o monitoramento de secas e inundações de corpos de água.

Para se obter informações sobre alvos da superfície terrestre através da análise de dados coletados por sensores orbitais, há duas abordagens das quais

podem ser utilizadas. Uma delas é a interpretação visual, onde se utilizam produtos analógicos, a outra é a análise digital, feita através de métodos computacionais. A escolha da abordagem depende da disponibilidade de equipamentos, e da finalidade a qual se deseja empregar a análise. A análise digital de imagens geralmente é utilizada para testar a eficiência de um determinado processo de classificação digital (MOREIRA, 1997).

### 3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1), compreendida entre as coordenadas geográficas de 29°37' a 30°30' de latitude Sul e 49°44' a 50°24' de longitude Oeste, situa-se no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Sua faixa costeira é de aproximadamente 115 km, e abrange uma área de aproximadamente 2700 km<sup>2</sup>. Está inserida no sistema do Rio Tramandaí, estendendo-se da Lagoa da Itapeva, ao norte, até a Lagoa da Cerquinha, no seu limite sul.

Possui uma seqüência de 40 lagoas paralelas à linha de costa, estas com diferentes graus de interconexão, embora existam algumas pequenas lagoas isoladas. Esta seqüência de lagoas esta ligada com o mar apenas através do estuário de Tramandaí, onde as lagunas de Tramandaí e Armazém, e as lagoas Custódias e Gentil sofrem processos de mistura de águas continentais com a do mar (SCHWARZBOLD, 1982).

A planície costeira do litoral norte do Rio Grande do Sul possui idade geológica recente. Sua formação iniciou no Holoceno com a deposição de sedimentos oriundos das transgressões e regressões marinhas que originaram barreiras isolando porções de água (SCHWARZBOLD; SCHÄFER, 1984). A planície costeira evoluiu, para leste, através do agrupamento lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo “laguna-barreira”, que foram gerados no decorrer de quatro ciclos de transgressão e regressão do mar, perfeitamente correlacionados com os últimos quatro eventos glaciais que caracterizam o final do Cenozóico (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

Cada um destes sistemas, que pressupõem uma área lagunar isolada do mar por uma barreira arenosa, registra o pico de uma transgressão ligada a uma subida do nível relativo do mar, seguida de um evento de regressão. O espaço situado entre a barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da barreira III, foi ocupado no pico transgressivo holocênico por grandes corpos d'água (VILLWOCK, 2009) que formam as lagoas e lagunas costeiras. Estas foram isoladas e moldadas pelos processos de erosão e deposição, juntamente com a ação eólica (SCHÄFER, 1992), apresentando um gradiente morfológico que vai desde as lagoas mais profundas isoladas e assimétricas, até as rasas, simétricas, de áreas de banhados (SCHWARZBOLD; SCHÄFER, 1984).



Figura 1 – Localização da área de estudo, situando as 40 lagoas analisadas com seus respectivos nomes. Mapa confeccionado através do programa ArcGIS© 9.2, a partir da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENCK; WEBER, 2010).

Fonte: Autor, 2010.

No litoral norte do Rio Grande do Sul a planície costeira é marcada por uma sucessão de cristas e pequenos terraços arenosos intercalados com depressões ocupadas por sistemas de lagoas e lagunas costeiras que servem de suporte para vários ecossistemas (VILLWOCK, 2009). Este complexo sistema de lagoas costeiras está conectado em rosário paralelo à linha da costa, desaguando no mar por meio do rio Tramandaí, formando o mais novo sistema lagunas da Planície Costeira (VILLWOCK, 1972).

O sistema Tramandaí foi dividido por Schwarzbald e Schäfer (1984) em dois subsistemas, um ao norte da desembocadura de Tramandaí, formado pelas lagoas de Itapeva, dos Quadros e o conjunto de lagoas de Osório. E o outro subsistema ao sul, a partir da laguna Tramandaí, passando por uma seqüência de lagoas em colar, até a lagoa da Porteira. O subsistema norte drena a água das escarpas da Serra Geral, o volume de água que escoar neste, impede que o efeito de marés se faça sentir, através do refluxo de água que atinge pequenos trechos do delta do Rio Tramandaí, não atingindo nenhuma lagoa a montante. Já o subsistema Sul apresenta o trecho a montante fechado durante alguns meses do ano e aberto nos demais, enquanto o trecho final encontra-se aberto, sofrendo os efeitos de marés.

A precipitação da região de Tramandaí, segundo Hasenack e Ferraro (1989), é uniforme durante o ano todo, podendo esta mostrar um pequeno aumento no inverno, quando a região recebe inclusões freqüentes dos Ciclones Migratórios Polares. As chuvas do tipo frontal são então prolongadas e menos intensas do que no verão quando predominam as precipitações do tipo convectivo, intensas e de curta duração.

No estado do Rio Grande do Sul deve-se levar em conta os efeitos de El Niño e La Niña nas variações no balanço hídrico, podendo esses fenômenos ser responsáveis por excessos e déficit hídricos na região. Durante períodos de El Niño ocorre precipitação pluvial acima da média em quase todos os meses do ano, com destaque para dois períodos. O principal é na primavera e início do verão, com um “repique” no final de outono e início do inverno do ano seguinte. Durante a La Niña, a precipitação pluvial fica abaixo da média na maioria dos meses do ano, com destaques para dois períodos que são mais ou menos coincidentes com os do El Niño (BERLATO; FONTANA, 2003).

Os principais balneários do Rio Grande do Sul concentram-se justamente no compartimento da planície costeira do litoral norte. A ocupação urbana desordenada

invade os campos de dunas, aterra banhados, ocupa praias lacustres e oceânicas, produz desmatamento e refloresta com plantas exóticas, provocando quase sempre o rompimento dos corredores ecológicos e conseqüentemente prejuízo a biodiversidade (VILLWOCK, 2009).

Com o aumento da população, principalmente nos meses de verão, a busca por recursos naturais aumentou. As lagoas são utilizadas como manancial para o abastecimento público, abastecimento de indústrias, irrigação de arroz, pesca, turismo e entre outras. Estes usos são importantes para as atividades socioeconômicas da região, mas comprometem a qualidade dos recursos hídricos causando prejuízos sociais e ambientais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 2000).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente foram analisados os dados de pluviosidade adquiridos na Estação Hidrometeorológica de Imbé – RS. Estes foram analisados desde 1980, pois é a partir deste ano que as imagens de satélite estão disponíveis no Catálogo do INPE, até o ano de 2009. Os dados foram organizados em uma planilha no programa Microsoft Office Excel© 2007, constando as precipitações mensais e totais de cada ano.

A fim de obter as imagens de satélite de um período mais seco e outro mais chuvoso, foram analisados os valores totais e mensais, dando enfoque para os meses de inverno (junho, julho, agosto, setembro). A razão de usar esta época do ano é que esse é o melhor período do ano para discriminar tipos de cobertura do solo, o que tanto para o método de classificação não supervisionada, quanto para o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é mais adequado. De acordo com os valores de precipitação, foi-se verificando no banco de imagens do INPE, a disponibilidade de imagens e também a qualidade das mesmas, para ver se havia a presença de nuvens na região de interesse.

Selecionadas as duas datas para as imagens de satélite Landsat TM 5, uma de 18 de agosto de 1988 (estiagem) e a outra de 28 de agosto de 2009 (chuvoso). Foram necessárias duas cenas para cada ano, a fim de obter toda área de estudo, ou seja, uma imagem de órbita 220 e ponto 80 e outra de órbita 220 e ponto 81 para cada ano, totalizando 4 imagens. Estas foram georreferenciadas no programa ENVI© 4.2, a partir de uma imagem base, retirada do mapeamento da cobertura vegetal do bioma pampa, elaborado por Hasenack e Cordeiro (2006).

No georreferenciamento, a imagem de 1988 com órbita 220 e ponto 80 teve grau de processamento 1, erro de 0,912561 e nela foram marcadas 73 pontos, a de órbita 220 e ponto 81 do mesmo ano, teve grau de processamento 1, erro de 0,768556 e foram marcados 52 pontos. Nas imagens de 2009, a de órbita 220 e ponto 80 teve grau de processamento 2, erro de 0,596851 e 81 pontos marcados, na de órbita 220 e ponto 81 o grau de processamento foi 2, erro 0,474384 e com 61 pontos marcados.

No mesmo programa, foi feito um mosaico para juntar as imagens do mesmo ano, com sobreposição de 30 pixels. A imagem de órbita 220 / ponto 80 foi colocada

por baixo da imagem de órbita 220 / ponto 81, devido a sua qualidade ser inferior. O sistema de coordenadas geográficas utilizado foi a UTM 22 (Universal Transversa de Mercator, zona 22, datum SAD69). Para trabalhar com estas imagens no programa Idrisi Andes© 15.0 foi agregado um arquivo de documentação para uso no programa.

No programa Idrisi Andes© 15.0, foi realizado o recorte dos mosaicos de imagens, para restringir a área de estudo, sendo estes recortes iguais para as imagens dos dois anos. Tendo-se então as duas imagens dos dois anos recortadas, as três bandas utilizadas foram banda 5, banda 4 e banda 3, as quais foram colocadas na composição RGB, ou seja, cor vermelha para a banda 5, verde para a banda 4, e azul para a banda 3. Também foi produzida uma composição em NDVI, a partir das imagens.

Foram empregados três métodos de análise de imagens, com o objetivo de classificar a presença e a ausência de água. Essas metodologias empregadas para avaliar as áreas de alagamento foram a de classificação não supervisionada, onde os padrões de resposta espectral dominantes em uma imagem são extraídos buscando a identificação dos diferentes agrupamentos de dados, neste método se utilizou a composição RGB das imagens. Outro método foi a análise a partir da composição NDVI de índice de vegetação, onde atribuímos uma reclassificação com base nos valores de NDVI. A banda 5 da imagem foi o terceiro método empregado, onde utilizava-se apenas esta banda para fazer uma reclassificação buscando diferenciar água dos outros atributos.

Na classificação não supervisionada, utilizou-se a ferramenta *Isoclust* do programa Idrisi Andes© 15.0, onde se é gerada uma imagem com número reduzido de classes a partir de uma análise de um histograma. O número inicial de agrupamentos foi igual a 13, os quais foram observados e classificados como sendo ou não uma classe de água. Após determinar cada classe foi feita uma tabela no editor de texto do programa, esta foi cruzada com a imagem gerada pelo *Isoclust* através da ferramenta *Assign*, resultando numa imagem onde se delimitava apenas o que era água e o que não era, resultando em duas imagens, uma para o ano de 2009 e outra para o ano de 1988.

A imagem do NDVI foi gerada a partir de rotina para tal fim, no qual é feita uma relação entre a banda que registra valores no comprimento do vermelho (Landsat TM, banda 3) em relação a outra banda que registra valores no

infravermelho próximo (Landsat TM, banda 4). Valores próximos de zero ou negativos indicam pouca ou nenhuma vegetação. A partir de reclassificação foi gerada uma imagem binário indicando água e não água.

Partindo do princípio que a superfície de água absorve toda a energia nos comprimentos de onda do infravermelho (JENSEN, 1986). Valores digitais iguais a zero ou muito próximos correspondem a corpos d'água ou sombra. Após avaliação da imagem aplicou-se a reclassificação em duas classes, água e não água.

Visando excluir áreas de sombra, utilizou-se a curva de 20 m extraída da base cartográfica para a escala 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010) como delimitador a oeste e o Oceano Atlântico a leste para criar uma máscara de exclusão. O que foi feito no Cartalinx© e exportado ao Idrisi. A fim de deixar apenas a área de interesse. As duas imagens geradas na classificação não supervisionada e as quatro outras geradas pelos métodos de índice de vegetação (NDVI) e banda 5 foram multiplicadas com este arquivo gerado pelo CartaLinx©. Esta multiplicação foi realizada pela ferramenta *Overlay* do Idrisi, gerando imagens apenas com a área de interesse e a presença ou não de água, retirando o oceano e a serra geral destas.

Para gerar uma comparação entre as duas imagens de cada metodologia utilizada, levando em consideração à presença de água, utilizou-se a ferramenta *CrossTab*. Onde as duas imagens de cada método foram combinadas, gerando uma imagem para cada método, ou seja, três imagens, que comparavam estes dois períodos no tempo, de estiagem e de cheia. A imagem resultante da combinação indicou até quatro classes: inundada nas duas datas, não inundada em nenhuma das datas, inundado no período chuvoso, inundado apenas no período seco. Também utilizou-se da análise estatística do programa, gerando valores na unidade de hectares das áreas que foram alagadas perante ao ano de estiagem.

Outro resultado produzido foi a de análises de grupos, onde a ferramenta *Groups* mostrava, através de imagens, quais as lagoas estavam conectadas, baseando-se na análise de pixel das imagens geradas pela ferramenta *Overlay*, citada anteriormente. Resultou-se duas imagens de grupos para cada método, onde para melhor visualização deste resultado se adicionou a base vetorial de polígonos da hidrografia do Rio Grande do Sul, retirada do DVD da base cartográfica vetorial contínua do RS, na escala de 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010).

Projetamos no programa CartaLinx©, uma delimitação das lagoas, baseando-se na base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK;

WEBER, 2010), resultando em um arquivo vetorial com as 40 lagoas e um código para cada uma, a fim de poder diferenciá-las. Após rasterizado o arquivo contendo as lagoas, extraiu-se para cada uma delas o código do grupo de pixels correspondente. Lagoas com igual código de grupo estavam conectadas. Os dados foram anotados numa planilha do Microsoft Office Excel© 2007 para visualização sintética.

Vistas quais eram as lagoas que estavam agrupadas em cada imagem de cada ano e método, foi feito no *Database Workshop* do Idrisi uma tabela com os nomes das lagoas, código, área, polígono e perímetro. Sendo uma tabela para cada método, nesta foram anotadas quais se encontravam conectadas, separando-as em grupos, e desconsiderando as lagoas que estavam isoladas. Gerando um arquivo vetorial dos grupos de lagoas que se encontravam conectadas para cada ano, sendo duas imagens para cada método, uma para o ano de seca e outra para o ano chuvoso.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 1988, o qual foi selecionado como ano menos chuvoso, dentre os anos de 1980 a 2009, ocorreu, um evento de La Niña, conforme estudo realizado por Blank e Assis (2006), onde se acompanhou a precipitação da estação meteorológica de Torres-RS comparando com o histórico da ocorrência de El Niño e La Niña. Comprovando então que neste ano, ocorreu anomalia negativa devido à influência deste fenômeno.

Já no ano de 2009, selecionado como mais chuvoso, o mês de agosto teve as precipitações acima dos padrões climatológicos em praticamente todo o Rio Grande do Sul, exceto no sudoeste, conforme consta em (BOLETIM CLIMÁTICO, 2009). Considerando que a imagem selecionada é do dia 28 de agosto, ou seja, no final do mês, provavelmente esse evento de pluviosidade acima do padrão pode ter influenciado na situação de inundação da imagem.

A classificação orbital de imagens consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe (DAINESE, 2001). Esta pode identificar os diferentes tipos de solo, vegetação e recursos hídricos, porém a classificação com dados de média resolução espacial, tal como as do satélite Landsat, usada neste trabalho, ainda requerem uma técnica adequada para obter uma acurácia confiável (LIU, 2006). Apesar destas deficiências, estas imagens do satélite Landsat encontram-se como uma boa opção de trabalho, pois não tem custo e são de fácil acesso. Para evitar problemas, realizou-se uma seleção prévia das melhores cenas, e a classificação foi realizada eliminando algumas categorias que foram restituídas manualmente.

O método de classificação não-supervisionada realizado em imagens de composição R5G4B3 (falsa cor natural) (Figuras 2 e 3) é fundamentado na análise de agrupamento que usa os critérios de análises estatística dos dados de amostragem (LIU, 2006). Ele não possui nenhum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada pixel uma determinada classe. Posteriormente, as classes geradas pelo agrupamento são reclassificadas pelo usuário para um número menor de classes, duas no presente caso.

Conforme Richards (1988), neste tipo de classificação, o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificados no espaço de atributos as "manchas" (*Clusters*) formadas por pixels com características espectrais similares. Define-se então, através de um limiar estabelecido pelo analista, quais as concentrações de pixels que devem ser tratadas como grupos distintos.

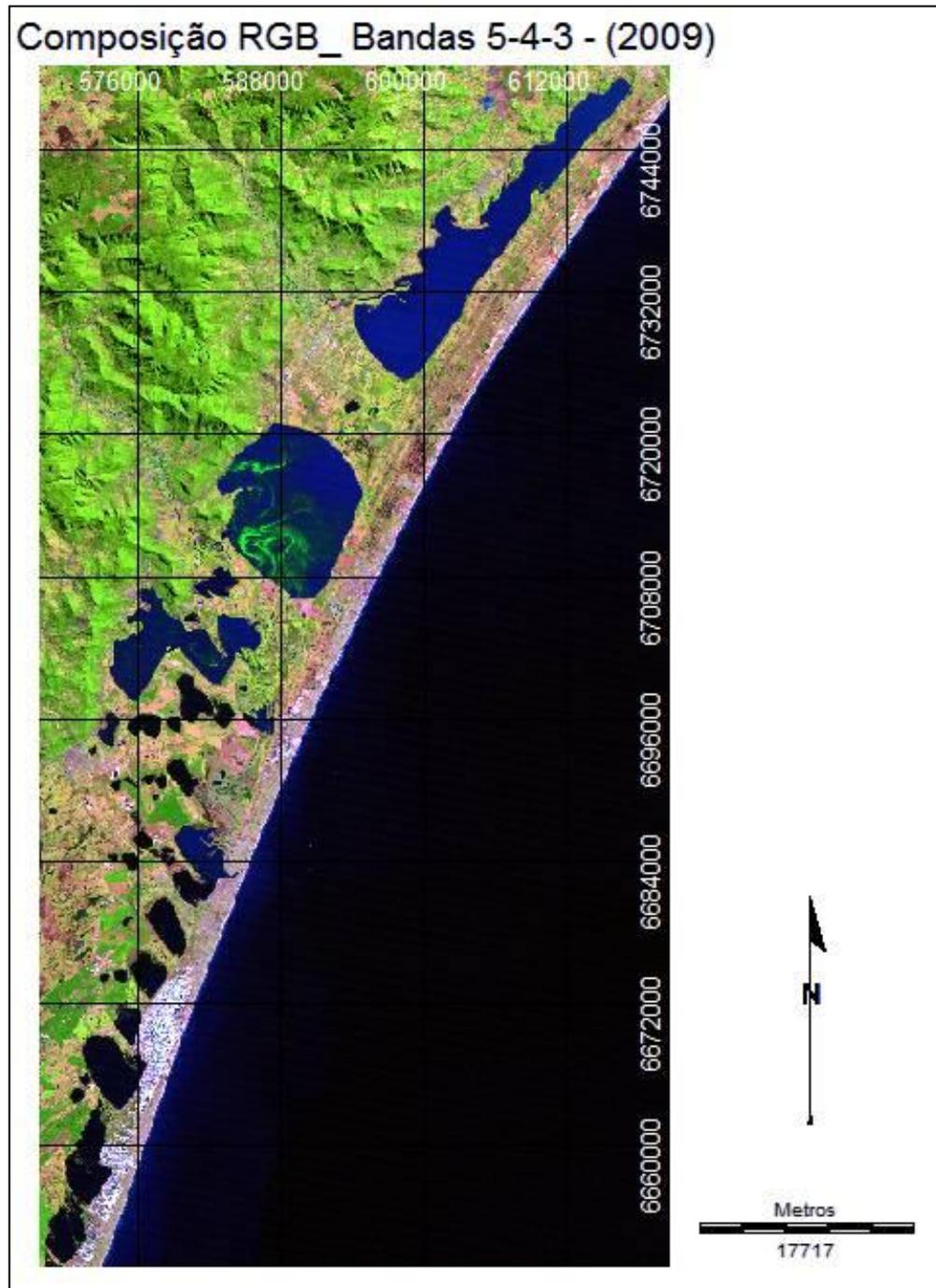


Figura 2 – Área de estudo na composição RGB, das bandas 5, 4 e 3 respectivamente, da imagem de Satélite Landsat TM 5, do dia 28 de agosto de 2009 (ano de cheia).

Fonte: Autor, 2011.

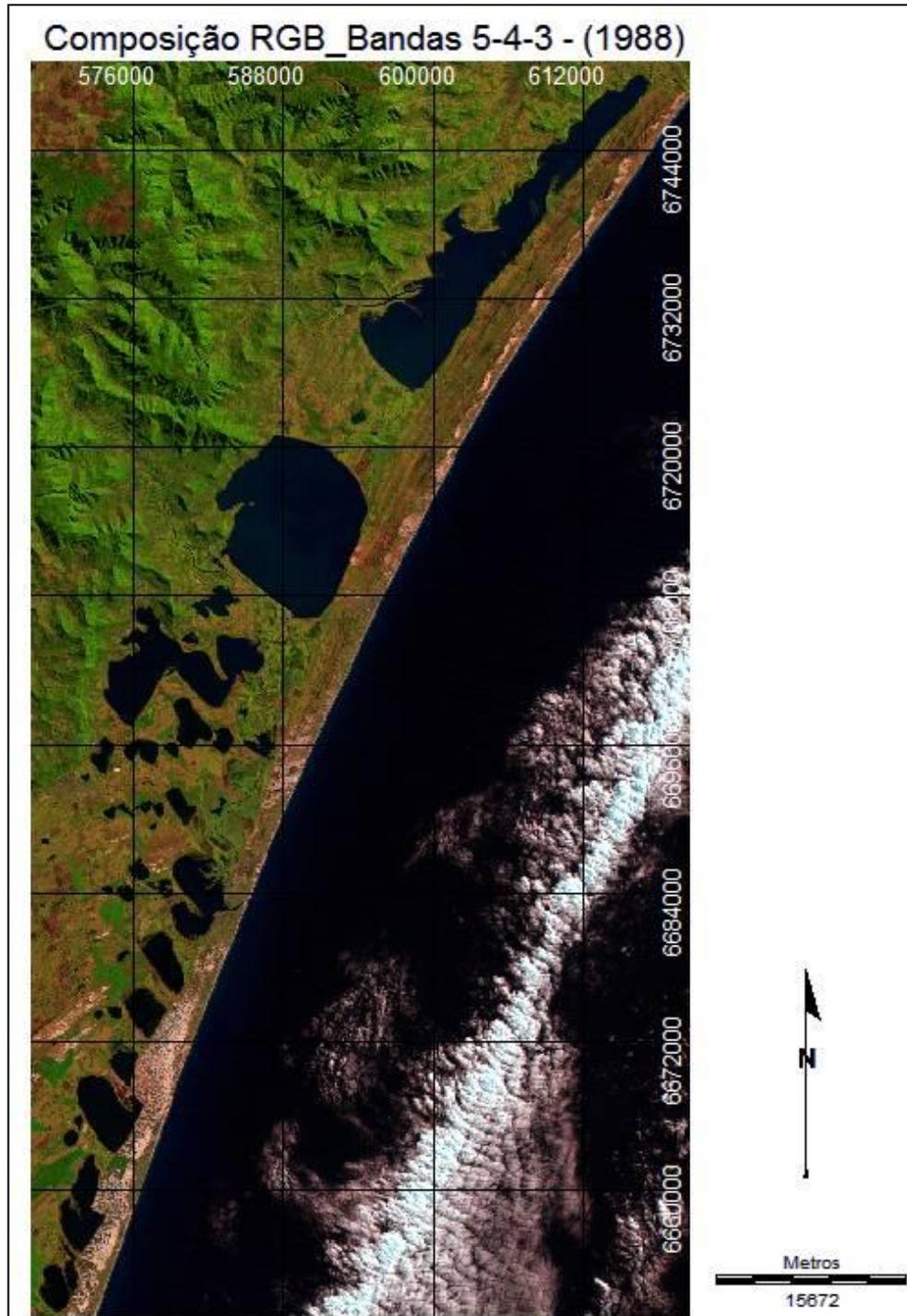


Figura 3 – Área de estudo na composição RGB, das bandas 5, 4 e 3 respectivamente, da imagem de Satélite Landsat TM 5, do dia 18 de agosto de 1988 (ano de estiagem).

Fonte: Autor, 2011.

A banda 5 das imagens do satélite Landsat TM 5 (Figuras 4 e 5), a qual foi empregada como outro método de análise, é de infravermelho médio. Conforme

consta em EngeSat<sup>2</sup>, esta apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite. E se mostrou semelhante aos outros métodos empregados, perante as análises realizadas.

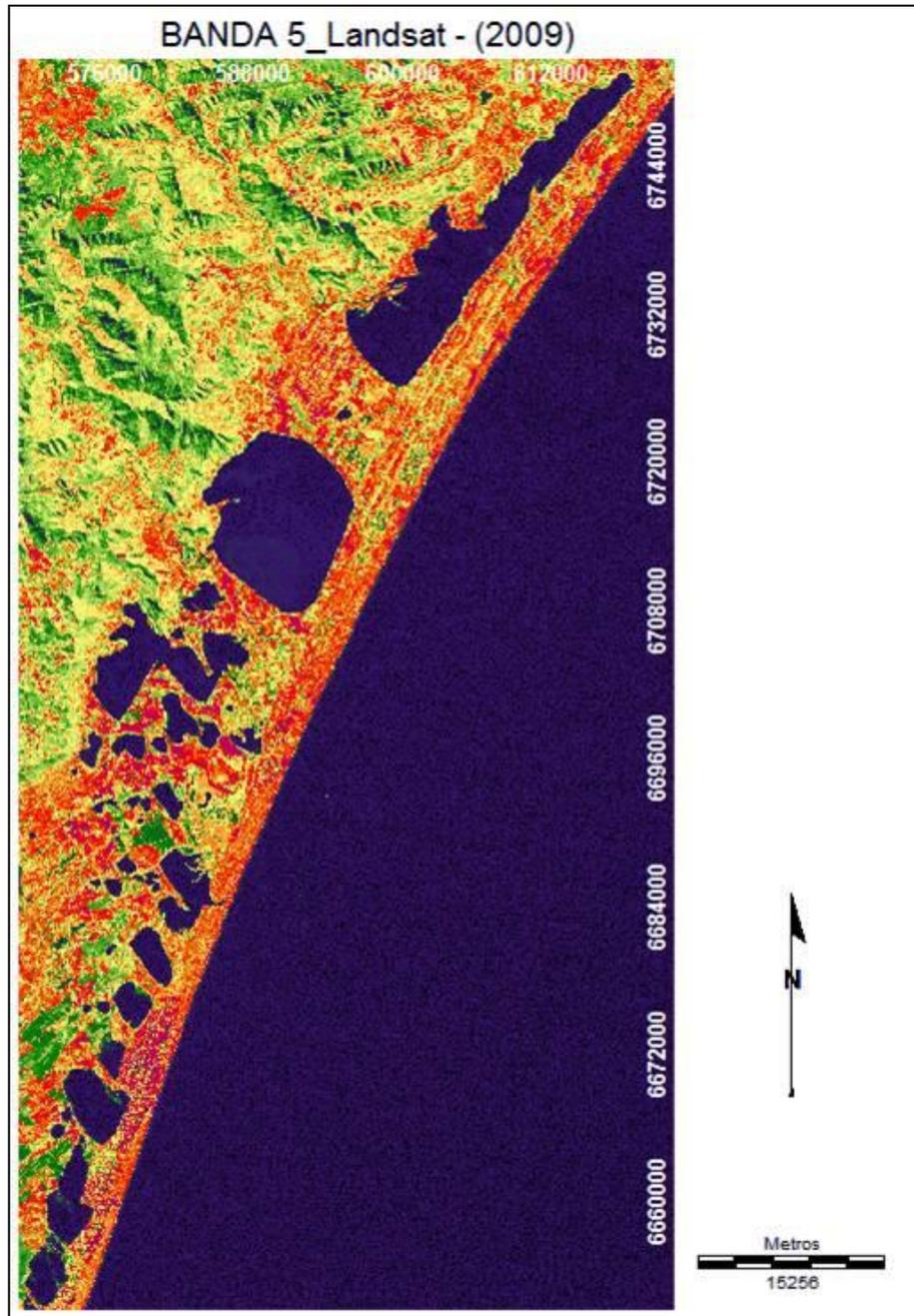


Figura 4 – Banda 5 da imagem de satélite Landsat TM 5, compreendendo a área de estudo. Banda da imagem do dia 28 de agosto de 2009 (cheia).

Fonte: Autor, 2011.

<sup>2</sup> EngeSat Imagens de Satélite / Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>>

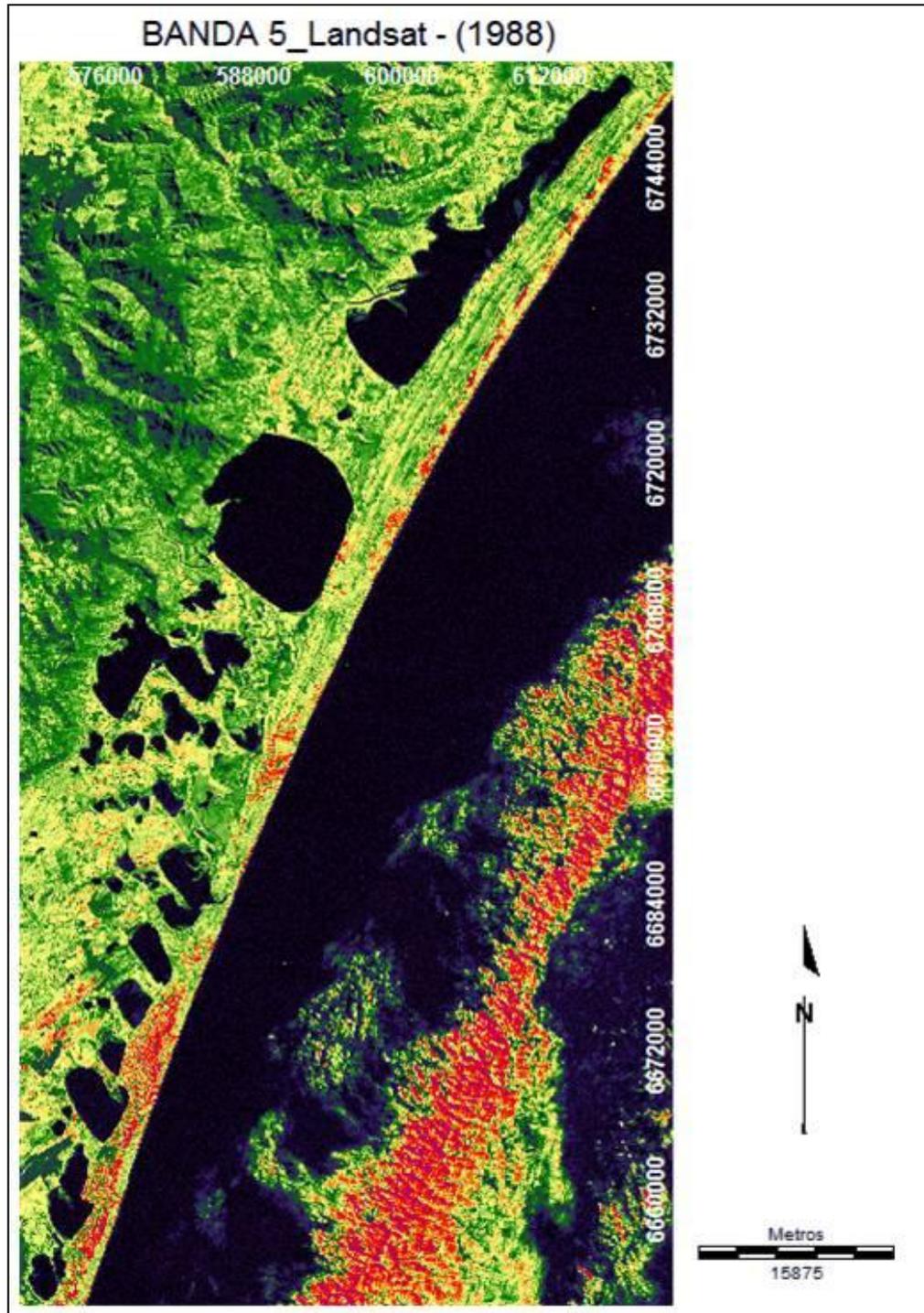


Figura 5 – Banda 5 da imagem de satélite Landsat TM 5, compreendendo a área de estudo. Banda da imagem do dia 18 de agosto de 1988 (estiagem).

Fonte: Autor, 2011.

Segundo Rouse et al. (1973), NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (Figuras 6 e 7) é a diferença da reflectância no infra-vermelho próximo (banda 4 do sensor temático do Landsat 5 e 7) e reflectância no vermelho (banda 3 do sensor temático do Landsat 5 e 7). O NDVI é um indicador sensível da

quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1, e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 e 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.

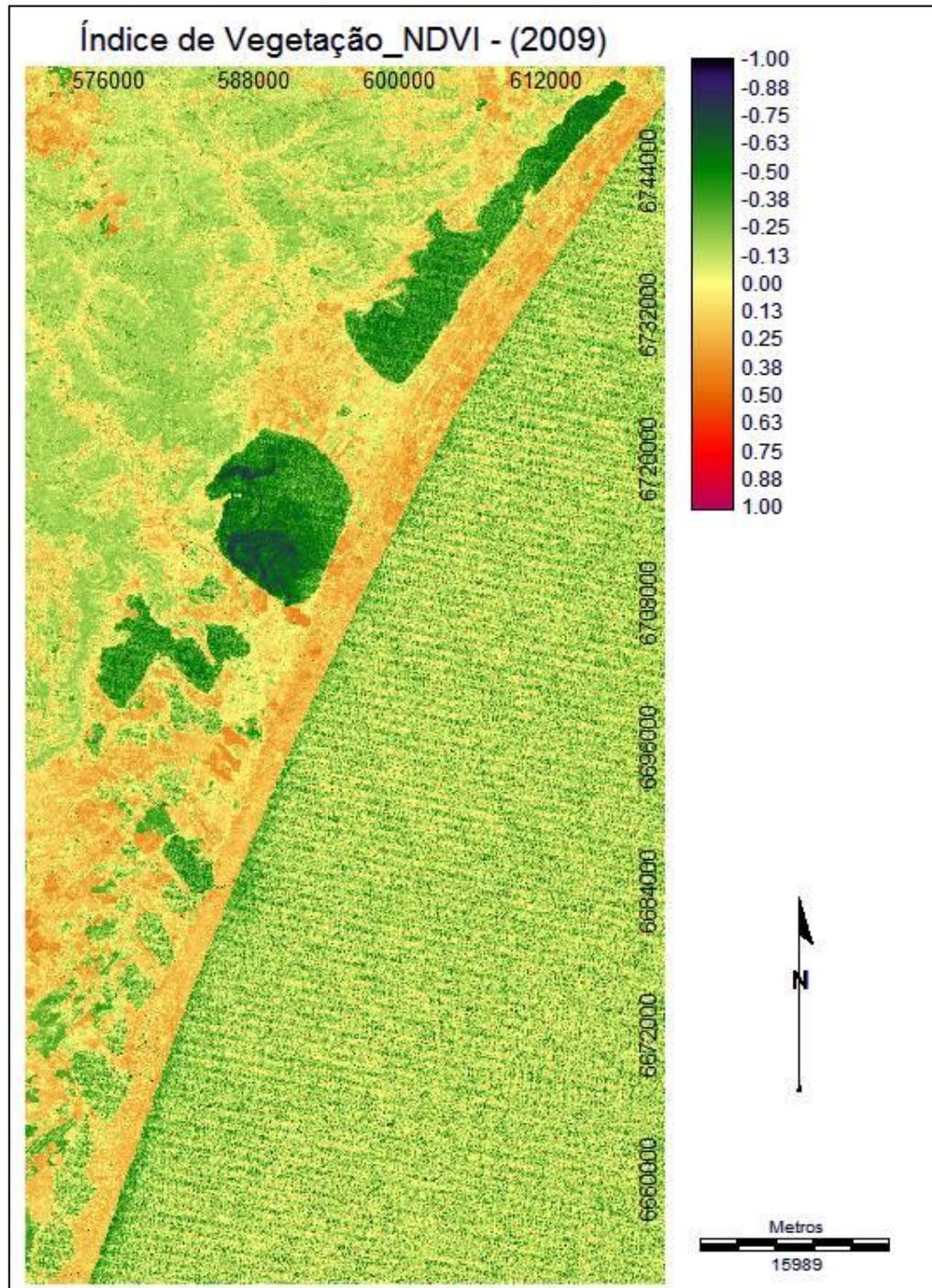


Figura 6 – Composição do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), da imagem do ano de 2009 (cheia).

Fonte: Autor, 2011.

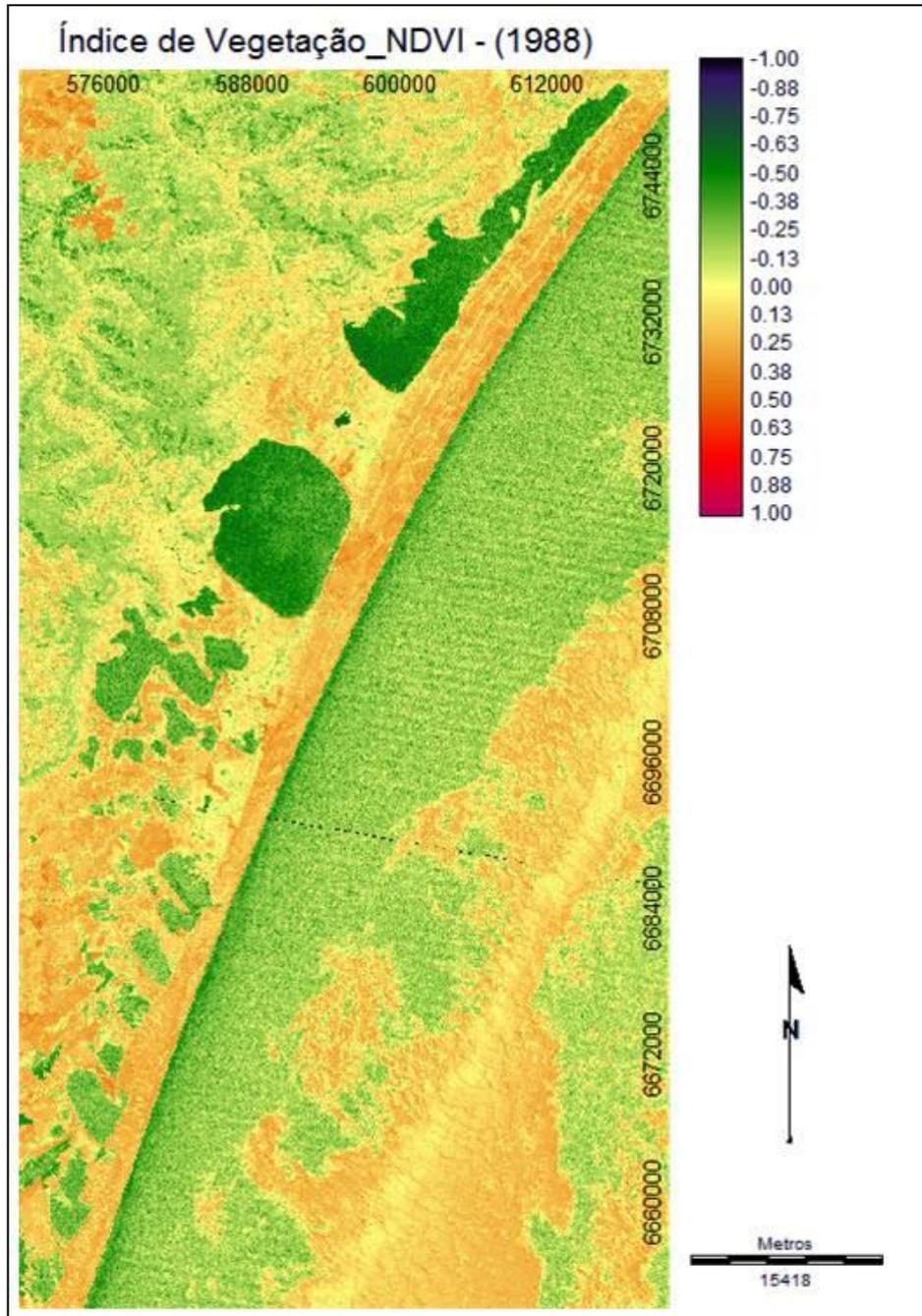


Figura 7 – Composição do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), da imagem do ano de 1988 (estiagem).

Fonte: Autor, 2011.

Comparando-se os produtos do cruzamento (*Cross-Classification*) (Figuras 8, 9 e 10) entre as imagens dos anos de 1988 (seca) e 2009 (cheia), de cada metodologia, feitos através da ferramenta *CrossTab* do Idrisi Andes© 15.0. Nota-se que ocorre um aumento significativo de áreas úmidas, segundo a classificação feita pela ferramenta. Onde a cor verde significa o aumento das áreas úmidas perante o

ano de estiagem, ou seja, é a área alagada. A cor laranja representa os corpos d'água coincidentes nos dois anos, onde havia água nas duas imagens. Na cor magenta, esta situada tudo aquilo que não é água, e na cor amarela queimada, seria onde há presença de água em 1988 e é seco no ano chuvoso.

Observa-se, dentro da lagoa dos Quadros, uma mancha na cor amarelo queimado. Pressupõe-se que esta seja uma área de eutrofização, onde os sedimentos estão na superfície. Esta mancha encontra-se na imagem de 2009 de órbita 220 e ponto 81, e por isso está na cor amarelo queimado.

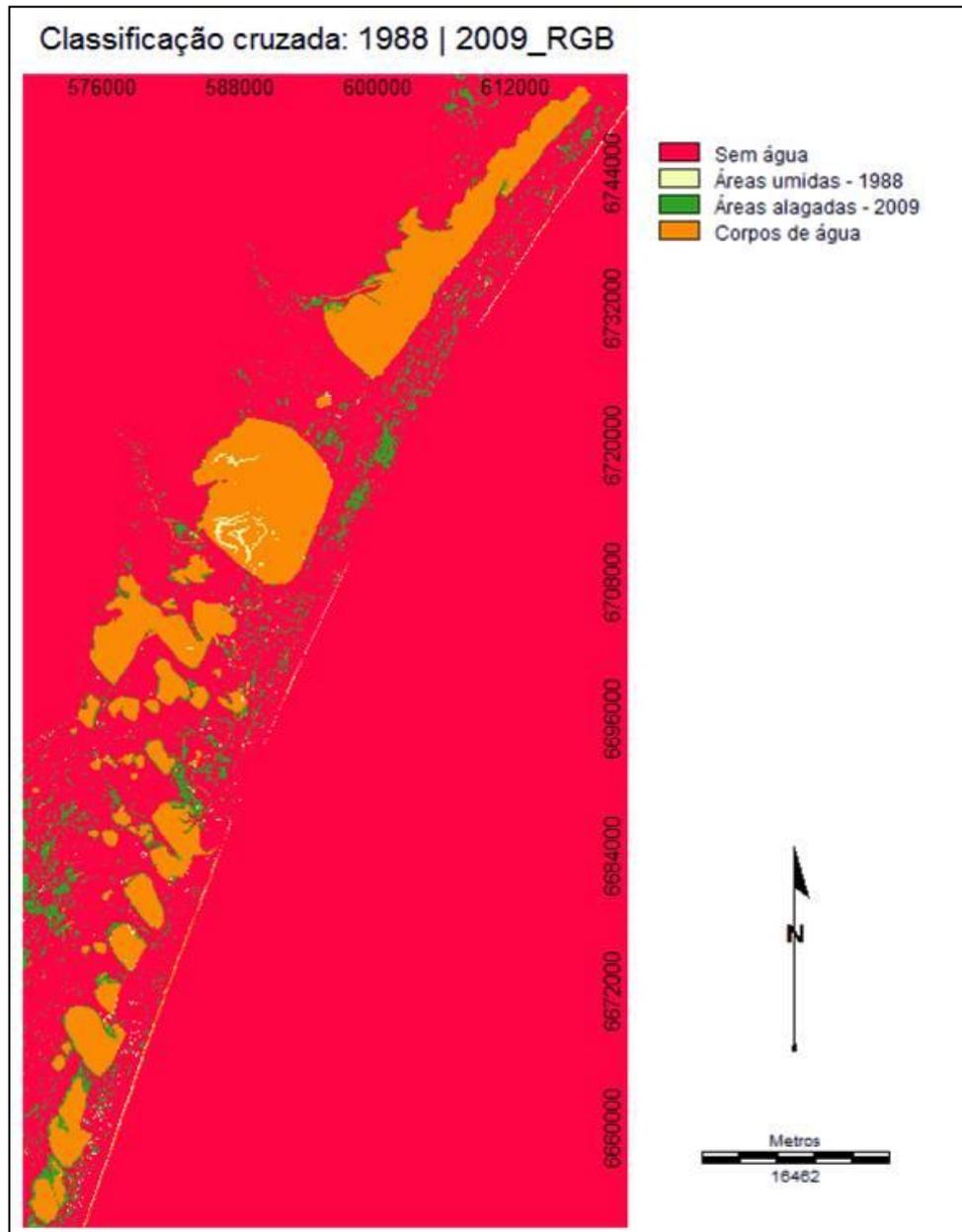


Figura 8 – Imagem gerada a partir da classificação cruzada, entre as imagens de composição RGB, dos anos de 1988 e 2009, proporcionando uma comparação de áreas úmidas. Teste do método de classificação não supervisionada.

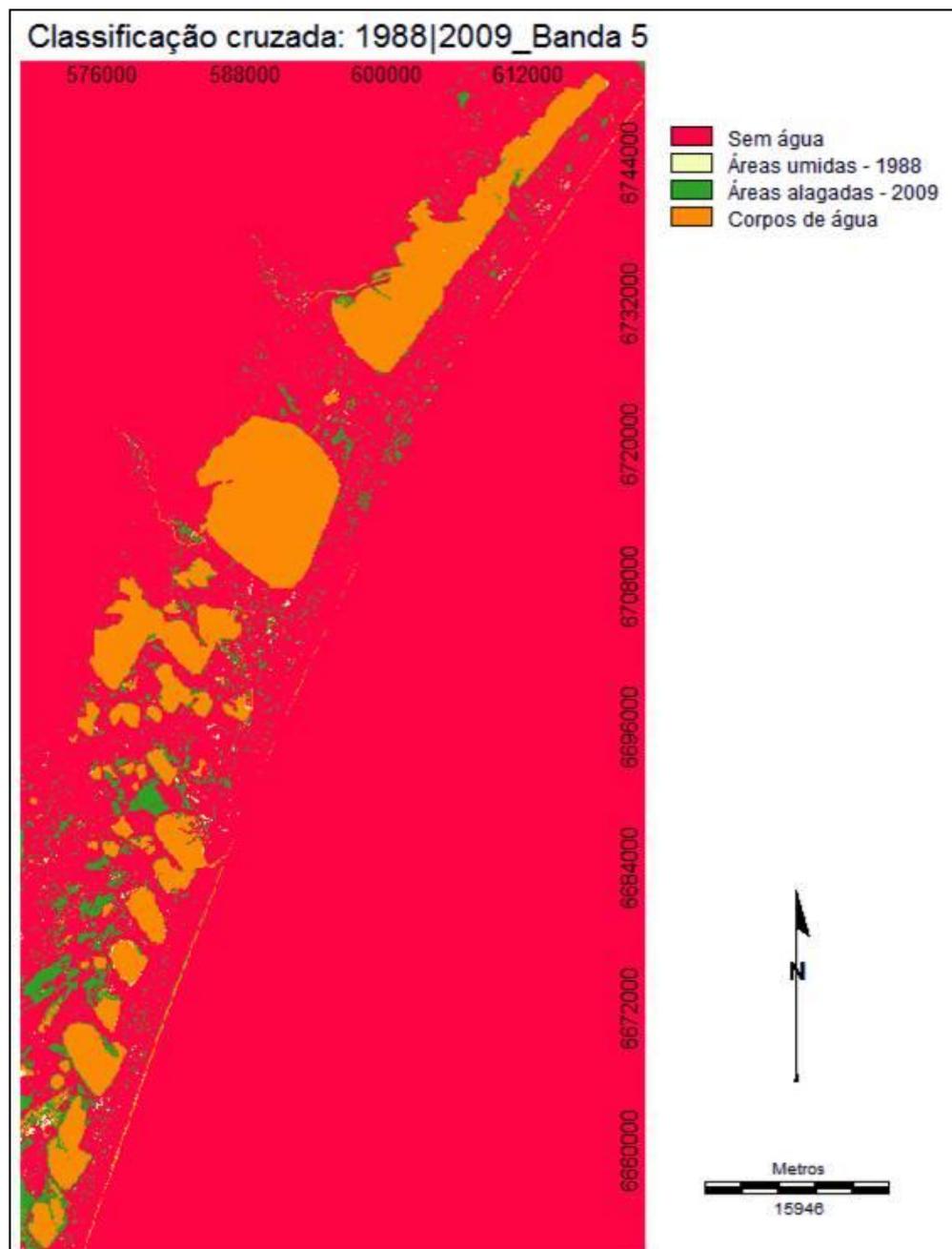


Figura 9 – Imagem gerada a partir da classificação cruzada, entre a banda 5 das imagens do ano de 1988 e 2009, proporcionando uma comparação de áreas úmidas. Teste do método da banda 5.

Fonte: Autor, 2011.

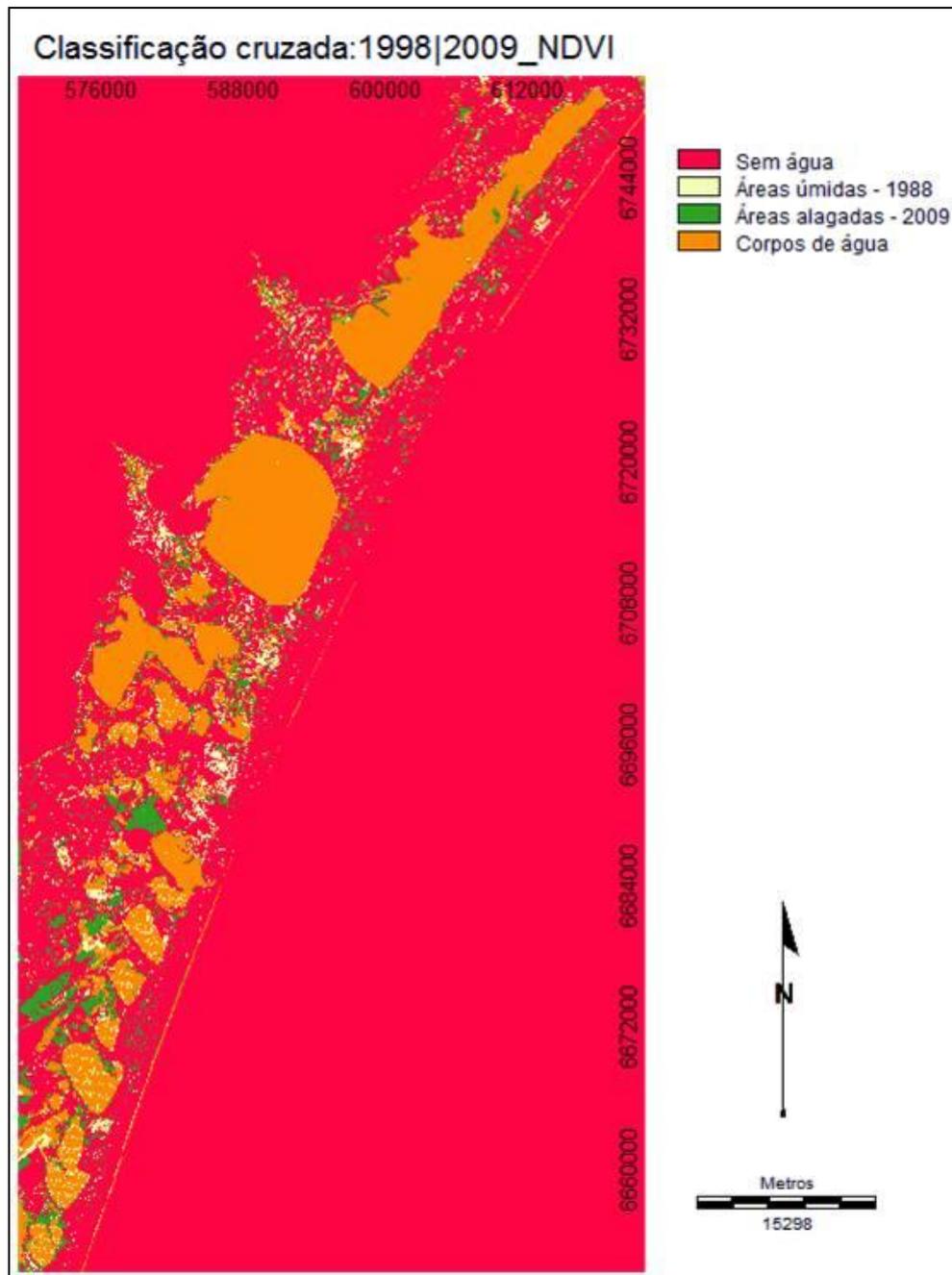


Figura 10 – Imagem gerada a partir da classificação cruzada, entre as imagens de composição NDVI do ano de 1988 e 2009, proporcionando uma comparação de áreas úmidas. Teste do método de NDVI.

Fonte: Autor, 2011.

Observando estes resultados na forma de imagens das três metodologias utilizadas. Nota-se que estas seguiram praticamente os mesmos padrões, mostrando uma abundância de áreas alagadas no ano mais chuvoso, com apenas algumas divergências, devido à composição da imagem. Esta homogeneidade nos resultados já era esperada, comprovando então que os recursos utilizados tendem a trazer informações em âmbito geral, porém não em análises mais profundas, devido a sua limitação pelo tamanho de pixel.

Na análise de classificação não-supervisionada feita pelo cruzamento das imagens, teve um acréscimo de 13391.1203909 hectares de áreas alagadas (áreas hachuradas na cor verde), calculo feito a partir da imagem pela ferramenta de calculo de área do programa Idrisi. Na análise feita pela imagem NDVI o acréscimo foi de 12914.6385834 hectares. Demonstrando a similaridade entre os métodos, nota-se que também na análise feita na banda 5 a área em hectares foi parecida com as dos outros métodos, tendo essa área de alagamento um acréscimo de 13622.9854545 hectares.

Sempre considerando que as ferramentas do programa Idrisi, utilizadas para as classificações e análises digitais das imagens de satélite, podem considerar outros pixels que não sejam água como água. Isto devido à similaridade na refletância do infravermelho. Estas áreas consideradas como alagadas também podem vir a ser áreas de banhado, plantações em período de irrigação e dentre outras áreas úmidas que não venham a fazer parte das lagoas e suas conexões.

Nas imagens que seguem, foram sobrepostas uma imagem *raster*, gerada a partir da classificação de água e não água, para cada ano em cada método, onde a cor magenta representa a presença de água, e os polígonos dos limites das lagoas, modificado da base cartográfica vetorial contínua do RS (HASENACK; WEBER, 2010). É importante ressaltar que estas análises de conectividade nas três metodologias foram baseadas apenas pela análise estatística de pixels das imagens propostas, realizadas pelo programa Idrisi Andes© 15.0.

Nota-se que para todas as imagens geradas, temos o grupo 0, este é usado para denominar todas as lagoas que encontram-se isoladas, não conectadas, perante a metodologia que foi utilizada. Este sempre visualizado na cor preta.

Para fazer o teste destas três metodologias, e saber quais os grupos de lagoas que se encontram conectadas, foi utilizada no software Idrisi a ferramenta denominada *Groups*, para cada imagem de cada ano e método. O resultado gerado

para o método do NDVI mostrou que no ano de estiagem, 1988 (Figura 11) ocorreram 5 grupos de conexões, e em 2009 (Figura 12) ano selecionado como mais chuvoso, ocorreram 6 grupos, como pode-se observar nas figuras.

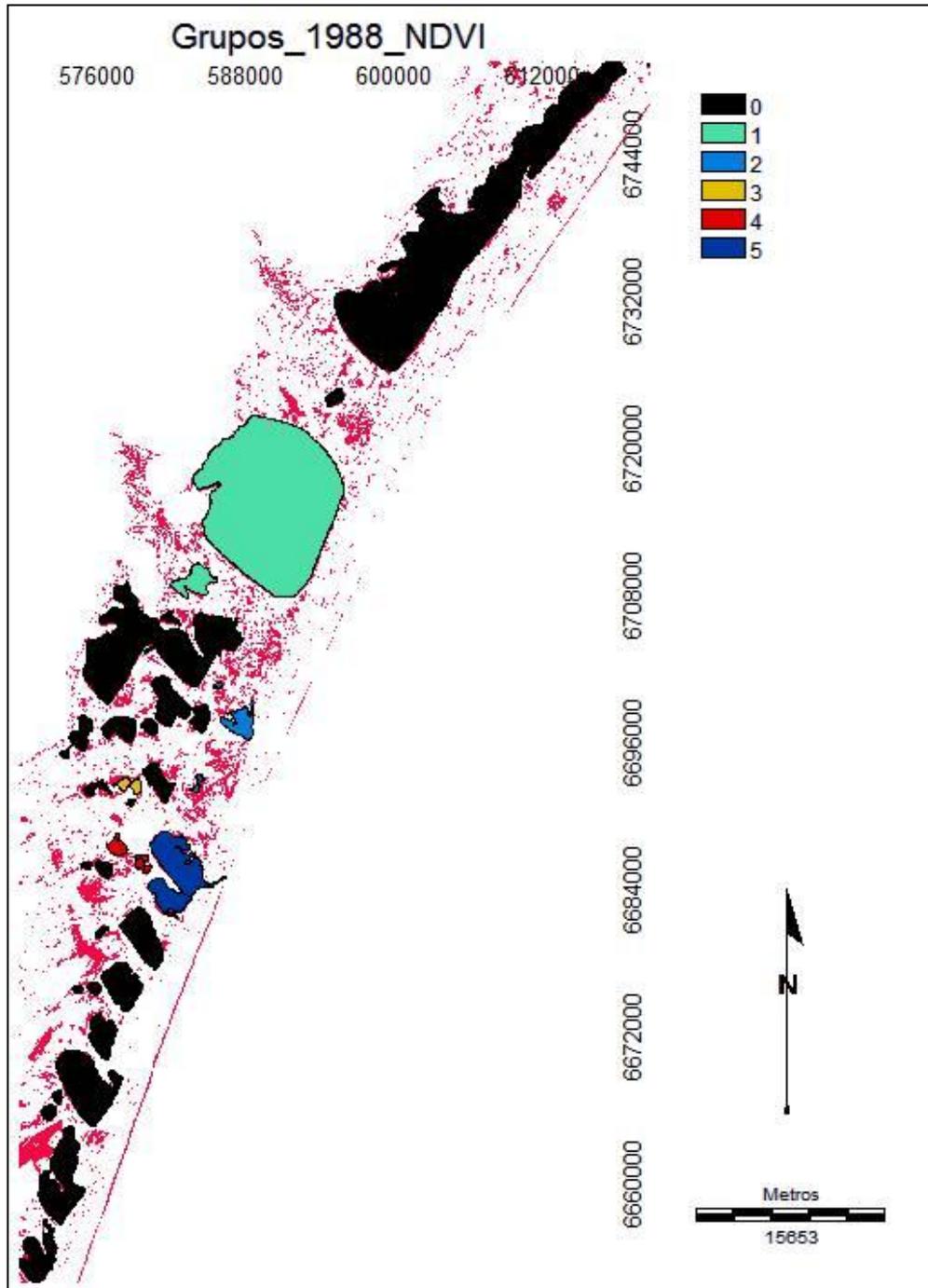


Figura 11 – Figura gerada a partir da análise de grupos da imagem do ano de 1988 (estiagem), demonstrando os grupos de lagoas conectadas segundo a metodologia empregada.

Fonte: Autor, 2011.

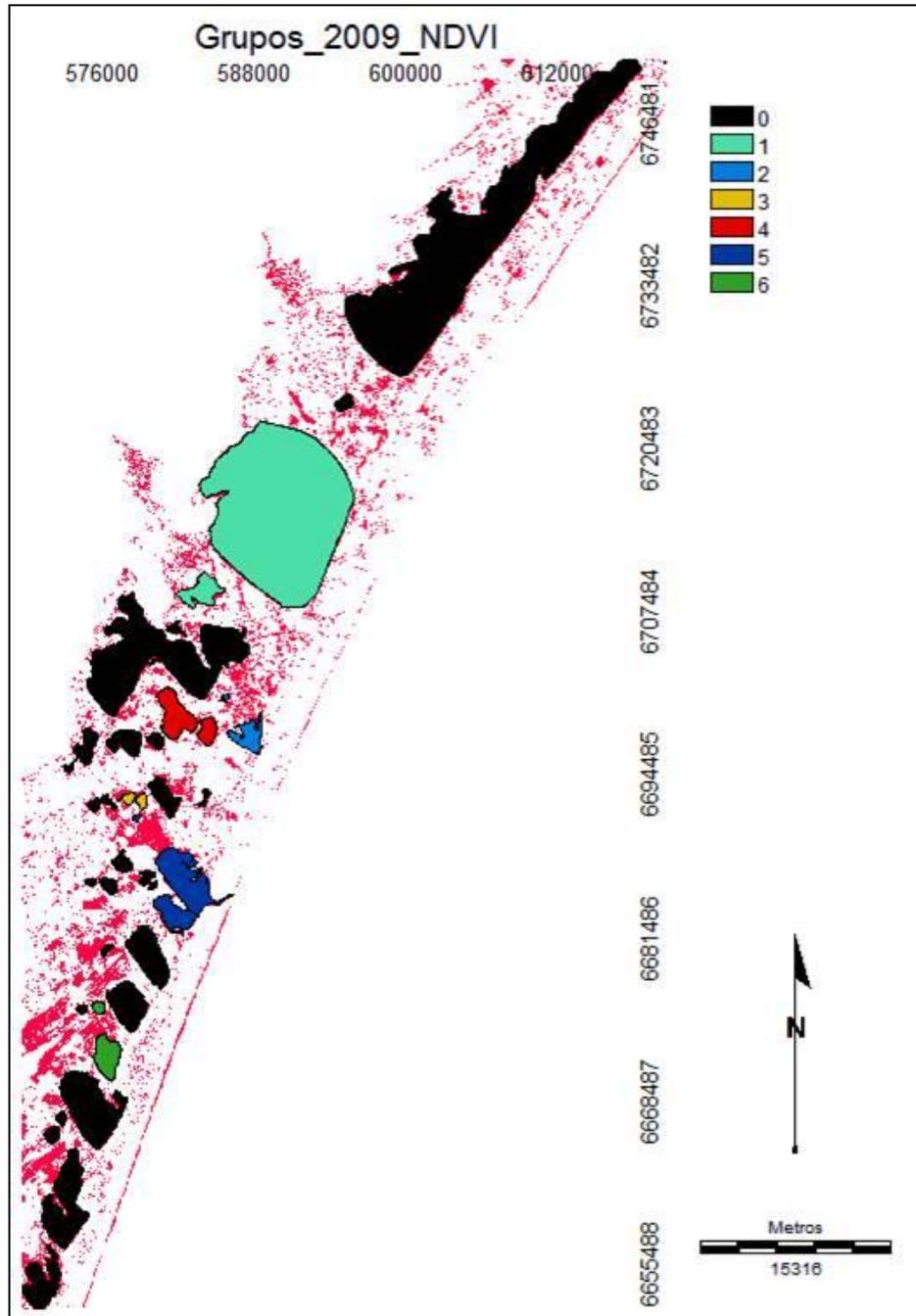


Figura 12 – Figura gerada a partir da análise de grupos da imagem do ano de 2009 (cheia), demonstrando os grupos de lagoas conectadas segundo a metodologia empregada.

Fonte: Autor, 2011.

Os grupos de conexões em 1988 foram, grupo 1, onde se encontram conectadas as lagoas dos Quadros e do Ramalhete, no grupo 2 estão as lagoas “D”, do Passo e Rincão da Cadeia. O grupo 3 está representado pelas lagoas Rincão 1 e Rincão 2, e o grupo 4 pelas lagoas do Papagaio, “A” e “B”. A lagoa de Tramandaí e a lagoa do Armazém, as quais apresentam-se sempre conectadas em todas as

análises, representam o último grupo, o grupo 5. Em 2009, os grupos foram, grupo 1 permanecendo o mesmo, grupo 2 com a lagoa “D” e a Passo conectadas, o grupo 3 também permaneceu o mesmo. As lagoas Caieira e Lessa 1 representam o grupo 4, no grupo 5 estão as lagoas de Tramandaí, Armazém e “C”. O grupo 6 encontra-se mais ao sul da imagem e nele estão conectadas, segundo a metodologia empregada, as lagoas Tapera Sul e Manoel Nunes. Algumas conexões podem ser estabelecidas através de banhados, áreas úmidas, rios, valos e dentre outros. Estes podem vir a ser conexões funcionais, servindo de corredor para espécies de peixes e outros.

Aplicando a análise de grupos na banda 5 da imagem Landsat TM 5, o resultado obtido foi que em 1988 (Figura 13) ocorreram apenas dois grupos de conexões, sendo estes, o grupo 1 onde estão as lagoas Caieira e Lessa 1, e o grupo 2 representado pelas lagoas de Tramandaí e Armazém, as quais fazem parte do sistema estuarino.

Seguindo a metodologia da banda 5, a imagem do ano de 2009 (Figura 14) apresentou 6 grupos de conexões, mostrando-se ambíguo perante ao ano de estiagem. Os grupos resultantes neste ano foram, o grupo 1 permanecendo o mesmo de 1988 desta metodologia, grupo 2 estando conectadas as lagoas do Passo, Tramandaí, Armazém e Custódia. A lagoa dos Quadros e a lagoa das Malvas representam o grupo 3, no grupo 4 estão as lagoas Rincão 1 e Rincão 2. O grupo 5 compreende as lagoas do Papagaio e “A”, e o grupo 6 as lagoas Fortaleza e Lessa 2.

Na classificação não supervisionada, utilizando a composição RGB da imagem de satélite Landsat TM 5, o resultado desta análise de grupos não se mostrou muito diferente dos demais, mostrando mais grupos no ano de mais chuva e menos no ano de estiagem. Porém as lagoas conectadas mostram-se diferentes em cada tipo de análise. No ano de 1988 (Figura 15) esta metodologia obteve dois grupos, sendo eles o grupo 1 onde as lagoas Tramandaí e Armazém encontram-se conectadas e o grupo 2 onde estão as lagoas de Caieira e Lessa 1.



Figura 13 – Figura gerada a partir da análise de grupos da imagem do ano de 1988 (estiagem), demonstrando os grupos de lagoas conectadas segundo a análise na banda 5 da imagem.

Fonte: Autor, 2011.

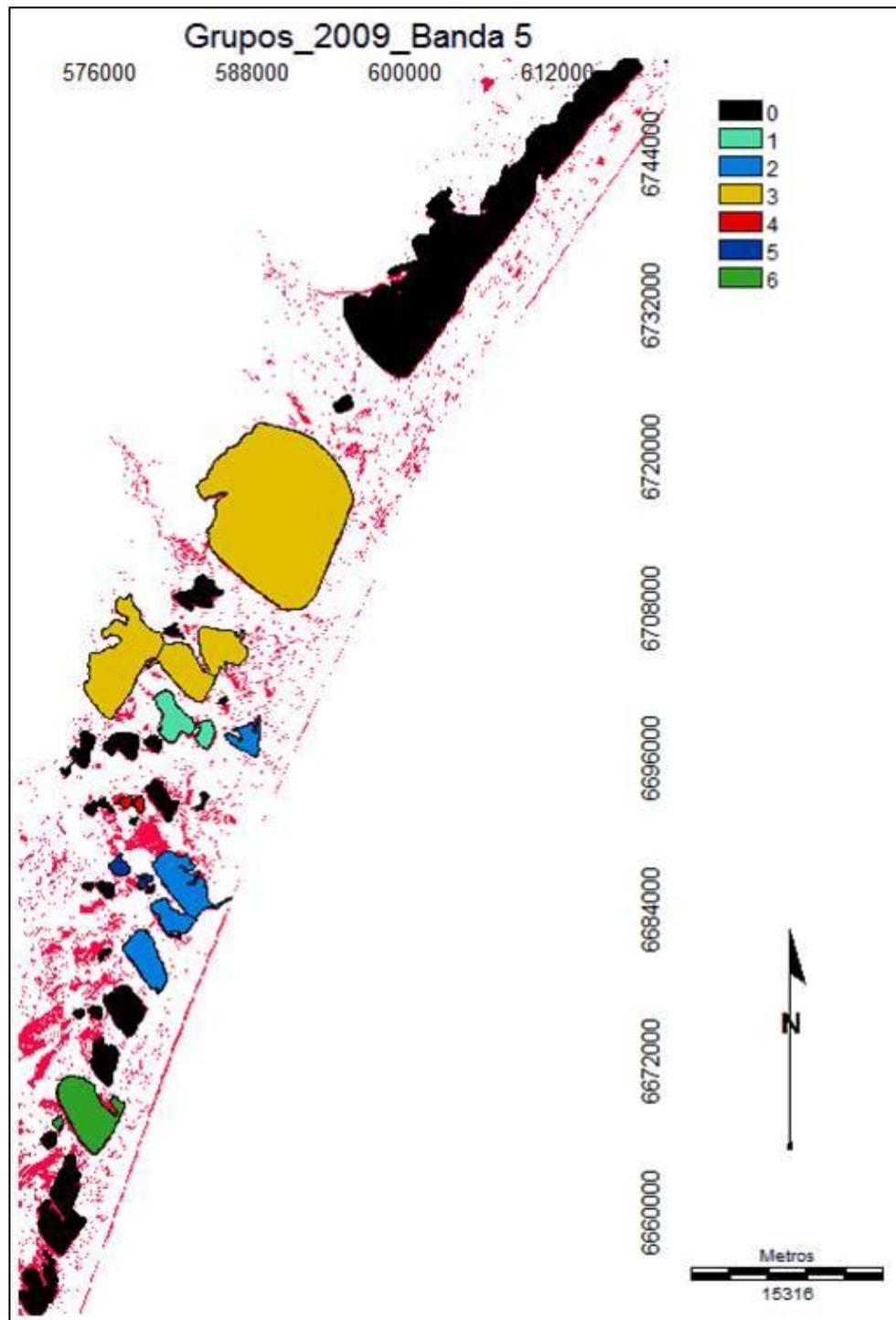


Figura 14 – Figura gerada a partir da análise de grupos da imagem do ano de 2009 (cheia), demonstrando os grupos de lagoas conectadas segundo a análise da banda 5.

Fonte: Autor, 2011.

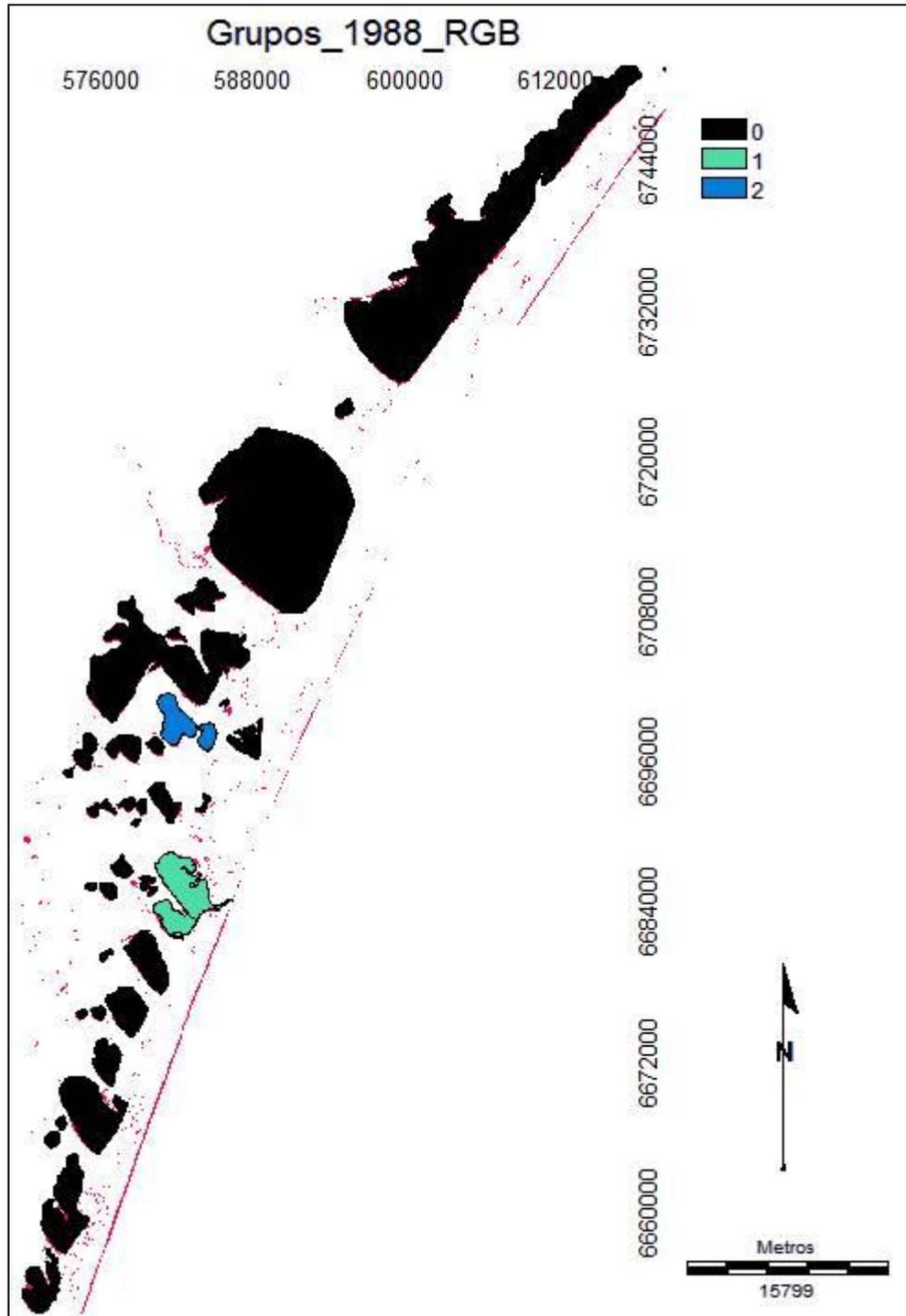


Figura 15 – Figura gerada a partir da análise de grupos da imagem de composição RGB de 1988 (estiagem).

Fonte: Autor, 2011.

Em 2009 (Figura 16), os grupos de lagoas foram, grupo 1 representado pelas lagoas do Passo, dos Veados, Tramandaí, Armazém, Papagaio, “A” e “B”, o grupo 2 permaneceu o mesmo. No grupo 3 estão as lagoas Peixoto e Marcelino, no grupo 4 as lagoas são Rincão 1 e Rincão 2. As lagoas situadas mais ao sul da área de estudo compreendem o grupo 5, são estas as lagoas de Fortaleza, Lessa 2, Cidreira e Cerquinha.



Figura 16 – Figura gerada a partir da análise de grupos da imagem de composição RGB de 2009 (cheia).

Fonte: Autor, 2011.

Perante aos resultados das três metodologias testadas, nota-se um número sempre maior de grupos de lagoas conectadas nas imagens do ano de 2009, período determinado como mais chuvoso. Mostra, portanto, certa semelhança nas análises feitas entre as metodologias empregadas (classificação não-supervisionada, índice de vegetação e banda 5).

## 6 CONCLUSÃO

Perante as metodologias utilizadas e aos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que o uso de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento de imagens são ferramentas muito úteis para monitorar mudanças em corpos d'água. Pois, permitem uma visão geral da área de estudo, são de fácil acesso, de baixo custo e possibilitam a geração de um banco de dados dinâmico.

Com relação à utilização das imagens Landsat TM 5 no estudo das conectividades, os resultados foram satisfatórios pois estes demonstraram que na imagem de 2009, ano selecionado como mais chuvoso, houve um acréscimo nas áreas alagadas, ou seja, um aumento no tamanho das lagoas. Também se observou que em todos os métodos, os grupos de conexões obtidos foram maiores no ano de cheia. Porém deve-se levar em consideração que as imagens utilizadas são de média qualidade, sendo a sua resolução espacial de 30 metros, o que pode subestimar a conectividade, pois alguns canais de ligação podem estar sendo camuflados pela vegetação, a qual, dominando num dado pixel, faz com que ele seja classificado como “não água”.

Para se realizar o estudo comparativo das conectividades propriamente dita entre as lagoas do sistema Tramandaí de maneira confiável, sugere-se a utilização de uma imagem com maior resolução espacial, como a do satélite *QuickBird*. Ainda assim teriam de ser realizadas saídas a campo para confirmar locais onde se tenha dúvidas.

Quanto aos resultados obtidos nas classificações e análises digitais de imagens, pode-se afirmar que o desempenho das metodologias foi semelhante. Mesmo estas classificações apresentando erros de omissão e inclusão, obteve-se melhor resultados quando se utilizou a combinação de bandas 5, 4 e 3, composição R5G4B3, na classificação não supervisionada, onde foi possível diferenciar água dos outros atributos com melhor nitidez. Sendo esta composição satisfatória para analisar o alagamento.

Os corpos d'água apresentam-se maiores no ano mais chuvoso (2009), ocasionando o transbordamento das lagoas e conseqüentemente inundações e formação de lâminas de água sobre o solo. No ano de seca (1988), observamos a

grande diminuição no volume de água e suas inundações, diminuindo então os grupos de conexões das lagoas.

Apesar dos métodos utilizados nas imagens adotadas nesta pesquisa terem fornecidos resultados com baixo desempenho na análise das conectividades, independente da classificação utilizada, pôde-se concluir que estes são de extrema importância para o estudo das conectividades nas lagoas de planícies costeiras, e para posteriores pesquisas que venham a utilizar as metodologias empregadas nesse trabalho.

## REFERÊNCIAS

BOLETIM CLIMÁTICO. Pelotas : INMET, UFPEL, ano 7, n. 9, 5 p., 18 set. 2009.

AMOROS, C.; BORNETTE, G. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. **Freshwater Biology**. Oxford, Inglaterra, v. 47, p. 761-776, 2002.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña** impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsão climática na agricultura. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 110 p., 2003

BLANK, D. M. P.; ASSIS, S. V; **Análise das anomalias anuais de precipitação no litoral do Rio Grande do Sul**. Pelotas, p. 1-4, 2006. Disponível em: <[http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/arquivos/CE\\_00873.rtf](http://www.ufpel.edu.br/cic/2006/arquivos/CE_00873.rtf)>. Acesso em: 22 mar. 2011.

CHASE, J. M. Drought mediates the importance of stochastic community assembly. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. Of the United States of America, v. 104, n. 44, p. 17430-17434, 2007.

CRUZ, I. F. *et al.* Dinâmica da inundação e conectividade nos processos ecológicos do sítio de amostragem de longa duração-Pantanal. **Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, Corumbá - MS, p. 150-156, 2009.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade De Ciências Agrônômicas Campus De Botucatu, Botucatu, 2001.

DEAN, W. **With broadax and firebrand: the destruction of the Brazilian Atlantic Forest**. Berkeley, CA: University of California Press. 1995.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (RS). **Diretrizes ambientais para o desenvolvimento dos Municípios do Litoral Norte**: zoneamento ecológico – econômico e proposta de enquadramento dos recursos hídricos. Porto Alegre: FEPAM, 2000. (Cadernos de Planejamento e Gestão; v.1);

ENGESAT. **Landsat 5 TM - Ficha Técnica Resumida**. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>>. Acesso em: 04 maio 2011.

GELWICK, F. P. *et al.* Fish assemblage structure in relation to environmental variation in a Texas Gulf coastal wetland. **Estuaries**. Columbia, SC, US, v. 24, n.2, p. 285-296, 2001.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P. (org.). **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. 30 p. (Relatório técnico Ministério do Meio Ambiente: Secretaria de Biodiversidade e Florestas no âmbito do mapeamento da cobertura vegetal dos biomas brasileiros), 2006.

HASENACK, H.; FERRARO, L. W. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. **Pesquisas**, Porto Alegre, n. 22, p. 53-70, 1989.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM (**Série Geoprocessamento, 3**), 2010.

HEILER, G.; HEIN, T.; SCHIEMER, F. Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. **Regulated Rivers: Research and Management**. v. 11, p. 351-361, 1995.

INPE (Org.). **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 22 jan. 2011.

IPCC. **Climate Change 2001: Synthesis Report**, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 184 p. 2001.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing**. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 379 p, 1986.

JUNK, W. J.; BAILEY P. B.; SPARKS R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, CA, v. 37, n. 106, p. 110-127, 1989.

KINDLMANN, P.; BUREL, F. Connectivity measures: a review. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 23, p. 879-890, 2008.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. Uniderp. 908 p., 2006.

LORENZ, J. J.; SERAFY, J. E. Subtropical wetland fish assemblages and changing salinity regimes: implications for everglades restoration. **Hydrobiologia**. The Hague, Holanda, v. 569, p. 401-422, 2006.

MARTINI, L. C. O. *et al.* Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila<sub>a</sub> na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 11, n. 4, p. 1413-1452, 2006.

MEDINA, G. F.; VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 493-502, 2007.

MOREIRA, M. A. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos**. 142 p. Dissertação (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP, Piracicaba, 1997.

NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. **Interciencia**. Caracas, VE, v. 15, p. 424-441, 1990.

NEIFF, J. J. Large rivers of South America: toward the new approach. **Verhandlungen des Internationalen Vereinigung Limnologie**, Stuttgart, v. 26, n. 26, p. 167-180, 1996.

POOLE, G. C. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. **Freshwater Biology**. Oxford, Inglaterra, v. 47, p. 641-660, 2002.

PRINGLE, C. M. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important. **Hydrologic Processes**. v. 17, p. 2685-2689, 2003.

RICHARDS, J. A. Thematic mapping from multitemporal image data using the main components transformation. **Remote Sensing and Environment**. v. 16, n. 1, p. 35-46, 1988.

SAKAMOTO, T. *et al.* Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 295-313, 2007.

SCHÄFER, A. Ecological characteristics of the coastal lakes in southern Brazil: a synthesis. **Acta Limnologica Brasiliensia**. Rio Claro, Brasil. v. 4, p. 111-122, 1992.

SCHEFFER, M.; GEEST, G. J. Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 112, p. 227–231, 2006.

SCHWARZBOLD, A. **Influência da morfologia no balanço de substâncias e na distribuição de macrófitos aquáticos nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul**. 95 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia da UFRGS, Porto Alegre, 1982.

SCHWARZBOLD, A.; SCHÄFER, A. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Amazoniana**, Manaus – AM, v. 9, p. 87-104, 1984.

SOARES, P. H. M. *et al.* Hydrological connectivity in coastal inland systems: lessons from a Neotropical fish metacommunity. **Ecology of Freshwater Fish**, Copenhagen, DK, v. 19, p. 7-18, 2010.

TAYLOR, P. D. *et al.* Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 68, p. 571-573, 1993.

TAYLOR, P. D; FAHRIG, L.; WITH, K. A. Landscape connectivity: a return to the basics. In: K. Crooks & M. Sanjayan. *Connectivity Conservation*. Boston, Massachusetts, US **Conservation Biology** v. 14, p. 29-43, 2006.

TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. On the usage and measurement of landscape connectivity. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 90, p. 7-19, 2000.

TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. On the use connectivity measures in spatial ecology. A reply. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 95, p. 152-155, 2001.

TOCKNER, K. *et al.* Hydrological connectivity and exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system. **Freshwater Biology**, Danube, Austria, n. 41, p. 521-535, 1999.

VILLWOCK, J. A. **Contribuição à geologia do holoceno da província costeira do Rio Grande do Sul – Brasil**. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1972.

VILLWOCK, J. A. Geografia, geologia e gênese do Litoral Norte. **Ecosistemas e biodiversidade do Litoral Norte do RS**. Porto Alegre, Nova Prova, p. 12-25, 2009.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, v. 8, p. 1-45, 1995.

WANTZEN, K. M.; JUNK, W. J.; ROTHHAUPT, K. An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. **Hydrobiologia**, The Hague, Holanda, v. 613, n. 1, p. 151-170, 2008.

WARD, J. V. *et al.* Riverine landscape diversity. **Freshwater Biology**. Oxford, Inglaterra, v. 47, p. 517–539, 2002.

## APÊNDICE

Tabela 1 - Projeção dos grupos de conexões das lagoas estudadas, demonstrando estes em cada método utilizado, e em cada ano. As lagoas são numeradas de acordo com a figura 1 (pag. 17) deste trabalho.

(Continuação)

2009 (ano de cheia)				1988 (ano de estiagem)			
Lagoa	GRUPOS			Lagoa	GRUPOS		
	RGB	NDVI	B5		RGB	NDVI	B5
<b>1</b>	1	1	1	<b>1</b>	1	1	1
<b>2</b>	2	2	2	<b>2</b>	2	2	2
<b>3</b>	3	3	3	<b>3</b>	3	3	3
<b>4</b>	4	4-5	4	<b>4</b>	4	4-5	4-7
<b>5</b>	5	6	5	<b>5</b>	5	6	5
<b>6</b>	6	7	6	<b>6</b>	6	7	6
<b>7</b>	7	8-9-16	7	<b>7</b>	7	8-9	8
<b>8</b>	8	10	8	<b>8</b>	8	10-11	9-28-29-40
<b>9</b>	9	11	9	<b>9</b>	9-17-23-24-25-28-40	12	10-11
<b>10</b>	10-11	12	10-11	<b>10</b>	10-11	13	12
<b>11</b>	12	13	12	<b>11</b>	12	14	13
<b>12</b>	13	14	13	<b>12</b>	13	15	14
<b>13</b>	14	15	14	<b>13</b>	14-15	16	15
<b>14</b>	15	17	15	<b>14</b>	16	17	16
<b>15</b>	16	18-19	16	<b>15</b>	18-19	18-19	17
<b>16</b>	17	20	17	<b>16</b>	20	20	18-19
<b>17</b>	18	21	18	<b>17</b>	21	21	20
<b>18</b>	19	22	19	<b>18</b>	22	22-28-40	21
<b>19</b>	20	23-24-25	20	<b>19</b>	26	23	22
<b>20</b>	21	26	21	<b>20</b>	27	24	23-24

(Conclusão)

2009 (ano de cheia)				1988 (ano de estiagem)			
Lagoa	GRUPOS			Lagoa	GRUPOS		
	RGB	NDVI	B5		RGB	NDVI	B5
<b>21</b>	22	27	22	<b>21</b>	29	25	25
<b>22</b>	23	28-40	23	<b>22</b>	30	26	26
<b>23</b>	24	29	24	<b>23</b>	31	27	27
<b>24</b>	25	30	25	<b>24</b>	32	29	30
<b>25</b>	26	31	26	<b>25</b>	33	30	31
<b>26</b>	27	32	27	<b>26</b>	34	31	32
<b>27</b>	28-40	33	28-40	<b>27</b>	35-36-38-39	32-34	33
<b>28</b>	29	34	29	<b>28</b>	37	33	34
<b>29</b>	30	35	30	<b>29</b>		35	35-36
<b>30</b>	31	36	31	<b>30</b>		36	37
<b>31</b>	32	37	32	<b>31</b>		37	38
<b>32</b>	33	38	33	<b>32</b>		38	39
<b>33</b>	34	39	34	<b>33</b>		39	
<b>34</b>	35		35	<b>34</b>			
<b>35</b>	36		36	<b>35</b>			
<b>36</b>	37		37	<b>36</b>			
<b>37</b>	38		38	<b>37</b>			
<b>38</b>	39		39	<b>38</b>			
<b>39</b>				<b>39</b>			
<b>40</b>				<b>40</b>			

Fonte: Autor, 2011.