

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO E CORRELAÇÃO DE SPEARMAN EM IMAGENS TM PARA O ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA – SÃO PAULO-BRASIL

JOÃO BATISTA PEREIRA CABRAL
CAJ/FEJ/UFG, Departamento de Geografia,
Rua Riachuelo 1530, Setor Samuel Graham, Cep 75800-000 Jataí-GO-BR.
cabral@jatai.ufg.br ou jbpc@zipmail.com.br

RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivo testar as técnicas de segmentação e correlação de Spearman em produtos do satélite Landsat-5 para identificar a concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita - São Paulo - Brasil. Empregou-se a análise de correlação simples bivariada para se analisar as correlações existentes entre parâmetros físico-químicos medidos *in situ* e os dados extraídos das imagens TM, após a aplicação do método de segmentação. Os resultados obtidos na pesquisa indicaram que classificação digital não supervisionada é útil para se identificar diferentes massas d'água presentes no reservatório, verificando-se nas imagens segmentadas com limiar de 95%, 90% e 75%, um número de sete, oito e dez classes, com características espectrais diferentes e quanto a técnica de componentes principais verificou-se um maior número de correlações entre os dados TM e os parâmetros físico-químicos, melhorando a estimativa de concentração de sólidos em suspensão na água.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, matéria inorgânica, Barra Bonita

ABSTRACT

"Use of techniques of segmentation and correlation Spearman of images TM for the study of the concentration of sediments in suspension in the reservoir of Barra Bonita-são paulo-brasil". The purpose of this research is to test segmentation and Spearman correlation techniques in TM-Landsat 5 images to identify the concentration of suspended sediments in Barra Bonita Reservoir, São Paulo - Brasil. The simple bivariate correlation method was applied to analyse the existent correlation between physical and chemical in situ parameters and data from TM Landsat images, after the application of principal components segmentation and methods. The results demonstrated that unsupervised digital classification is useful to identify different water masses in the Barra Bonita Reservoir and makes it possible to discriminate seven, eight and ten classes with different

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

spectral properties, based on respectively, 95%, 90% and 75% thresholds. Considering the principal component analysis, a larger number of correlations was verified between TM data and the analysed parameters, improving the suspend solids concentration estimate.

Keywords: remote sensing, inorganic matter, Barra Bonita.

1. Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso de imagens do sensor Landsat-5 TM, para estimar a concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita, a partir da caracterização de diferentes massas d'água, através das técnicas de segmentação e correlação de Spearman.

1.1. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, foram definidos os seguintes

- Aplicar algoritmos de segmentação de imagens multiespectrais, para se identificar diferentes massas d'água, definindo-se regiões espectralmente distintas no reservatório;
- Estudar a correlação entre dados *in situ* de concentração de sólidos totais em suspensão e dados TM, originais e processados, considerando-se os diferentes conjuntos de estações amostrais definidos pela segmentação das imagens;
- Comparar os resultados deste estudo com os de trabalhos similares realizados anteriormente nesse reservatório, propondo-se um método para a estimativa do total de sólidos em suspensão na água.

2. Área de estudo

O reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Barra Bonita (ver [figura 1](#)) foi construído em 1962 com a finalidade principal de gerar energia elétrica, fazendo parte do complexo de barragens situadas ao longo do rio Tietê. Esse reservatório está inserido em uma das regiões mais populosa e desenvolvida do interior do Estado de São Paulo, sendo formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, contando também com a contribuição de inúmeros rios tributários. Além de ser um importante recurso hídrico-energético, o reservatório da UHE Barra Bonita destina-se a múltiplos fins, como hidrovía, irrigação, pesca e piscicultura, recreação, abastecimento urbano e para desenvolvimento do complexo industrial da região (Calijuri, 1988, Refosco, 1996).

As principais características morfoométricas do Reservatório de Barra Bonita, estão descritas na [tabela 1](#). A UHE de Barra Bonita está situada sobre as formações geológicas da Bacia do Paraná. Geomorfologicamente, a região é classificada como depressão periférica com "relevo de cuesta" (IPT, 1981).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

O reservatório de Barra Bonita encontra-se em uma região de transição entre os climas tropical e subtropical. Segundo Calijuri (1988) e Refosco (1996), a classificação climática de Köppen para a região onde se insere a área de estudo, é Cwa. A precipitação média anual está em torno de 1.500 mm, com mínima de aproximadamente 30mm de precipitação no mês mais seco.

A temperatura média do mês mais quente atinge mais de 22° C e a do mês mais frio está acima de 18° C. A vegetação encontrada nesta região, segundo dados do IBGE (Brasil, 1992), é formada por floresta semidecidual e savana, que se encontram bastante degradadas, dando muitas vezes lugar à monocultura intensiva de cana de açúcar, plantações esparsas de eucaliptos e, em menores proporções, culturas agrícolas temporárias.

O Reservatório de Barra Bonita é formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, tendo como principais tributários os seguintes rios e riachos: Margem esquerda: Ribeirão do Tuni, Córrego do Araquazinho, Ribeirão Araqua, Córrego da Água Espalhada, Córrego do Cerrito, Córrego da Pedra do Cerrito, Rio do Lava-pés, Rio Capivara, Ribeirão Bonito, Córrego da Água Branca, Córrego da Mina, Córrego da Campina e Córrego dos Setes Garantãs. Margem Direita: Córrego Barreirinho, Ribeirão das três Barras, Ribeirão da Prata, Córrego do Campo, Ribeirão da Onça, Córrego Santa Cruz, Córrego da Passagem, Ribeirão Turvo e Córrego da Pedra de Amolar (Soriano, 1997).

Soriano (1997), realizou um estudo em que foram levantadas as fontes poluidoras deste reservatório (ver [tabela 2](#)).

3. Revisão bibliográfica

3.1. Sensoriamento remoto

À medida que a tecnologia avança, o homem tende a ampliar suas aplicações. Assim também tem sido com o sensoriamento remoto, que, com o passar dos anos, tem fornecido resultados positivos, pelo esforço dos pesquisadores na busca de novas fontes alternativas para o monitoramento e controle ambiental do planeta (Sausen, 1996).

O sensoriamento remoto pode ser entendido, *stricto sensu*, como o uso de um conjunto de modernos sensores operados *in situ* ou a bordo de aeronaves, espaçonaves, etc, e equipamentos para transmissão e processamento dos dados adquiridos, cujo objetivo é estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e os alvos presentes na superfície. Em termos mais amplos, sensoriamento remoto representa a coleta de informações sobre as propriedades de um objeto, sem contato físico entre o observador e o objeto (Mather, 1999, Mecloy, 1995).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", GeoFocus (Artículos), nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

3.2.2. Transformação por componentes principais (PC)

As bandas do sensor TM apresentam altos índices de correlação entre si, principalmente aquelas na faixa do visível, resultantes da topografia, da proximidade e da largura das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos (Braga,1998, Netgis,1999).

A análise de componentes principais(PC) é uma técnica estatística multivariada, que reduz ou remove redundâncias de bandas espectrais, através da rotação e translação dos eixos num espaço de atributos espectrais hipotéticos. Através de uma transformação matemático-estatística, gera-se um novo conjunto de imagens, de bandas ou fatores, não correlacionados entre si, e que apresentam, decrescentemente, a máxima porcentagem de variabilidade das informações contidas nas bandas originais.

Os fatores resultantes constituem-se em uma combinação linear ponderada das variáveis originais, e a primeira componente (ou fator) PC1 concentra a maior parte da variância dos dados.

A segunda componente PC2 resulta de uma combinação linear ponderada das variáveis originais não correlacionadas com PC1 e representa a máxima proporção da variabilidade restante não explicada por PC1. E assim sucessivamente, sendo o número de fatores resultantes igual ao número de bandas às quais tenha-se aplicado a transformação (Braga,1998, Netgis,1999).

Este método é utilizado por ter a vantagem de realçar informações dinâmicas entre bandas adjacentes, além de apresentar a vantagem de dispensar a calibração e a correção atmosférica das imagens (Chavez y Mac Kinnon, 1994).

A técnica de componente principal foi utilizada, neste trabalho, com o objetivo de maximizar a variância das bandas e sua correlação com o total de sólidos em suspensão no reservatório, além de se amenizar os efeitos atmosféricos.

3.2.3. Classificação não supervisionada

Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens: 1) a classificação supervisionada, na qual o usuário identifica alguns dos "pixels" (elementos de resolução) pertencentes às classes desejadas e deixa ao computador a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes àquelas classes, baseado em alguma regra estatística preestabelecida, e, 2) a classificação não-supervisionada em que o próprio computador decide, também com base em regras estatísticas, quais são as classes a serem separadas e quais os "pixels" pertencentes a cada uma (Crosta, 1993, Rosa y Brito, 1996).

A técnica de classificação não-supervisionada de segmentação consiste em agrupar "pixels" com características similares, considerando não somente as variações dos níveis de cinza em cada banda espectral, como também a textura dos padrões numa determinada cena (Braga, 1998, Netgis,

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, n° 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

1999, Santos y Venturiere, 1998). A segmentação de imagens, segundo Nascimento *et al* (1996) e Woodcok y Harward (1992), é um processo que subdivide uma imagem em suas partes constituintes ou objetos.

O classificador não supervisionado por regiões denominado *ISOSEG* no software *SPRING* é um algoritmo de agrupamento de dados por regiões definidas previamente no processo de segmentação. Existem dois tipos de segmentação de imagens disponíveis no aplicativo utilizado, uma das formas de se delimitar regiões homogêneas consiste na detecção das bordas ou detecção de bacias, a outra, na delimitação de objetos pela técnica de crescimento de regiões.

Para executar a segmentação de uma imagem, é necessário definir dois parâmetros de entrada, quais sejam: 1) o índice de similaridade, que corresponde ao valor limite, em termos de radiancia, ou nível de cinza, a partir do qual os pixels são agrupados em um mesmo segmento, definindo-se a diferença, em níveis de cinza, entre cada classe que será posteriormente identificada e, 2) o índice de área, que corresponde ao tamanho ou número mínimo de "pixels" para que uma região seja individualizada. (Duarte *et al*, 1997, Netgis, 1999, Shimabukuro *et al* 1999).

3.3. Comportamento espectral da água

3.3.1. Aspectos gerais

O comportamento espectral da água é resultado dos processos de absorção e espalhamento da radiação no seu interior, e a radiação detectada pelo sensor fornece informações sobre características físico-químicas e biológicas da região estudada. Os estudos de comportamento espectral da água baseiam-se na aquisição simultânea de dados espectroradiométricos e dados *in situ* de parâmetros de qualidade da água e concentram-se, principalmente, na faixa espectral correspondente à radiação fotossinteticamente ativa, entre 350 e 700nm. De um modo geral, a reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda. Verificam-se as maiores reflectâncias na região do visível, mais especificamente, nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na direção do infravermelho, limitando-se os estudos de qualidade da água ao espectro visível (Robert *et al*, 1995).

A reflectância espectral de um corpo d'água, depende das propriedades espectrais de seus componentes. Os componentes de um volume d'água que afetam seu comportamento espectral podem ser classificados em: pigmentos e complexos protéicos responsáveis pela fotossíntese, substâncias orgânicas dissolvidas, e material particulado em suspensão (Bricaud y Sathyendranath, 1981). Os principais responsáveis pelo espalhamento da radiação na água, são as partículas suspensas como bactérias, células dos fitoplânctons e os detritos orgânicos e inorgânicos, enquanto os principais absorvedores da radiação são os pigmentos fotossintéticos, os detritos orgânicos e a matéria orgânica dissolvida.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

O fitoplâncton é o responsável pela produção de matéria orgânica, através da utilização de nutrientes inorgânicos e energia solar. As partículas inorgânicas são formadas por siltes e minerais de argila, que são carregados para os corpos d'água por ação do vento ou da chuva e pela ressuspensão ou erosão do fundo, podendo também conter conchas carbonáticas de moluscos e carapaças silicosas de certas algas planctônicas. A interação dos sedimentos em suspensão na água com a radiação eletromagnética (REM) depende da natureza, granulometria e concentração das partículas (Curran y Novo, 1988).

Dekker *et al.* (1996), descreve em seu trabalho os métodos para se estudar a água, que são divididos em: a) empírico, em que se relaciona estatisticamente valores espectrais e os parâmetros medidos na água; b) semi-empírico, utilizado quando os parâmetros espectrais de interesse são conhecidos; e c) analítico, quando as propriedades ópticas analíticas inerentes e aparentes são usadas para modelar a reflectância, e vice versa.

3.3.2. Caracterização limnológica do reservatório de Barra Bonita

Segundo Calijuri (1988), os dados limnológicos coletados no reservatório de Barra Bonita demonstram uma variação sazonal de suas propriedades, com um aumento do seu nível trófico na época de inverno, devido a um maior tempo de retenção da água no reservatório, o que propicia o acúmulo de fósforo, que é a principal causa de sua eutrofização.

O reservatório também apresenta variações sensíveis na cor e na distribuição espacial das massas d'água do reservatório, tendo sido identificadas seis classes espectrais na água, durante o período de inverno (Novo y Tundisi citado por Novo y Braga, 1991). De acordo com Calijuri, (1988), existem dois tipos de águas com qualidades ópticas substancialmente diferentes, em decorrência da comunidade fitoplanctônica na condição lótica (rio Tietê e rio Piracicaba), provavelmente com predomínio de organismos menores, e no corpo central do reservatório provavelmente ocorrem organismos maiores (colônias), com predomínio de cianobactérias.

Através de análises de amostras de água realizadas por Novo y Braga (1991; 1995) é possível verificar que, de um modo geral, predominam no reservatório de Barra Bonita águas com alta concentração de material inorgânico particulado, com certos trechos apresentando um complexo deste com matéria orgânica dissolvida. A concentração de sólidos em suspensão varia de acordo com a descarga de águas vindas dos rios afluentes (rede de drenagem); e dos esgotos domésticos e industriais interferindo na turbidez e, conseqüentemente, na produtividade da água.

3.3.3. O projeto *Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos - SISA*

O projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos (SISA) compreendeu o estudo da qualidade da água do Reservatório de Barra Bonita através da utilização de dados multiespectrais de imagens TM e dados limnológicos coletados *in situ* simultaneamente (Novo y Braga, 1991, 1995; Braga *et al.*, 1993).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

A escolha do reservatório de Barra Bonita para o projeto SISA deveu-se ao fato do mesmo ser antigo e estar sujeito a problemas de eutrofização (Calijuri, 1988); ser um sistema intensamente estudado através de métodos limnológicos convencionais (Tundisi, 1988); estar localizado numa região de intensa transformação nos padrões de ocupação do solo; e possuir um volume considerável de dados históricos de hidrologia e sensoriamento remoto.

No âmbito do projeto SISA foram realizadas 18 coletas de dados limnológicos simultâneas à passagem do satélite Landsat 5 sobre a região de estudo, entre maio de 1989 e outubro de 1991, abrangendo situações de inverno e verão. Entretanto, em somente cinco datas as condições atmosféricas permitiram a obtenção de imagens TM, como a de 20 de julho de 1989, utilizada na presente pesquisa. Ao longo destas 18 coletas em campo, foram medidos as concentrações de sólidos em suspensão - CSS, concentração de material inorgânico - MI, concentração de material orgânico - MO, profundidade do disco de Secchi – SEC, e concentração de clorofila total - CLTOT, em 30 estações de coletas distribuídas ao longo de todo o reservatório.

O projeto teve os seguintes objetivos: 1) Realizar estudos radiométricos básicos ao nível de campo e de laboratório, visando ampliar o conhecimento dos efeitos que os diferentes componentes opticamente ativos do corpo d'água têm sobre o seu espectro refletivo; desenvolver métodos para a estimativa de parâmetros indicadores de qualidade da água a partir de dados de sensoriamento remoto orbital; 2) desenvolver modelos de estimativas do estado trófico do corpo d'água, com base na integração de dados de SR. orbital e dados limnológicos convencionais.

Os dados multiespectrais utilizados foram: valores de reflectância aparente calculados a partir dos níveis digitais (Godoy Junior y Novo, 1989) e razão entre bandas-reflectância. Foram então realizadas análises de correlação entre os pares de variáveis multiespectrais e *in situ* (Novo y Braga 1991, 1995).

Nas análise de correlação para a data de 20 de julho de 1989, Novo & Braga (1995), encontraram correlações estatisticamente significativas, entre os dados físico-químicos, o CSS e o MI, apresentaram uma correlação de 0,98 nas trintas estações de coletas distribuídas em todo o reservatório, e nas 11 estações de coletas distribuídas no braço do rio Tietê. Entre os dados TM versus os Parâmetros físico-químicos, a maior correlação verificada foi entre MI e B3R, que se encontra no corpo central do reservatório, apresentando uma correlação significativa de 0,93, isto só não ocorreu no braço do rio Tietê.

Estudos realizados por Steffen *et al.* (1993) demonstraram que a assinatura espectral do reservatório de Barra Bonita, no braço do rio Tietê, revelava uma elevada concentração de material inorgânico em suspensão na água, com acentuada reflectância na faixa do vermelho. Já no braço do rio Piracicaba, os espectros apresentaram uma reflectância média baixa, típica de águas com maior transparência, com pico na faixa do verde e baixa reflectância no azul, indicando a presença de matéria orgânica. Os espectros obtidos no corpo central do reservatório, onde as águas se misturam, corresponderam a uma transição entre espectros obtidos nos rios Tietê e Piracicaba.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

4. Materiais e Métodos

4.1. Materiais

4.1.1. Imagens Landsat – 5

Foi utilizada uma imagem do sensor Landsat 5 TM, correspondente à órbita/ponto WRS 220/76, nas bandas 1, 2, 3 e 4, de vinte de julho de 1989, selecionada a partir de dados disponíveis do projeto SISA, coincidente com uma coleta de parâmetros físico-químicos da água na região.

4.1.2. Material de processamento e cálculo

Para o processamento das imagens e dos dados *in situ*, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Microcomputador AMD K6 II - 400 MHZ, 64 Mbytes de memória "ram", disco rígido de 4.2 Gbytes; Programa SPRING, versão 3.3 para Windows 95; Planilha de dados EXCEL e Programa estatístico SPSS, versão 8.0.

4.1.3. Material cartográfico

O material cartográfico utilizado consistiu nas seguintes cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000: São Manuel, Barra Bonita e Santa Maria da Serra.

4.1.4. Parâmetros físico-químicos da água

Dentre os parâmetros físico-químicos da água coletados no âmbito do projeto SISA, foram analisados quatro parâmetros: concentração de sólidos em suspensão (CSS), profundidade do disco de secchi (SEC), concentração de material inorgânico no CSS (MI) e concentração de material orgânico no CSS (MO).

Estes dados foram obtidos das trinta estações de coleta do projeto SISA, sendo onze localizadas no braço do rio Tietê, onze no braço do rio Piracicaba e oito na região do encontro dos rios Tietê e Piracicaba, que consiste no lago principal do reservatório (Novo y Braga 1991, Novo y Braga, 1995). A descrição da metodologia de obtenção e análise das amostras de água coletadas encontra-se em Calijuri (1988).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

4.2. Métodos

4.2.1. Correção geométrica das imagens

O georreferenciamento da imagem TM foi executado através da identificação de pontos de controle (gpcs) na imagem digital, visualizada no monitor do computador, e posterior localização dos mesmos nas cartas topográficas, tendo sido selecionados onze pontos de controle. Após a seleção de pontos de controle nas cartas topográficas e nas imagens, os mesmos foram transferidos para um banco de dados no software de geoprocessamento SPRING, etapa que compreendeu a correção geométrica através de um modelo linear, com a utilização de um polinômio de 1º grau, e técnica de reamostragem por vizinho mais próximo.

A correção geométrica da imagem consistiu na associação das coordenadas da imagem (linha e coluna), com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) adquiridas através de mapas topográficos na escala 1:50000 do IBGE.

A utilização de um modelo de primeiro grau, justifica-se pelo fato da imagem vir, processada pelo INPE de Cachoeira Paulista, em projeção UTM, sendo necessário apenas referenciar-se as coordenadas a imagem.

4.2.2. Geração de imagem máscara

Com o objetivo de melhorar o desempenho dos algoritmos de classificação e reduzir o tempo e custo de processamento digital dos dados, foi desenvolvida uma máscara, para eliminar as informações referentes à porção terrestre da imagem. Inicialmente, o contato entre terra e a água do reservatório de Barra Bonita foi delimitado, através de uma edição topológica tendo como base a banda TM4, chegando-se a uma imagem temática com somente duas classes "terra" e "água". Em seguida, através do módulo "LEGAL" do SPRING, as imagens foram recortadas segundo a imagem temática acima referida, obtendo-se, finalmente, imagens com informações somente sobre o espelho d'água do reservatório. Abaixo, o programa em LEGAL utilizado para o recorte das imagens, exemplificado para uma única banda.

4.2.3. Transformação por componentes principais

A transformação por componentes principais seguiu a metodologia de Watrin *et al.* (1996), implementada no programa SPRING de mesmo nome. Utilizaram-se separadamente as bandas TM1,2,3 e 4, visando otimizar a extração de informações das imagens para a estimativa da concentração de sólidos em suspensão no reservatório, realizando-se assim a correção dos efeitos atmosféricos da imagem e melhorando o nível de correlação já encontrado no projeto SISA.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

A amostragem das imagens foi realizada através do posicionamento interativo de um cursor retangular, de dimensões variáveis, sem sobreposição, para melhorar o desempenho do algoritmo do programa SPRING, assunto já demonstrado em Braga (1998).

4.2.4. Classificação por regiões

O método de segmentação utilizado foi o de "crescimento por região", que é um procedimento em que o algoritmo extrai os atributos estatísticos (média e matrizes de covariância) do conjunto de regiões definido pela segmentação (Duarte *et al*, 1997; Shimabukuro *et al*, 1999). No presente estudo foram definidos os limiares 4 e 2 para área e similaridade, respectivamente.

Para classificar diferentes tipos de água, utilizou-se o sub-módulo *isoseg*, que é um algoritmo não-supervisionado de agrupamento de dados disponível no SPRING.

4.2.5. Análise de correlação

Esta etapa do trabalho seguiu a metodologia proposta por Braga (1998). Empregou-se a análise de correlação simples bivariada para se analisar as correlações existentes entre parâmetros físico-químicos da água, medidos *in situ*, e os dados extraídos das imagens TM. Foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman, dentro de um nível de significância ($-\alpha/2$) mínimo de 0,050, uma vez que o coeficiente de correlação de Pearson indica apenas correlações lineares, restringindo os resultados das análises, e Spearman, assume uma normalização linear e exponencial.

Os dados TM correspondentes aos valores médios de reflectância foram obtidos em áreas de 3x3 "pixels" (aproximadamente 8.100 m²), localizadas sobre as 30 estações de coletas, estabelecidas no projeto SISA.

5. Resultados e discussão dos dados

5.1. Registro da imagem

Foram utilizados onze pontos de controle para o ajuste das imagens à base cartográfica mencionada anteriormente, tendo-se aplicado uma equação de registro de 1º grau, com erro estimado de 0,874 "pixels", abaixo do valor mínimo aceitável de um "pixel" (Netgis, 1999).

Este resultado é bastante satisfatório, já que a área de estudo apresenta um relevo de cuesta com escarpas ao norte do reservatório que, além de dificultar a visualização de gcps, piora o desempenho dos algoritmos de correção, pela variabilidade do relevo ao longo de toda a cena estudada. Também é necessário citar a não atualização das cartas topográficas, que possuem uma média de 25 anos de defasagem, o que dificulta a extração de feições para pontos de controle. As

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

maiores dificuldades podem ser sentidas na rede de transporte, onde ocorreram grandes mudanças neste intervalo de tempo.

5.2. Componentes principais

A transformação por componentes principais, aplicada às bandas TM1, TM2 e TM3 foi gerada no software SPRING, a partir de amostras retangulares sobre as imagens sem sobreposição, a fim de discriminar as informações contidas no espelho d'água, pois se fosse gerada sobre toda a imagem, ocasionaria uma confusão entre as classes terra e água, assunto discutido em Braga (1998).

Depois de realizada a primeira etapa, geraram-se novas imagens por componentes principais, demonstrando que os dois primeiros fatores resultantes da transformação das imagens brutas, apresentam maior porcentagem de variância dos dados acumulados $PC1+PC2 = 98\%$.

A partir da análise da imagem falsa cor produzida com as imagens monocromáticas geradas a partir da transformação por componentes principais, foi possível verificar que a primeira componente (PC1 - ver [figura 2](#)), apresentou um bom contraste da cena, revelando os diferentes compartimentos espectrais no reservatório, enquanto que a segunda componente (PC2-ver [figura 3](#)) e terceira componentes (PC3) são mais homogêneas e revelam os problemas de "Stripping" das imagens TM, especialmente a PC3.

5.3. Segmentação

A segmentação foi aplicada somente às imagens TM brutas, para facilitar a escolha dos limiares de similaridade e por serem as imagens brutas e reflectância proporcionais em termos dos valores de cada "pixel", não se alterando os resultados. A classificação das imagens TM segmentadas, realizada segundo limiares de aceitação (Netgis, 1999) de 95%, 90% e 75% forneceu, respectivamente, sete, dez e doze classes temáticas distintas sobre o reservatório.

No braço do Rio Piracicaba foram observadas as maiores variações quanto à disposição das classes identificadas em cada um dos três limiares de aceitação testados. As classes observadas relacionam-se às diferentes características espectrais presentes no corpo d'água que, por sua vez, resultam de diferentes concentrações das substâncias opticamente ativas na água.

Devem ser considerados também fatores referentes às sub-bacias de drenagem dos afluentes que compõem o reservatório, tais como ocupação da terra, presença e natureza de atividades poluidoras, já destacadas na [tabela 2](#).

As bacias de drenagem que afluem ao braço do Piracicaba ocupam uma região de relevo mais acidentado (cuestas com forma de escarpas) e com uma vegetação um pouco mais preservada, mas que recebem uma elevada carga de esgotos domésticos e industriais nas suas águas (Soriano, 1997). O pequeno número de classes identificado no lago central da represa provavelmente resulta

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, n° 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

da presença de águas mais homogêneas, favorecidas por uma diminuição na vazão, maior tempo de residência da água no reservatório e o processo de decantação neste local.

Estes processos, aliados a presença de uma vegetação mais preservada nas margens, conjuntamente com o menor turbilhonamento da água e menor gradiente do relevo, propicia que o material em suspensão entre em processo de decantação, o que leva à ocorrência das águas mais homogêneas e ao decorrente menor número de classes nesta região.

Analisando-se a segmentação com índice de 90% (ver [figura 4](#)), podemos verificar que, de modo geral, a mesma apresentou um melhor detalhamento de classes, sem apresentar tanto ruído quanto a classificação com limiar de confiança de 75%. No entanto, parece que não foi discriminada uma pluma existente no terceiro afluente do Piracicaba "R8" (Ribeirão Serelépe).

A indicação, pela imagem da PC1, que as plumas das águas dos afluentes se espalham a montante, tanto quanto a jusante, foi confirmada pelas classes individualizadas junto ao despejo dos efluentes em vários trechos, não só no rio Piracicaba.

5.4. Análise estatística: correlação entre dados *in situ* e dados TM

5.4.1. Correlação entre os parâmetros ambientais (dados *in situ*)

Foi constatada uma alta correlação inversa entre MI e SEC, para todo o reservatório (ver [tabela 3](#)). Estes resultados, combinados com os de Novo y Braga (1995), que observaram que a variação temporal da concentração média de MI apresenta tendência semelhante ao CSS, demonstraram que o material inorgânico do sedimento em suspensão é a variável ambiental que mais influência a turbidez da água no reservatório de Barra Bonita.

As estações 14 e 15, localizadas no braço do rio Tietê, apresentaram a menor turbidez, avaliada pela profundidade do disco de secchi, sendo as estações 10 e 11 as que apresentaram a maior turbidez. Os coeficientes de variação das medidas de CSS, MI e MO apresentaram-se entre 38% ,referente às concentrações de MO, e 52% , referente à MI, demonstrando uma variabilidade relativa nas suas distribuições, sem denotar qualquer valor espúrio nas medições.

5.4.2. Análise conjunta dos dados das 30 estações de coleta dos parâmetros físico-químicos da água do projeto SISA

As correlações significativas dentro do limiar estabelecido de 95%, calculado entre as variáveis ambientais medidas *in situ* e as variáveis multiespectrais, para as 30 estações de coleta, foram apresentadas na [tabela 3](#). De um modo geral, observou-se um baixo número de correlações significativas entre os parâmetros ambientais e os dados TM no reservatório de Barra Bonita.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

A análise dos resultados, apresentados na [tabela 3](#), indica que os fatores resultantes da transformação por componentes principais, principalmente as bandas PC2B123 e PC2B1234 apresentaram os melhores índices de correlação com o CSS e MI. A variável MI (fração inorgânica do CSS) apresentou, em todos os casos, coeficiente de correlação superiores àquelas obtidas com o CSS, enquanto a variável MO (fração orgânica do CSS) não se correlacionou significativamente com qualquer uma das variáveis multiespectrais analisadas.

A ausência de correlação entre dados multiespectrais e material orgânico particulado ou dissolvido, já foi observada por Braga (1998), e comprovou que a presença de matéria orgânica, pela sua característica de absorção espectral de REM interfere na detecção de CSS na superfície dos corpos d'água.

Felix (1993) encontrou valores de correlação alto entre as variáveis MI e os valores de reflectância ($r=0,94$), das bandas TM3 e TM4. A segunda variável limnológica que apresentou correlações significativas com os valores de reflectância foi o CSS. Braga *et al.* (1995) encontraram correlações entre R23 (razão de banda entre TM2 e TM3) ($r=0,92$), e CSS. No entanto, para os dados referente ao corpo central da represa, a variável RB2B3 apresentou fraca correlação com MI.

Na estação de número 14 foram medidas as concentrações máximas de CSS e ,portanto, também de MI e MO, mas sua posição nos diagramas de dispersão de CSS (ver [figura 5](#)) não demonstra um comportamento espúrio nas correlações. Esta estação recebe forte influência do Córrego dos Remédios e Rio do Peixe, que carregam dejetos industriais e esgotos domésticos do município de Anhembi (ver [tabela 2](#)). Por outro lado, as estações 1,3,4 e 24 apresentam-se nitidamente fora de ajuste de uma possível reta de regressão.

5.4.3. Análise dos dados conforme as classes de segmentação

Numa segunda etapa, as correlações foram calculadas para os conjuntos de dados formados pelas estações que pertencessem à mesma classe nas imagens segmentadas de 95%, 90% e 75% (classe verde e azul), desde que apresentassem um mínimo de oito amostras, pois um número inferior apresentava correlações não significativas, entre os dados in situ e TM. Desta forma, foram definidos os seguintes subconjuntos de dados, sempre analisados para dois grupos de análise. Um grupo associado na imagem à cor azul e outro associado à cor verde.

Imagem obtida com limiar de aceitação de 95%:

Grupo 95_azul: estações 4;5;14;15;16;17;18;19;20;21;22e 28;

Grupo 95_verde: estações 10;11;12;13;24;25;26;27;29 e 30;

Imagem obtida com limiar de aceitação de 90%:

Grupo 90_azul: estações 15,16,17,18,19,20,21,22,23,24;

Grupo 90_verde: estações 10,11,12,13,25,26,27,29 e 30.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Imagem obtida com limiar de aceitação de 75%:

Grupo 75_azul: estações 4,5,6,14,15,16,17,18.

OBS – nesta imagem, as demais classes não apresentaram um número de estações suficiente para gerar outro grupo (ficaram todas abaixo do índice estabelecido de 8 estações).

5.4.3.1. Correlação no grupo "95_azul"

As correlações significativas entre os dados TM e parâmetros ambientais, CSS, MI, MO e SEC, para este grupo foram semelhantes às correlações calculadas para todas as trintas estações. Isto significa que, assim como ocorre no reservatório de um modo geral, nesta região a concentração de material inorgânico (MI) no CSS predomina sobre a concentração de matéria orgânica (MO). As estações que integram o grupo "95_azul" estão localizadas, em sua maioria, no braço do Rio Tietê.

As maiores correlações com o CSS e o MI ocorreram com as imagens PC2B123, PC2B1234, PC2R123 e PC2R1234 (ver [tabela 4](#)), assim como aconteceu para o grupo das 30 estações, sendo também PC2B123 a melhor imagem para a estimativa desses parâmetros, principalmente o MI, ($r=0,91$). verificou-se que três estações (4,5 e 14) encontram-se mais dispersas da curva de regressão (ver [figura 6](#)). Todas estas estações localizam-se em desembocaduras de afluentes da represa.

As estações 4 e 5 são influenciadas pelo Ribeirão Pabarana e Córrego da Pinga, recebendo um alto nível de dejetos industriais e sedimentos dos solos cultivados com cana-de-açúcar e, com problemas de fertilidade no solo (IPT, 1981).

Na classificação, com limiar de aceitação de 90%, as estações 4,5 e 14 foram classificadas diferentemente da que inclui as outras estações deste grupo 95_azul, reforçando a hipótese de que representam uma classe d'água diferente. Por outro lado, não foram observadas correlações do CSS e MI com a B3SISA, mas sim a banda B1SISA ($r=-0,68$ e $r=-0,74$ respectivamente).

5.4.3.2. Correlação com o grupo "95_verde"

As estações do grupo "95_verde" abrangem a porção final dos rios Tietê e Piracicaba e toda a região do "encontro" até a barragem do reservatório. A estação 24 (ver [figura 7](#)) apresentou os maiores valores de CSS, MI e MO deste grupo, o que provoca o seu distanciamento dos demais dados nos diagramas de dispersão, embora não interfiram no ajuste das correlações. Isso está ligado, segundo a Carta Geotécnica do IPT (1981), às áreas propícias a ravinamentos e vossorocas. Este comportamento foi observado também para a estação 14 no grupo "95_azul".

As correlações observadas nesta região entre os dados TM e os parâmetros ambientais de interesse foram, na maioria dos casos, mais baixas que na regiões analisadas anteriormente. O MI foi o parâmetro mais bem correlacionado, como nas outras regiões, mas as bandas PC1R123 e

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, n° 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

PC1R1234 (e não as PC2B123 e PC2B1234) foram as que ofereceram melhor ajuste com os dados *in situ* de TSS e MI (correlação mais alta entre MI e PC1R1234, $r=0,90$). Este resultado pode estar relacionado ao fato de que, nesta região, a MO se encontrar correlacionada com o TSS, o que não ocorreu nos outros conjuntos de dados analisados.

As estações 10 e 11 apresentaram a maior dispersão ao ajuste das correlações verificadas entre o CSS e o MI e as variáveis multiespectrais, caracterizando-se por apresentarem as medidas de CSS e, conseqüentemente, de MI e MO, mais baixas destes grupo. Na classificação com limiar de aceitação de 90%, estas estações formaram uma classe independente, fortemente influenciada pela drenagem do Rio Turvo e Córrego Ribeirão da Prata que carregam dejetos industriais, conservantes, resinas e óleos da fábrica Dierberger, localizada no município de Dois Córrego (ver [tabela 2](#)) e esgoto doméstico da cidade de Santa Maria da Serra, e ainda devido à alta susceptibilidade à erosão dos solos, segundo dados do IPT (1981), o que afeta principalmente a estação 10.

5.4.3.3. Correlação no grupo "90_azul"

As correlações significativas entre os dados TM e parâmetros ambientais, calculadas para o grupo 90_azul, são apresentadas na [tabela 5](#).

As correlações entre CSS, MI, MO e SEC, para esse grupo foram superiores às correlações calculadas para as trintas estações. Assim como ocorre no reservatório de um modo geral, nesta região a concentração de material inorgânico (MI) no CSS predomina sobre a concentração de matéria orgânica (MO). As estações que integram o grupo "90_azul" estão localizadas somente no braço do rio Tietê (ver [figura 4](#)).

As maiores correlações ocorreram entre o parâmetro ambiental MI, e as imagens PC2B123 e PC2B1234, assim como aconteceu para o grupo das 30 estações. As correlações com o CSS apresentaram valores mais baixos que aqueles obtidos para os grupos da classificação com limiar de 95%.

Neste novo estudo destaca-se a correlação existente entre PC3B1234 com relação ao CSS e MI. A estação 23 encontra-se dispersa da curva de regressão por receber dejetos industriais (indústrias alimentícias, confecções, curtumes e indústrias química) do Rio Capivari e Córrego Camur, provenientes do município de Botucatu, segundo dados de Soriano (1997) e conforme pode ser observado na [tabela 2](#).

Na classificação com limiar de aceitação de 90%, as estações 4,5 e 14 foram atribuídas a uma classe diferente da que inclui as outras estações desse grupo, reforçando a hipótese de que representam uma classe d'água diferente. A estação 23, que em princípio se encontrava entre as classes verde-claro e azul na segmentação de limiar de 95%, agora faz parte da classe azul do limiar de 90%. Não foram observadas correlações do CSS e MI com a B3SISA, como havia sido detectado para o grupo 95_verde.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

5.4.3.4. Correlação com o grupo "90_verde"

As estações do grupo "90_verde" abrangem uma porção do Rio Piracicaba e toda a região do "encontro" até a barragem do reservatório. As estações de número 8 e 9 apresentaram os maiores valores de CSS, MI e MO e a menor profundidade do disco de Secchi deste grupo, o que provoca o seu distanciamento dos demais dados no digrama de dispersão (ver [figura 8](#)), embora não interfiram no ajuste das correlações. Este comportamento também foi observado para a estação 14 no grupo "95_azul"

As correlações observadas nesta região entre os dados TM e os parâmetros ambientais de interesse foram, na maioria dos casos, mais elevadas do que nas regiões analisadas anteriormente. O MI foi o parâmetro mais bem correlacionado com CSS e SEC. As bandas B1SISA e B3SISA apresentaram correlação significativa, as PC2B123 e PC2B1234 foram as que ofereceram melhor ajuste com os dados *in situ* de CSS, MI e SEC (correlação mais alta entre TSS e PC2B123, $r=0,96$). Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que, nessa região, a MO não apresenta uma significativa correlação com o TSS, MI e SEC.

Deve-se salientar também que, nesta região, ao contrário das anteriores, as bandas B1SISA e PC2R1234 apresentaram correlações significativas com o MO, o que não foi detectado nos outros estudos.

As estações 10 e 11 apresentaram a maior dispersão ao ajuste das correlações verificadas entre o CSS e MI e as variáveis multiespectrais, caracterizando-se também por terem medidas de CSS e, conseqüentemente, de MI e MO, das mais baixas destes grupo.

Na classificação segmentada por 90%, as estações 10 e 11 formaram uma classe independente, fortemente influenciada pela drenagem dos rios afluentes, principalmente a estação 10.

5.4.3.5. Correlação com o grupo "75_azul"

As estações do grupo "75_AZUL" abrangem a porção inicial dos braços do rios Piracicaba e Tietê. A estação de número 14 apresenta os maiores valores de CSS, MI e a menor profundidade do disco de Secchi deste grupo, o que provoca o seu distanciamento dos demais dados nos digramas de dispersão (ver [figura 9](#)). Esta estação localiza-se próxima à região de macrófitas, onde a concentração de MO é superior à de MI, o que não parece interferir no ajuste das correlações. Esse comportamento já foi observado para a estação 14 no grupo "95_AZUL".

As correlações observadas nesta região entre os dados TM e os parâmetros ambientais de interesse foram, na maioria dos casos, menos elevadas que nas regiões analisadas anteriormente (grupo95_AZUL e grupo 90_AZUL). O MO foi o parâmetro mais bem correlacionado, com as bandas PC1R123 ($r=0,91$) e PC1R1234 ($r=0,84$). Para os dados limnológicos, CSS com MI apresentaram uma correlação significativa ($r=0,88$), assim como também CSS com SEC ($r=-0,95$).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", GeoFocus (Artículos), nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Foram observadas elevadas correlações entre MO e PC1R123 e MO e PC1R1234, resultado encontrado exclusivamente neste grupo. Deve-se salientar também que merecem destaque a B3SISA, com elevada correlação com CSS e SEC. Já as bandas PC2B123 e PC2B1234 se correlacionaram apenas com o MI, nessa região, ao contrário do que foi detectado nos outros estudos.

As estações 16 e 17 apresentaram a maior dispersão ao ajuste das correlações verificadas entre o CSS, SEC e MO, caracterizando-se também por ter medidas de MO das mais elevadas desses grupo. Esta estação se encontra próxima ao Córrego Sete Garantãs, que carrega efluentes domésticos e resíduos industriais do município de Botucatu, lançados primariamente no rio Alambari, além de se encontrar numa região que recebe muitos sedimentos de áreas de pastagem, segundo dados da Carta de Uso do Solo do IPT (1981).

6. Discussão dos resultados

6.1. Correlação entre dados físico-químicos da água

O CSS e o MI apresentaram correlação significativa em todos os grupos analisados, mas o CSS, conjuntamente com o MO, somente apresentaram correlação significativa para o grupo 95_VERDE, na região de encontro e na porção mais a jusante dos rios Tietê e Piracicaba, indicando que nestas duas regiões o MO (0,89) predomina sobre o MI. O MO e SEC se correlacionaram no grupo 95_verde (-0,71) e 75_azul (- 0,70), na região do encontro e na porção mais a montante dos rios, pois se encontra muito próximo à área de macrófitas aquáticas.

MI e SEC apresentaram correlações negativas em todas as classes estudadas; demonstrando, de um modo geral, coeficiente de correlação mais significativo que CSS e SEC, indicando a predominância do material inorgânico na água, comandada segundo a carta Geotécnica do IPT (1981), pelo solo cultivado com cana de açúcar, que é propício para desfertilização e enfraquecimento, o que leva o mesmo a sofrer processo de lixiviação.

6.2. Correlação entre os parâmetros físico-químicos da água e os dados TM

Em três grupos analisados (95_azul, 90_azul e 90_verde), as correlações mais significativas foram entre o MI e as PC2s. No grupo 95_verde, essa correlação não foi significativa; indicando que o limiar de 90% é mais adequado ao estudo de Barra Bonita.

O MI apresentou resultados mais significativos com a utilização das componentes principais, do que com as bandas de imagem reflectância ou mesmo, com as componentes de imagens reflectância, independentemente de serem as bandas 1, 2, e 3 ou 1, 2, 3 e 4.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", GeoFocus (Artículos), nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

A correlação de CSS com as PC2s desapareceu nos grupos em que o MO se correlacionou com SEC (95_verde e 75_azul), devido ao fato das estações de coleta deste grupo receberem influências das macrófitas aquáticas. A classe 90_verde foi a que apresentou o maior número de pares correlacionados e os valores mais altos de correlação. Isto indica que esse limiar tornou possível identificar os dois principais compartimentos deste reservatório: a região do encontro entre os dois rios, e o braço do rio Piracicaba (estações 10 e 11).

Já a classe 90_azul apresenta o menor número de pares correlacionados e com valores de correlação baixos com CSS. As bandas do projeto SISA B* apresentam um maior número de correlações com o grupo 90_verde, demonstrando que este recebe menor influência de dejetos industriais e urbanos.

6.3. Escolha da melhor classificação

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para a utilização de imagens orbitais como auxílio ao monitoramento da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, que possa ser utilizado por pesquisadores que não atuam especificamente na área de sensoriamento remoto. No entanto, a escolha dos limiares de área e similaridade da segmentação e dos limiares de aceitação da classificação, são parâmetros subjetivos, que devem ser estabelecidos para cada determinada área de estudo.

De um modo geral, os corpos d'água são representados por baixos valores de radiância e ainda com baixa variabilidade. Assim, os limiares de similaridade devem ser igualmente baixos, o que foi comprovado neste estudo.

O limiar de área depende do tamanho das massas d'água presentes, mas o valor de 4 (quatro), já utilizado por Braga (1998), mostrou-se adequado também para o reservatório de Barra Bonita. Por outro lado, todos os resultados de classificação, originados dos diferentes limiares de aceitação testados, forneceram informações úteis para a compreensão da distribuição das diferentes massas d'água.

As classes 95_azul e 90_azul incluíram, predominantemente estações do rio Tietê. Já as classes 95_verde e 90_verde incluíram, predominantemente, a região do encontro (lago principal, junto à barragem).

As desembocaduras dos afluentes de maior vazão foram discriminadas, formando classes, na maioria dos casos, independentes das demais, como exemplo podemos citar as estações de número 10 e 11. A classificação do grupo 75-azul revelou uma região semelhante a dos rios que formam o reservatório, mais a montante de ambos, caracterizada pela correlação entre MO e SEC, como ocorreu para as classes- 95_verde, na região do encontro. No entanto, os coeficientes de correlação entre os dados ambientais e os dados TM foram mais altos para os grupos 95_* e 90_* do que para o grupo 75_azul.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Um dos aspectos mais importantes da metodologia empregada foi revelar as diferentes massas d'água em regiões extensas, como a desse reservatório, demonstrando as descontinuidades que se expressaram, em termos das proporções de material orgânico e inorgânico nos sólidos em suspensão.

Estudos limnológicos devem, portanto, considerar essas descontinuidades para uma maior eficiência de esforços de amostragem e, portanto, melhor caracterização do corpo d'água estudado.

7. Conclusões

- O agrupamento das estações, de acordo com as classes temáticas da segmentação das bandas TM1, 2 e 3 melhorou as correlações entre os dados TM multiespectrais e os parâmetros físico-químicos da água. As segmentações revelaram-se úteis para a identificação de diferentes massas d'água no Reservatório de Barra Bonita, correlacionando-se com a distribuição de CSS e MI (grupo "95_verde, 95_azul, 90_verde, 90_Azul, 75_azul"), detectando-se através da segmentação duas grandes classes espectrais homogêneas no reservatório: uma que corresponde às estações onde se mediram concentrações mais baixas de CSS (grupos "95_verde" e "90_verde"), e outra que corresponde às estações com concentrações mais altas (grupos "95_azul" e "90_azul"), fortemente influenciadas pelos afluentes que carregam dejetos industriais e urbanos;
- Os produtos obtidos pela técnica de componentes principais apresentaram um desempenho significativo na detecção e discriminação de diferentes massas d'água no reservatório, proporcionando uma visão do ambiente extremamente valioso para subsidiar estudos limnológicos nesse reservatório. A distribuição das estações de coletas por classes, identificadas conforme a resposta espectral dos dados TM, conjuntamente com os parâmetros físico-químico da água, apresentam um maior número de correlações significativas, do que as encontradas no projeto SISA.
- Na classificação por segmentação com limiares de aceitação de 95%, 90% e 75%, a classificação com limiar de 90% foi a que melhor discriminou as classes homogêneas de água, assim como também onde ocorreram os melhores resultados de correlação (apresentou os melhores resultados no nível de significância de 99%), pois a aplicação da técnica de componentes principais conseguiu amenizar os problemas atmosféricos que as imagens sofrem. A análise do limiar de aceitação 75% demonstrou uma menor correspondência das classes com variabilidade dos dados de CSS e MI, do que as classificações com limiar de 95% e 90%.
- Nas correlações entre os parâmetros físico-químicos da água e os dados TM, o CSS e o MI se correlacionaram melhor com as bandas 1,2 e 3 e 1,2,3 e 4 das PCs (CSSxPC2B123, correlação de 0,96 e MIxPC2B123, correlação de 0,93 com nível significância de 99% no grupo 90_verde) do que as imagens reflectâncias apresentadas no Projeto SISA, aonde as melhores correlações ocorreram entre o CSSxRB2BB3 igual a -0,83 e MIxB3R com 0,93, demonstrando que os dados

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

de Principais Componentes são melhores para este tipo de estudo, reduzindo também o tempo computacional.

- Nas correlações entre os parâmetros físico-químicos da água, o MI foi superior ao MO em todas as correlações com relação ao CSS, resultado também alcançado no projeto SISA. As melhores correlações obtidas no Projeto SISA quanto a este parâmetros, foi entre CSSxMI com uma correlação de 0,98 para as 30 estações de coleta, e 0,98 para o CSSxMI, para as 11 estações de coletas no braço do rio Tietê. Na pesquisa realizada, somente no grupo 95_azul, o CSSxMI obteve uma correlação de 0,98, nos demais grupos a correlação foi de 0,97. Nos grupos onde MO se correlacionou com SEC, o CSSxPC2s não apresentou correlações significativas.
- Os resultados alcançados na presente pesquisa demonstraram que as técnicas utilizadas obtiveram um maior número de correlações significativas, do que as obtidas no projeto SISA. Tal fato demonstra que, os estudos realizados nesta pesquisa deveriam anteceder a amostragem dos parâmetros físico-químicos da água, o que minimiza o tempo e o custo de trabalho e melhora os níveis de correlações, quando comparado aos resultados obtidos através de dados realizados aleatoriamente. Esta pesquisa pode ser empregada em outras áreas de estudos com características semelhantes, desde que se tome os devidos cuidados, para não se gerar dados errôneos.

Referências Bibliográficas

- Brasil (1992): *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Série Manuais Técnicos em Geociências
- Braga, C.Z.F. (1988): "Utilização de Imagens dos Satélites Landsat-5 e NOAA-9 na Identificação de Parâmetros Físico-químicos da Água na Baía de Guanabara." São José dos Campos, *Dissertação* (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Braga, C.Z.F, Novo, E.M.L.M e Krug.T. (1993): "Considerações sobre a Modelagem Empírica de variáveis Limnológica no reservatório de Barra Bonita Utilizando Dados Landsat-5 TM", *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. VIII, pp. 85-90.
- Braga, C.Z.F. (1998): "Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, Transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruana, RJ". Rio de Janeiro - RJ. *Tese* (Doutorado em Geociências, Área de Concentração Geoquímica Ambiental) UFF - Universidade Federal Fluminense.
- Bricaud, A. and Sathyendranath, S. (1981): "Spectral signatures of substances responsible for the change in ocean color", en *Natures spectrales d'objects en télédéction*, Avignon, 8-11 Sept., pp 41-55.
- Calijuri, M. C. (1988): "Respostas Fisiocológicas da Comunidade fitoplanctônica e Fatores Ecológicos em Ecossistemas com Diferentes Estágios de Eutrofização". São Carlos-SP. *Tese* (Doutorado em Engenharia Ambiental) EESC - Escola de Engenharia de São Carlos.
- Chaves, P. Z. e Mac Kinnon, D. J. (1994): *Automatic detection of vegetation change in south United States using remotely sensed images*, 60, 5, pp. 571-583.
- Crosta, A. P. (1993): *Processamento Digital de Imagens*. Campinas. SP. IG/Unicamp.

Pereira Cabral B. J. (2003): “Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

- Curran, P. J. e Novo, E. M. L. M. (1988): “The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review”, *Journal of Coastal Research*, 4, 3, pp. 351-368.
- Duartes, V., Shimabukuro, Y., Santos, J. B., Mello, E. M. K., Moreira, J. C., Moreira, M.A, Souza, R. C. M., Shimabukuro, R. M. K. e Freitas, U.M. (1997): “Metodologia para criação do banco de dados digitais da Amazônia-projeto BADDAM”. *Relatório técnico*. INPE-7032-PUD/035, São José dos Campos – SP. 33p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Dekker, A G., Malthus, T. J. e Hoogenboom, H. J. (1996): “The Remote Sensing of Inland Water Quality”, en Danson, F. M. e Plummer, S.E. (Eds.): *Advances in Environmental Remote Sensing*. pp. 123-141.
- Godoy Jr, M. e Novo, E.M.L.M. (1989): *Processamento digital de dados TM/Landsat monitoramento de águas interiores*. (INPE-4956-PRE/1533).
- IPT (1981): “Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo”, Divisão de Minas e geologia Aplicada. *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*, v. 1.
- Mather, P. M. (1999): *Computer Applications in Geography*, Wiley, capítulo 5, pp. 140-175.
- Mecloy, K. R. (1995): *Resource Management Information System Process and Practice*. Taylor and Francis.
- Netgis-SPRING-Versão 3.3 (1999): “Manual do usuário”. *NETGIS* – www.dpi.inpe.br.
- Nascimento, P. S. R., Batista, G. T. e Almeida Filho R. (1996): “Efeito de Pré-Processamento (ajuste) no Desempenho e Classificação de Imagens Landsat”, *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. VIII, Salvador-BA, anais-cdrom.
- Novo, E.M.L.M. e Braga, C.Z.F. (1991): *Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos*. São José Dos Campos, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas espaciais.
- Novo, E.M.L.M. e Braga, C.Z.F. (1995): *Segundo Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos*. São José Dos Campos, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Refosco, J.L. (1996): “Ecologia da paisagem e Sistema de Informações geográficas no Estudo da Interferência da Paisagem na Concentração de Sólidos Totais em Suspensão no reservatório da Usina de Barra Bonita”, *Dissertação*, São Carlos – SP (Mestrado em Engenharia Ambiental) EESC - Escola de Engenharia de São Carlos.
- Robert, A., Kirman, C. e Lesack, L. (1995): “Suspended sediment concentration estimation from multi-spectral video imagery”, *International Journal Remote Sensing*, 16, 13, pp. 2439-2455.
- Rosa, R. e Brito, J.L.S. (1996): *Introdução ao Geoprocessamento*. Uberlândia - MG. Ed - CDU.
- Santos, J. R. e Venturiere, A. (1998): “Técnica de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal”, en Assad, E.; Sano, E.E.(Eds.), *Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura*. Brasília, DF, EMBRAPA (2a. edição, revista e ampliada), pp. 351-371.
- Sausen, T. M. (1996): “Introdução ao sensoriamento remoto”, *Caderno de atividades XI CISR*, São José dos Campos-SP., INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Shimabukuro, Y., Duarte, V., Mello, E.M.K. e Moreira, J. C. (1999): “Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia”. *Relatório Técnico*. INPE-6147-PUD/029, São José dos Campos – SP. 16p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.(1995) Relatório anual.
- Steffen, C. A. Gama, F.F e Novo, E.M.L.M. (1993): “Teste operacional de aquisição de dados aerotransportado – SADA, o experimento de Barra Bonita”. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. VII. Curitiba-PR, Anais 3, pp. 129-137.

Pereira Cabral B. J. (2003): “Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Soriano, A J.S. (1997): “Distribuição espacial e temporal de vertebrados bentônicos da represa de Barra Bonita-SP”. São Carlos – SP. *Dissertação* (Mestrado em Ecologia e Recurso Naturais) UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos.

Tundisi, J. G. 1988. *Limnologia e Manejo de Represas*. Série: Monografias em Limnologia. SãoPaulo-SP, Vol , tomo 2, EESCUSP/ACIESP.

Watrin, O. S., Valério Filho, M. e Santos, J.R. (1996): “Transformação por Componentes Principais e por Decorrelação de Bandas Aplicadas à Caracterização de feições da Paisagem do Nordeste Paraense”. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. VIII . Salvador-Bahia,. Cd-rom.

Woodcock, C. e Harward, V. J. (1992): “Nested-hierarchical scene models and image segmentation”, *International Journal of Remote Sensing*, 13, 16, pp. 3167-3187.

Woodcock, C. E., Collins, J. B., Gopal, S., Jakabhazy, V. D., Li, X., Macomber, S., Ryherd, S., Harward, V.J., Levitan, J., Wu, Y. e Warbington, R. (1994): “Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model”, *Remote Sensing of Environment*, 50, 3, pp. 240-254.

TABELAS

Tabela 1. Características morfométricas do reservatório de barra bonita

Profundidade média	10,2m
Área inundada	310 km ²
Perímetro	525 km
Volume total do reservatório	3,162x10 ¹⁰ m ³
Volume útil do reservatório	2,6x10 ¹⁰ m ³
Descarga total do vertedouro	4200m ³ .s ⁻¹

Fte. Adaptado de Calijuri, 1988

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Tabela 2. Fontes poluidoras do reservatório de Barra Bonita.

FONTES POLUIDORAS	TIPOS DE RESÍDUOS	PERCURSO PROVÁVEL
Município de Botucatu	<i>Esgotos domésticos e de indústrias (alimentícias, confecções, curtumes, químicas)</i>	Rio da Vila, Rio Capivari; afluentes do Rio Tietê
Usina de Álcool e Açúcar São Manuel	<i>Vinhaça</i>	Rio Araquazinho; afluentes do rio Tietê
Fabrica de extrato de tomate e conservas Costa Pinto.(município de Botucatu)	<i>Resíduos Industriais</i>	Rio Alambari; afluente do Tietê
Usina de Álcool Três Figueiras (Município de Anhembi)	<i>Vinhaça</i>	Córrego Caricaju, rio do Peixe; Afluentes do rio Tietê
Município de Anhembi	<i>Esgoto Doméstico</i>	Direto no rio Tietê
Município de Conchas	<i>Esgotos (o lixão localiza-se às margens do Rio Conchas)</i>	Rio Conchas; Afluente do rio Tietê
Município de Pereiras	<i>Esgoto doméstico</i>	Rio Conchas; Afluente do rio Tietê
Município de Laranjal Paulista	<i>Esgoto doméstico</i>	Rio Sorocaba; Afluente do rio Tietê
Município de Piracicaba	<i>Esgotos Domésticos e Industriais (siderúrgicas, fabricas de papel, tecido, etc.)</i>	Direto no rio Piracicaba
Usina Modelo (Município de Piracicaba)	<i>Vinhaça</i>	Córrego Guamium; afluente do rio Piracicaba
Usina Costa Pinto (Município de Piracicaba)	<i>Vinhaça</i>	Rio Corumbataí; Afluente do rio Piracicaba
Município de Ártemis	<i>Esgotos Domésticos</i>	Direto no rio Piracicaba
Município de Águas de São Pedro	<i>Esgotos Domésticos</i>	Ribeirão Araqua; Afluente do rio Piracicaba
Município de Santa Maria da Serra	<i>Esgotos Domésticos e industriais</i>	Ribeirão Bonito; Afluente do rio Piracicaba
Fábrica Dierberger (Município de Dois Córregos)	<i>Rejeitos da Fabricação de conservantes, óleos, resinas, etc.</i>	Rio da Prata; afluente do rio Piracicaba.

Fte. Adaptado por Soriano(1997) do relatório interno da CESP).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Tabela 3. Correlações significativas entre os dados *in situ* e os dados TM, para as trinta estações de coleta ” (correlação de Spearman).

	CSS	MI	MO	SEC
CSS	--	0,97**	0,57	- 0,93**
MI	0,97**	--	0,50	- 0,95**
MO	0,57	0,50	--	- 0,52
SEC	- 0,93**	- 0,95**	- 0,52	--
B1SISA	- 0,26	- 0,19	0,01	0,10
B2SISA	0,22	0,33	0,25	- 0,43
B3SISA	0,55	0,68	0,32	- 0,70*
B4SISA	0,40	0,46	0,22	- 0,51
PC1B123	0,37	0,47	0,37	- 0,55
PC2B123	0,84**	0,86**	0,33	0,80**
PC3B123	0,28	0,27	0,37	- 0,24
PC1R123	0,45	0,55	0,41	- 0,60
PC2R123	- 0,53	- 0,50	- 0,13	0,42
PC3R123	0,05	- 0,03	0,09	0,10
PC1B1234	0,36	0,46	0,37	- 0,54
PC2B1234	0,86**	0,88**	0,36	- 0,83**
PC3B1234	- 0,25	- 0,35	-0,25	0,43
PC4B1234	- 0,20	- 0,10	- 0,13	- 0,01
PC1R1234	0,44	0,54	0,41	- 0,60
PC2R1234	-0,46	-0,42	- 0,07	0,28
PC3R1234	-0,37	-0,39	- 0,17	0,31
PC4R1234	0,09	- 0,02	0,17	0,13

Onde: -- “ **” correlação significativa ao nível de 99%, “*” correlação significativa ao nível de 95%

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Tabela 4. Coeficientes de correlação simples bivariada (R) entre os parâmetros ambientais e dados TM, calculados para o grupo 95 azul (correlação de Spearman).

	TSS	MI	MO	SEC
CSS	--	0,98**	0,48	- 0,94**
MI	0,97**	--	0,33	- 0,87**
MO	0,48	0,33	--	- 0,51
SEC	- 0,94**	- 0,87**	- 0,51	
B1SISA	-0,68	-0,74**	-0,27	0,48
B2SISA	-0,37	-0,46	-0,17	0,12
B3SISA	0,20	0,10	- 0,01	- 0,42
B4SISA	-0,09	-0,18	0,28	0,02
PC1B123	-0,60	-0,72**	-0,16	0,32
PC2B123	0,81**	0,91**	0,03	0,64
PC3B123	0,01	0,13	- 0,09	0,14
PC1R123	-0,25	-0,37	0,12	0,02
PC2R123	-0,73**	-0,85**	- 0,05	0,54
PC3R123	- 0,01	-0,13	-0,11	0,20
PC1B1234	-0,56	-0,69	- 0,02	0,32
PC2B1234	0,82**	0,91**	0,05	- 0,64
PC3B1234	0,58	0,62	0,41	- 0,43
PC4B1234	-0,42	-0,51	-0,19	0,18
PC1R1234	-0,22	0,35	0,10	- 0,03
PC2R1234	-0,73**	-0,84**	- 0,08	0,52
PC3R1234	0,17	0,05	0,34	- 0,30
PC4R1234	0,22	0,36	0,09	0,04

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

Tabela 5. Coeficientes de correlação simples bivariada (r) entre os parâmetros ambientais e dados tm, calculados para o grupo 90_azul (correlação de Spearman)

	CSS	MI	MO	SEC
CSS	--	0,91**	0,64	- 0,77**
MI	0,91**	--	0,46	- 0,92**
MO	0,65	0,46	--	- 0,32
SEC	- 0,77**	- 0,92**	- 0,32	--
B1SISA	-0,48	-0,56	-0,17	0,60
B2SISA	-0,63	-0,33	-0,63	0,12
B3SISA	0,11	0,28	- 0,28	- 0,54
B4SISA	0,22	0,24	- 0,02	- 51
PC1B123	-0,35	-0,18	-0,58	- 0,16
PC2B123	0,71*	0,90**	0,16	- 0,81**
PC3B123	0,20	- 0, 02	0,40	0,10
PC1B1234	-0,35	-0,22	-0,52	- 0,15
PC2B1234	0,71*	0,88**	0,16	- 0,80**
PC3B1234	0,70*	0,72*	0,53	- 0,69
PC4B1234	-0,65	-0,44	-0,64	0,22
PC1R123	-0,05	0,12	- 0,36	- 0,42
PC2R123	-0,48	-0,61	-0,03	0,48
PC3R123	0,24	-0,19	0,33	- 0,03
PC1R1234	-0,05	0,15	- 0,37	- 0,45
PC2R1234	-0,62	-0,77	- 0,02	0,67
PC3R1234	0,10	0,24	- 0,49	- 0,43
PC4R1234	0,40	0,22	0,54	0,82

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

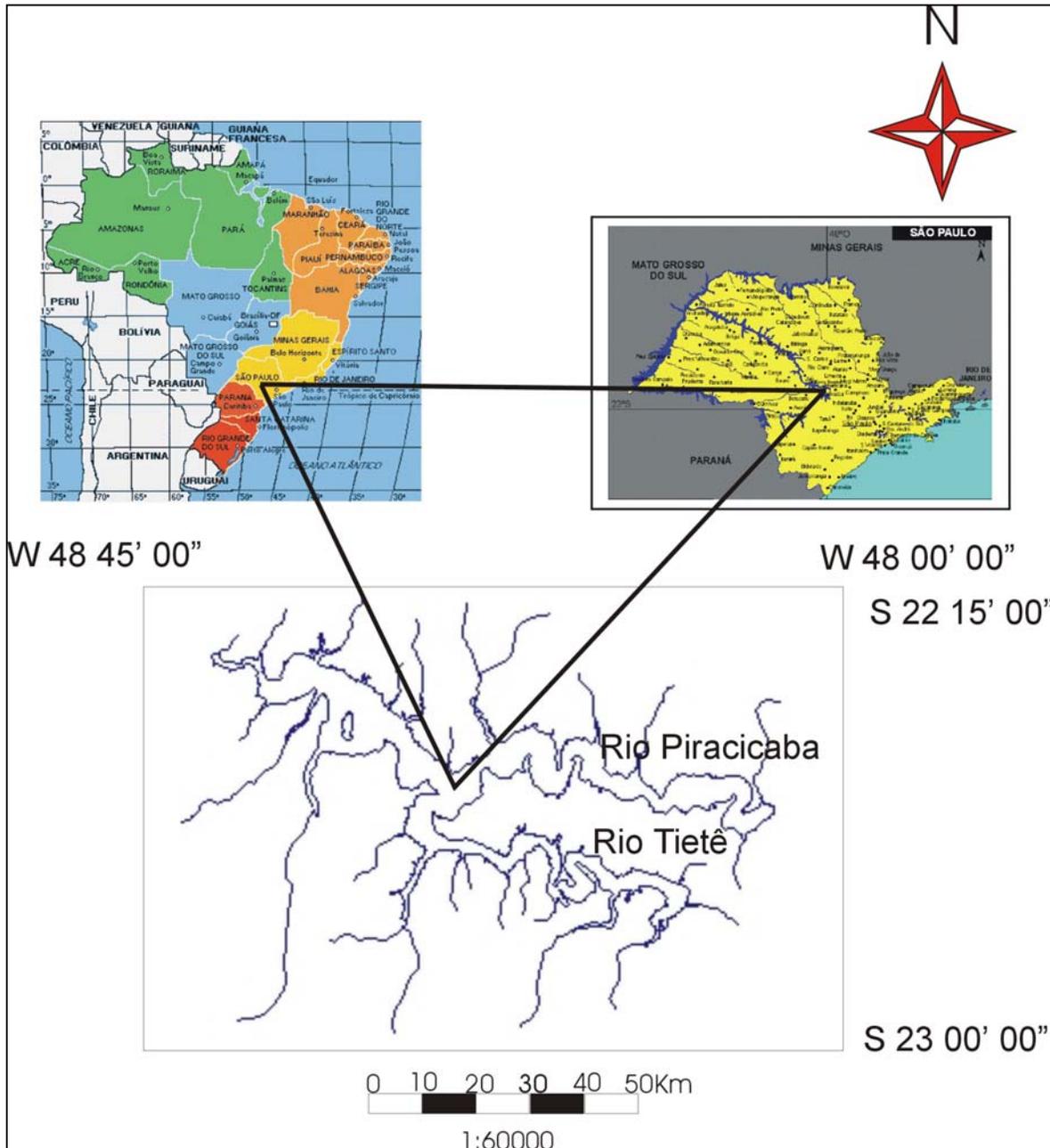


Figura 1. Localização da área de estudo

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

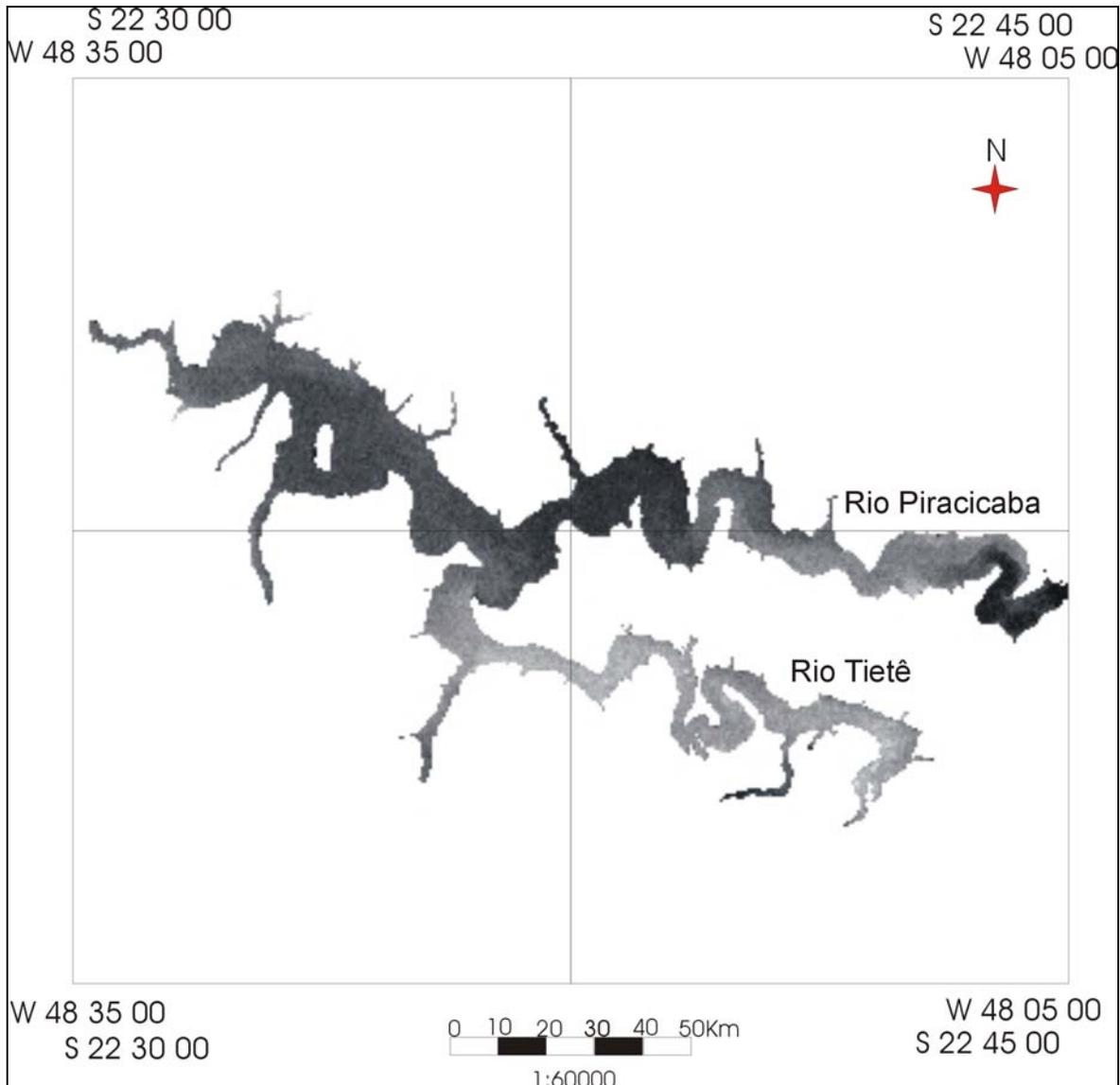


Figura 2. Imagem PC1 da transformação aplicada às bandas TM1, 2 e 3.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

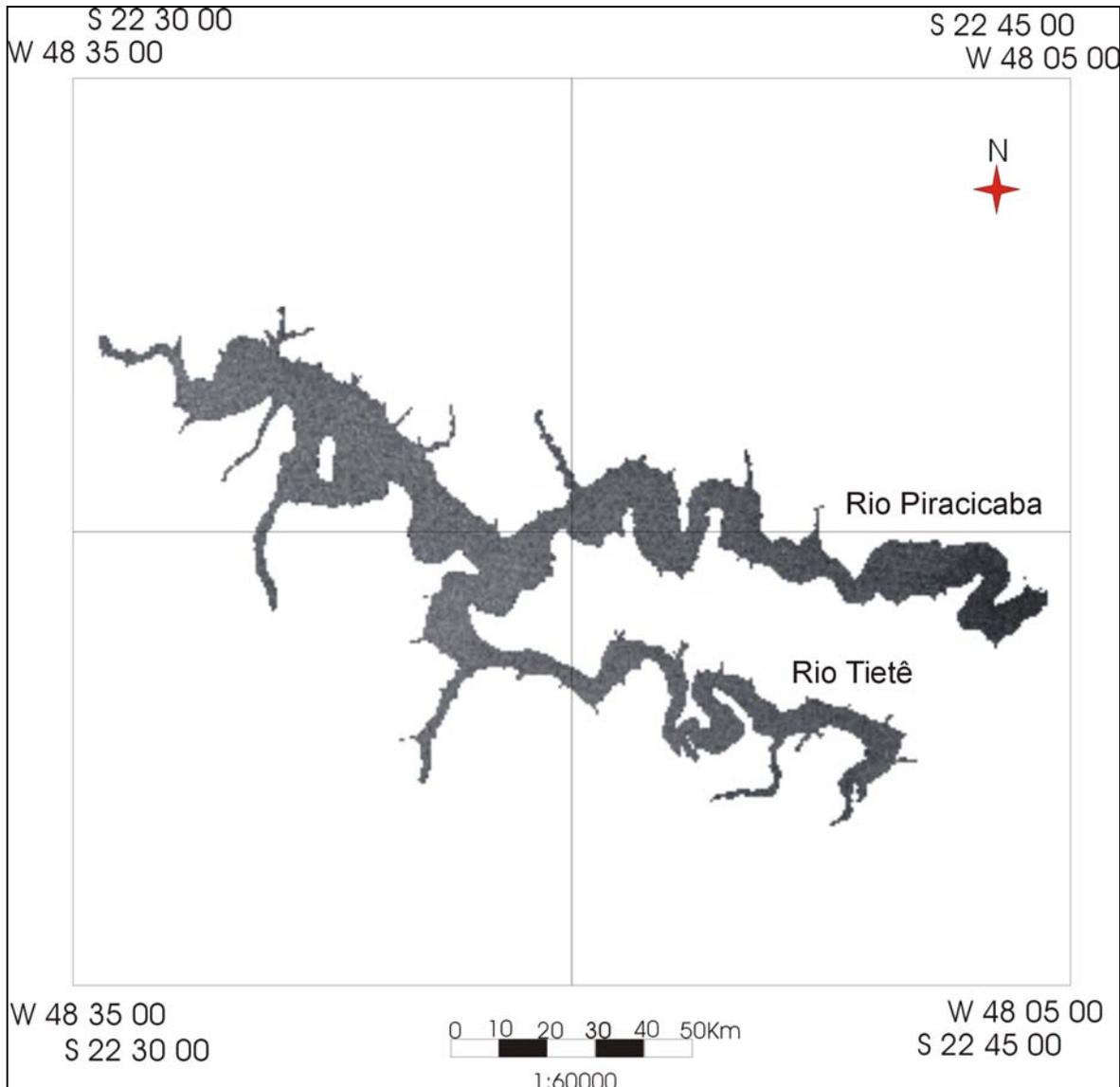


Figura 3. Imagem PC2 da transformação aplicada às bandas TM1, 2 e 3.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

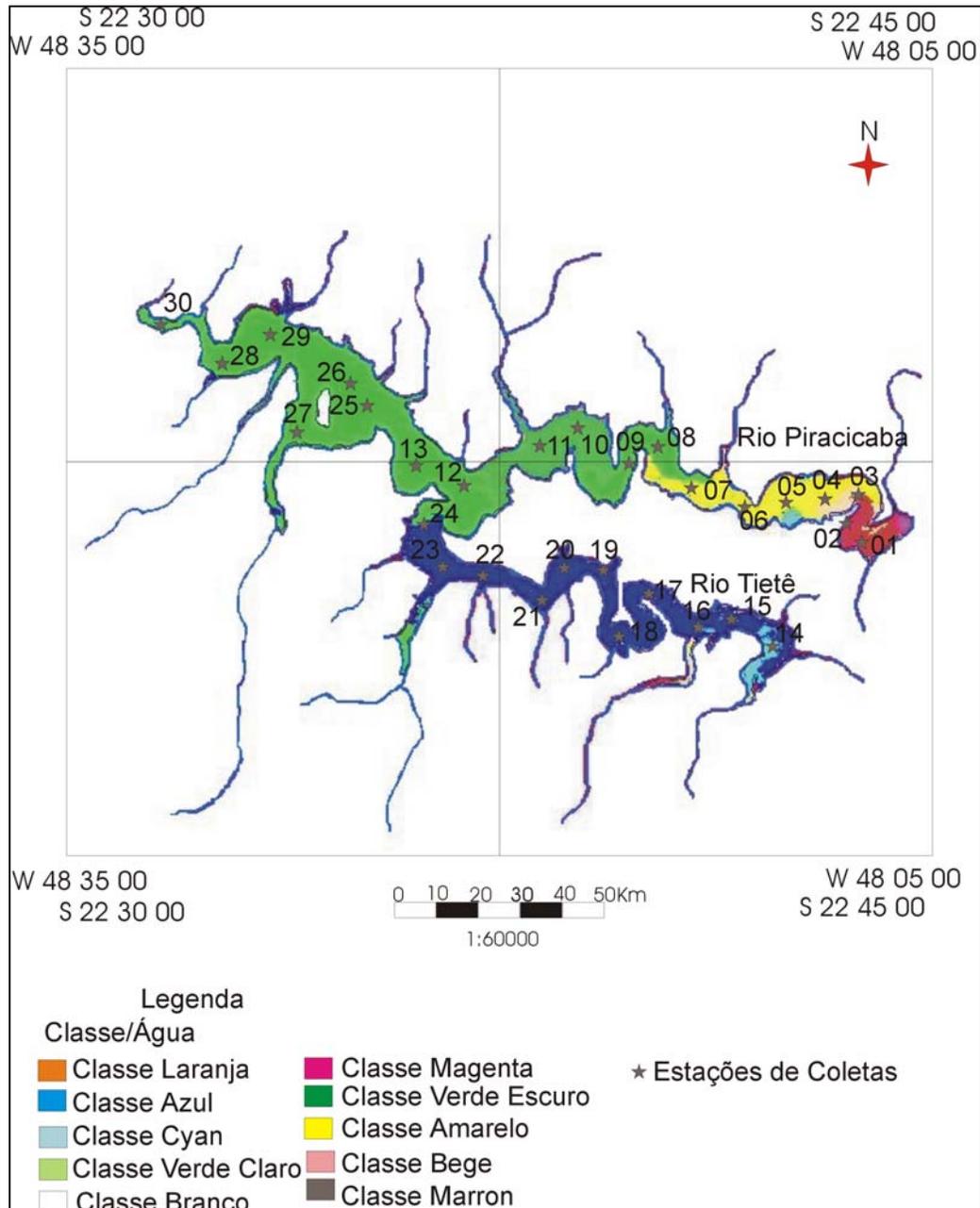


Figura 4. Imagem classificada a partir da segmentação das bandas TM1, TM2 e TM3 com limiar de aceitação de 90% (índice de similaridade 2 e limiar de área 4).

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, n° 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

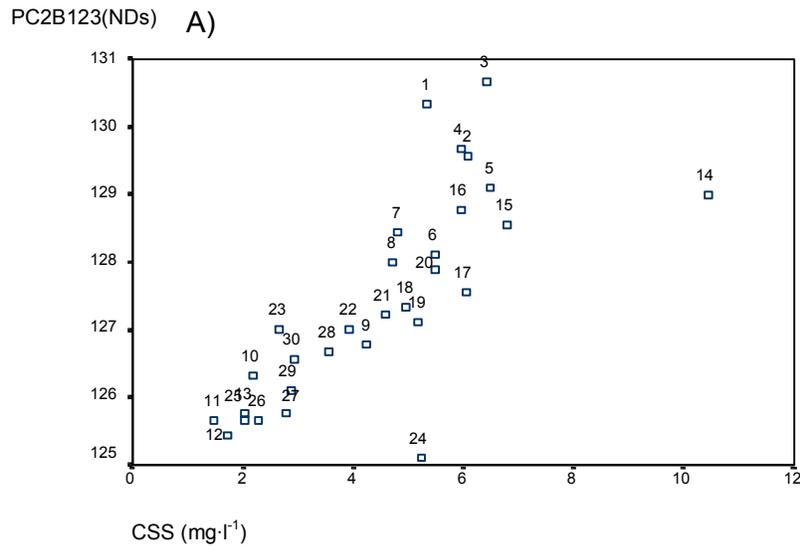


Figura 5. Diagrama de dispersão entre as variáveis ambientais e as variáveis multiespectrais, para o conjunto de dados de 30 estações.

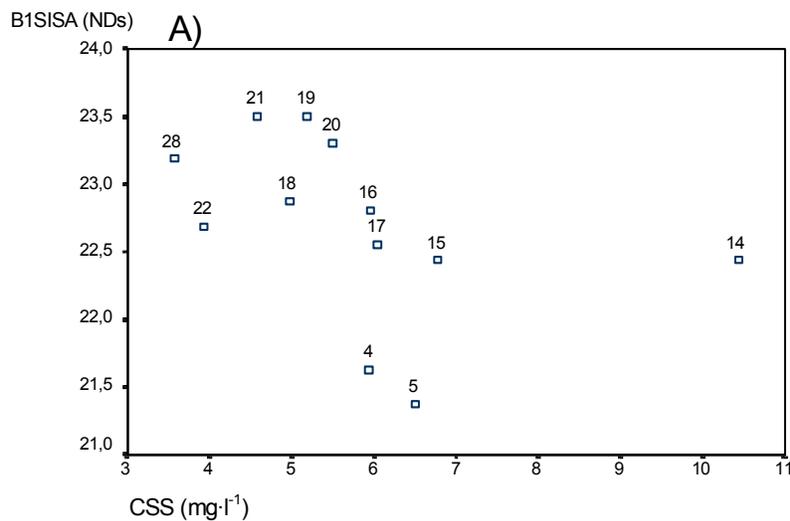


Figura 6. Diagramas de dispersão entre dados TM e ambientais, para as 12 estações de coleta do grupo "95_azul".

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

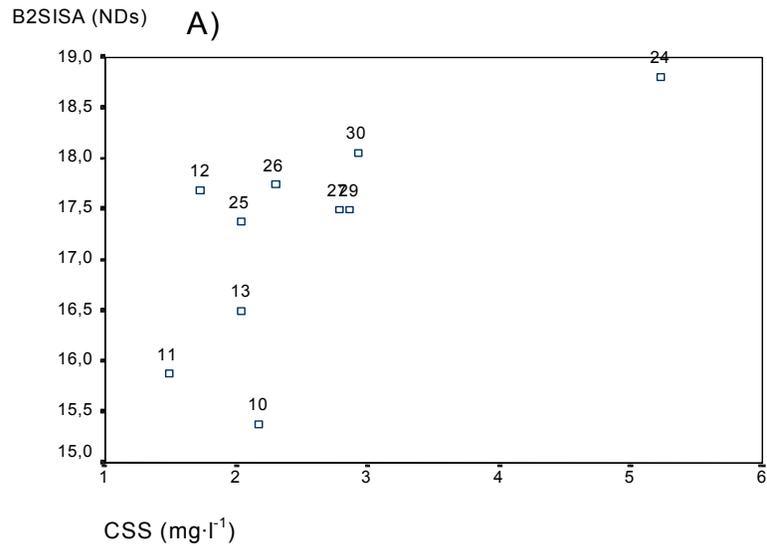


Figura 7. Diagrama de dispersão para as dez estações contidas no grupo 95_verde

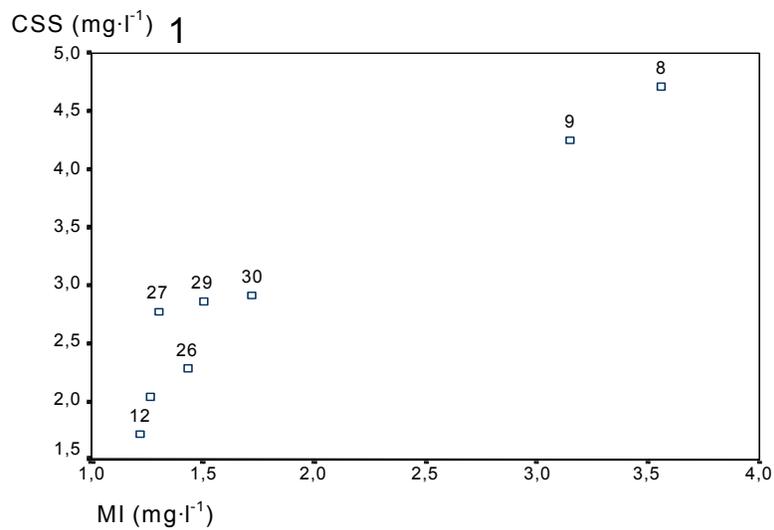


Figura 8. Diagramas de dispersão entre variáveis limnológicas.

Pereira Cabral B. J. (2003): "Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil", *GeoFocus (Articulos)*, nº 3, 2003, p. 235-267. ISSN: 1578-5157

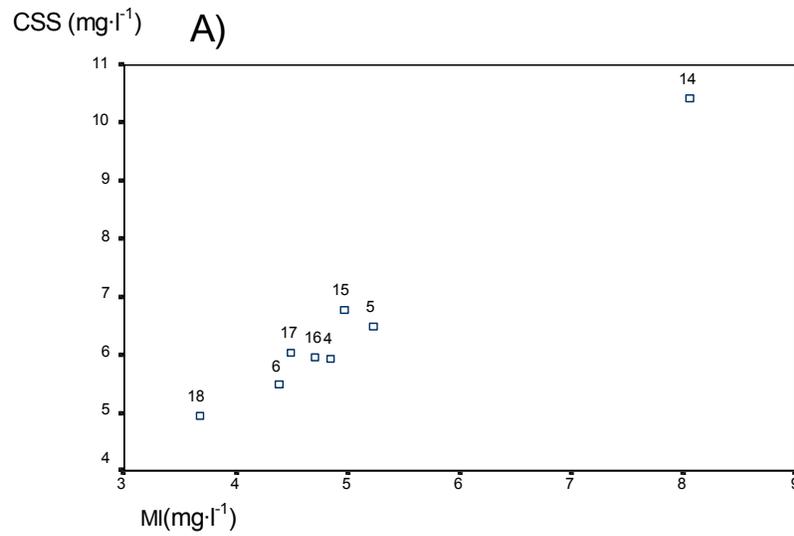


Figura 9. Diagrama de dispersão entre as variáveis limnológicas para o grupo 75-AZUL.