

MICHELLE MIRANDA BIONDI

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO DAS
CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE
ITAPARICA, NO SUB-MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO**

**Recife
2006**

MICHELLE MIRANDA BIONDI

**UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO DAS
CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE
ITAPARICA, NO SUB-MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao **Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura** da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de **Mestre em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura**.

Orientador: **Dr. Paulo Travassos**, Depto. de Pesca e Aqüicultura, da UFRPE.

Co-Orientadora: **Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias**, Depto. de Cartografia, da UFPE.

Recife
Fevereiro de 2006

*Dedico a meus amados pais Rose e
Jesuino, pelo incondicional apoio,
confiança e amor sublime.*

*Aos meus queridos irmãos Carol e
Matheus, pela amizade sincera e
prazerosa.*

*E ao meu amor eterno Anderson, pela
sua presença em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior que por si só explica a necessidade de nossa existência.

Ao CNPq pela concessão de bolsa que possibilitou a realização da pesquisa.

Ao Laboratório de Limnologia e FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional, pela realização do monitoramento ambiental e ao fornecimento dos dados relatados que serviram como base para efetivação da pesquisa.

Ao DEPAq – Departamento de Pesca e Aquicultura inserido na UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco, durante muito tempo, minha segunda casa.

À CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco pelo financiamento dos monitoramentos realizados em campo.

À UFPE – Universidade Federal de Pernambuco/DECart - Departamento de Cartografia, pelo apoio logístico e disponibilização da infra-estrutura.

À Engesat e ao INPE pelo fornecimento das imagens orbitais e seus metadados.

Ao DSc. Paulo Travassos pela importante orientação direcionada ao trabalho e paciência dispensada nos momentos mais complicados durante a pesquisa e redação desta dissertação.

À DSc. Ana Lúcia Bezerra Candeias pela sua co-orientação e destreza em demonstrar o essencial.

Ao DSc. William Severi pela grande colaboração científica e compreensão no momento da escolha dos co-orientadores.

Ao DSc. Clístenes Nascimento, meu cunhadinho, pela cooperação nos momentos em que o inglês mostrou-se mais complexo.

A meus pais queridos que desde cedo me guiaram, apontando as escolhas verdadeiramente corretas.

A meus irmãos maravilhosos Carol e Matheus, pela amizade e incentivo especiais.

A meu amor companheiro Anderson, pela compreensão e cuidado dispensados a mim em todos os momentos.

A meus avós, os aqui presentes e os que já se foram, pelo carinho e atenção.

Aos meus tios e primos, pela colaboração e troca de experiências.

A todos os amigos que, através de uma simples palavra, me incentivaram a continuar, me permitindo transpor os obstáculos que ainda estavam por vir. A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desfecho deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

RESUMO	01
ABSTRACT	02
1. INTRODUÇÃO	03
2.OBJETIVO GERAL	06
ESPECÍFICOS	06
3.REVISÃO DE LITERATURA	07
4.ARTIGO PARA SUBMISSÃO	11
1. Resumo	12
2. Abstract	12
3. Introdução	13
4. Metodologia	14
4.1. Dados limnológicos	14
4.2. Aquisição e processamento de dados digitais	14
4.2.1. Imagem orbital de satélite	14
4.2.2. Pré-processamento digital	15
4.2.2.1. Georeferenciamento da imagem	15
4.3. Transformações espectrais	15
4.3.1. Transformação IHS (<i>Intensity, Hue and Saturation</i>)	15
4.3.2. Transformação IHS-RGB	15
4.3.3. Análises por Componentes Principais (ACP's)	15
4.3.4. Composição RGB (<i>red, green blue</i>)	16
4.3.5. Filtro	16
4.3.6. Segmentação	16
4.3.7. Calibração	16
5. Resultados e discussão	17
6. Conclusões	24
7. Agradecimentos	24
8. Referências bibliográficas	25
5. COMENTÁRIOS FINAIS	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
7. ANEXOS	32

LISTA DE TABELAS

Artigo

- Tabela 1.** Parâmetros limnológicos para o período de setembro de 1999 do reservatório de Itaparica 17
- Tabela 2.** Níveis de cinza das estações de coleta nas várias bandas (os valores variam entre 0 e 255) da imagem de satélite do sensor ETM+ de 30/09/99, antes do processo de calibração 18
- Tabela 3.** Níveis de cinza das estações de coleta nas várias bandas pós-calibração da imagem de satélite do sensor ETM+ de 30/09/99, após o processo de calibração 18

LISTA DE FIGURAS

Artigo

- Figura 1.** Distribuição das estações de coleta no reservatório de Itaparica no período setembro de 1999 13
- Figura 2.** Fatores antrópicos que influenciam na resposta espectral da estação SF 02 (banda azul) 16
- Figura 3.** Proximidade do ponto SF 07 a fontes carreadoras de material alóctone, como perímetros irrigados e centros urbanos 17
- Figura 4.** Visualização da resposta espectral das diferentes bandas do sensor ETM+ - Landsat 7, referentes ao reservatório de Itaparica em 30/09/99 20
- Figura 5.** Produto da segmentação realizada na imagem ETM+ de 30 de setembro de 1999 21
- Figura 6.** Imagens resultantes da transformação por componentes principais da imagem original ETM+ 22
- Anexos**
- Figura 7.** Ilustração de recorte da cena completa para realização de processamentos 33
- Figura 8.** Composições RGB com melhores respostas espectrais do corpo d'água 37
- Figura 9.** Composições coloridas de ACP's com as melhores respostas espectrais para o corpo d'água 38
- Figura 10.** Melhores resultados em IHS para composições RGB 39
- Figura 11.** Resultados de transformação IHS-RGB com melhor distinção espectral do corpo d'água 40

RESUMO

As atuações antrópicas das populações de áreas marginais aos corpos d'água, comumente geram alterações ambientais no entorno. Neste contexto, as características limnológicas de um corpo d'água, avaliadas sob a ótica do sensoriamento remoto, que atua como uma ferramenta suporte, possibilitam a análise ambiental de uma região. Assim, foi realizado o estudo das características limnológicas do reservatório de Itaparica - Rio São Francisco, utilizando-se, para este fim, a interpretação de imagens orbitais que possibilitem a extração de informações sobre os principais fatores condicionantes às alterações limnológicas apresentadas no local. As informações extraídas da imagem de satélite foram integradas com os parâmetros físico-químicos coletados *in loco*, que apresentaram caráter opticamente ativo. Após a execução deste trabalho, observou-se que os principais influenciadores das alterações físico-químicas na água, originaram-se das descargas orgânicas geradas por centros urbanos (altos valores em ortofosfato), e fertilização (altos valores em amônia) através do escoamento superficial do solo, acentuado pela degradação das matas ciliares e conseqüente erosão do solo. Assim, as informações obtidas possibilitaram uma avaliação macro das alterações ambientais ocorridas na área de estudo. Entretanto, pôde-se verificar que o sensoriamento remoto, com uso dos sensores da série Landsat, apresenta-se limitado para estudo do alvo água, principalmente no que tange a aspectos espectrométricos, necessitando ampliação e disseminação destas pesquisas aplicadas.

ABSTRACT

The land inhabitants generally cause environmental impact on the marginal areas where they live in. For this reason, the evaluation of limnologic data of water bodies through remote sensing can bring information on environment aspects in a synoptic and periodic fashion. Taking into account this fact, the work aimed to study the limnologic characteristics of the Itaparica reservoir, São Francisco River, Bahia state, Brazil. Interpretation of orbital images was used to provide information on the local hydrologic characteristics. These satellite images were integrated with *in loco* data that posed optically active character. The results showed that urban organic loads (high values orthophosphate) and chemical fertilizers (high values ammonia) originating from soil runoff in irrigated areas, along with gallery forest degradation and soil erosion, were the main factors influencing the water's physical and chemical characteristics. Such information was utilized to evaluate the environmental alterations that took place in the area. On the other hand, the results also showed that remote sensing, with sensors Landsat series, has drawbacks regarding spectrometric studies on water. Therefore, further studies are needed to boost this research field.

1. INTRODUÇÃO

O uso racional dos corpos d'água apresenta-se hoje como premissa essencial para a conservação dos ecossistemas aquáticos e das diferentes espécies que se utilizam destes habitats como ambientes de reprodução, berçário ou fonte de alimentação. Além deste fato, a atual situação das águas de alguns reservatórios no Nordeste brasileiro demonstra a necessidade de elaboração de planos de ordenamento e a importância de um monitoramento mais efetivo. No caso específico dos reservatórios localizados no sub-médio rio São Francisco, enfatizamos o reservatório de Itaparica em função da geração de energia elétrica para as comunidades ribeirinhas e do suporte à renda local através da atividade da pesca extrativa, no qual planos com este objetivo poderiam subsidiar os órgãos responsáveis pela manutenção desses ambientes.

Diante destas características, o sensoriamento remoto aparece como uma ferramenta de suma importância, permitindo uma análise periódica e geral (sinóptica) da área a ser pesquisada, possibilitando inferir sobre o imensurável, extrapolar dados pontuais e ajustar modelos ambientais (Curran & Foody, 1994). Esta ferramenta permitiria, assim, avaliar e monitorar as características da água, através da cobertura de extensas áreas a custos mais acessíveis, se comparado ao que seria dispensado para a execução do trabalho em campo. Recentemente estas técnicas têm sido bastante empregadas como uma ferramenta útil para a coleta de dados como suporte a aplicações hidrológicas (Connie e Cheng, 2003).

O sensoriamento remoto possui a capacidade de adquirir informações diretamente através de sistemas sensores, operando sem contato com a superfície terrestre (Novo, 1992), atuando como ferramenta para otimizar e maximizar a coleta de dados, funcionando como suporte ao estudo de recursos ambientais aquáticos e auxiliando na sua sustentabilidade.

Atualmente, o uso de novos sensores com elevada resolução espacial permite a investigação remota de ecossistemas heterogêneos com alto nível de acurácia (Rocchini et al., 2004), permitindo a discriminação de temas constituintes de uma dada região na superfície terrestre. Estes elementos, denominados alvos no sensoriamento remoto, determinam uma resposta espectral padrão em imagens de satélite. Assim, as variações espectrais apresentadas em uma imagem definem a presença e separação de diferenciados elementos. A partir desta afirmação, demonstra-se a possibilidade da percepção de

elementos na água que sejam passíveis de visualização nas imagens de satélite, como pigmentos fitoplancctônicos e sedimentos em suspensão.

Desta forma, a avaliação das informações espectrais, geradas por sensores remotos tem sido utilizada por vários autores para melhorar o desempenho de sistemas de manejo, avaliação e monitoramento de áreas degradadas ou com riscos de degradação (Nagaraja & Gautam, 1996; Lachowski et al., 1994; Allen, 1994; Schleusner, 1994; Gonzales, 1994).

Existe uma necessidade crescente por análises complexas nas zonas alagadas em função das ameaças criadas pela intensa atividade humana (Pérez et al., 2003). Além disso, apesar de ser considerada como uma fonte de energia “limpa”, a implantação de reservatórios para geração de energia elétrica propicia diversas modificações ambientais, uma vez que a barragem do canal fluvial leva à alteração permanente do ritmo natural do seu fluxo e de sua vazão, causando, também, modificações na velocidade da água (Reis, 2002).

A construção de barragens para formação de reservatórios, comumente acarreta um crescimento populacional nas zonas ribeirinhas que, invariavelmente, incluem devastação de matas ciliares, propiciando o assoreamento de calhas e meandros de rios, lançamento de produtos químicos prejudiciais à fauna e flora aquáticas, demanda de poluição orgânica e resíduos domésticos e efluentes industriais. Dentro deste contexto, as imagens orbitais de satélite possibilitam a extração de informações opticamente ativas, geradas após interação da energia eletromagnética incidente com a água, que promovam respostas na sua superfície, e sejam mais facilmente visualizáveis após transformações espectrais.

Diante do exposto, é reconhecida a necessidade da realização de um estudo que analise as condições ambientais do reservatório de Itaparica, avaliando suas características limnológicas a partir de dados coletados *in situ* e por sensoriamento remoto, verificando as prováveis alterações hidrológicas que possam ser identificadas e interpretadas por meio de imagens de satélite.

Em estudo realizado por Salam (2003), utilizou-se sensoriamento remoto, através de composições coloridas de imagens TM Landsat, para identificar e quantificar áreas mais indicadas à implantação de fazendas de camarão e caranguejo em Bangladesh. Um trabalho realizado por Su *et al.* (2004) utilizou dados de temperatura da superfície do oceano e imagens do satélite NOAA, para determinar aproximações espaço-temporais entre fatores ambientais e a distribuição de peixes no mar Amarelo – China. Assim, este estudo possibilita um suporte ao conhecimento de informações ecológicas imprescindíveis

ao manejo de ambientes destinados ao cultivo de organismos aquáticos para fins comerciais ou meramente ambientais.

A hipótese de nosso trabalho embasou-se na possibilidade de correlação existente entre dados físico-químicos coletados *in loco* e dados espectrais extraídos das imagens digitais de satélite.

2. OBJETIVOS

GERAL:

- ✓ Avaliar as características limnológicas da água do reservatório da Hidroelétrica Luiz Gonzaga - Itaparica através da utilização da tecnologia do sensoriamento remoto, utilizando imagens orbitais de alta resolução.

ESPECÍFICOS:

- ✓ Analisar informações de parâmetros limnológicos coletados *in situ*, procurando detectar, a partir de imagens de satélite, aspectos relativos às variações das características físico-químicas da água deste reservatório;
- ✓ Verificar a influência de atividades antrópicas no ambiente de entorno como condicionantes de alterações existentes nas características físico-químicas da água;
- ✓ Verificar a variabilidade espacial existente entre os dados físico-químicos, apresentada pela água do reservatório de Itaparica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O sensoriamento remoto apresenta-se como uma tecnologia que permite a obtenção de informações destinadas ao estudo de recursos naturais e, especialmente, ambientes aquáticos. Quando aliado ao geoprocessamento, possibilita interpretações analíticas através da integração entre conjuntos de técnicas computacionais e informações inerentes às imagens digitais, como os trabalhos desenvolvidos por Froidefond (1996); Borges (2005); Prado (2003); Freitas (2003), que utilizaram esta tecnologia para geração de mapeamentos, avaliações e inferências direcionadas à compreensão de alterações envolvendo o ecossistema aquático.

Prado (2004) estudou a degradação da água no reservatório de Barra Bonita – SP, destinado a usos múltiplos, utilizando ferramentas geotecnológicas e dados limnológicos aplicados à caracterização dos fatores fisiográficos, para avaliar o uso e cobertura do solo e o potencial poluidor das sub-bacias da bacia de drenagem.

Esta aplicação do sensoriamento remoto fundamenta-se num princípio básico das interações existentes entre a energia eletromagnética e os elementos da camada superficial da Terra. A energia eletromagnética emitida pelo sol, após interagir com os diversos componentes da superfície terrestre, apresenta uma modificação em sua conformação espectral. Este fato se deve à interação específica existente entre os alvos e a radiação do espectro. Esta alteração espectral está intrinsecamente relacionada aos tipos de alvo e faixa do espectro eletromagnético, denominando-se assinatura espectral. As diferentes assinaturas dos alvos possibilitam a separabilidade e identificação dos mesmos (Meneses, 2001). Reis (2002) utilizou-se desta característica para vincular o estudo da qualidade da água e deposição de sedimentos ao longo dos reservatórios do rio São Francisco à ferramenta sensoriamento remoto, através da análise espectral de imagens.

A energia incidente possibilita a interação com os elementos da superfície. A energia incidente é partilhada em frações de energia refletida, absorvida e transmitida ou emitida (Slater, 1980), onde a energia refletida é a subtração da energia absorvida com a energia incidente (Lillesand & Kieffer, 1987). Neste contexto, a transparência da água determina o grau de penetrabilidade e interação desta energia incidente.

O caso específico da água dos reservatórios do sub-médio rio São Francisco, caracteriza-se por uma elevada transparência, que tende a aumentar em períodos com baixos índices pluviométricos (UFRPE, 2000). Assim, pode-se supor que a maior

transparência da água, conseqüentemente permite uma melhor interação do corpo d'água com a energia incidente, possibilitando a inferência de informações mais consistentes nestes períodos, em função da grande atenuação da irradiação eletromagnética em períodos chuvosos (Meneses, 2001). Além desta atenuação existe o natural espalhamento da radiação entre as partículas da atmosfera, que imprimem uma diferenciação na resposta espectral.

Polidorio *et al.* (2005) em seu trabalho abordando correção radiométrica, tratam da resposta eletromagnética após sua interação com a atmosfera, demonstrando que em função desta ser formada por gases de composições, quantidades e arranjos moleculares diferenciados, grande parte desta energia incidente é absorvida, atenuada ou espalhada, influenciando diretamente sobre os atributos de reflectância e de cor de uma imagem de satélite. Kampel (2003) utilizou-se de dados *in situ*, coloração do oceano e sensoriamento remoto para estimar a produtividade e biomassa fitoplanctônica na costa Sudeste brasileira. Em estudos direcionados a águas interiores, Arraut *et al.* (2005) estudaram o comportamento espectral da clorofila e dos sólidos totais em suspensão nas águas do Lago Grande de Curuai – PA. Esta segunda pesquisa demonstra que as bandas espectrais onde ocorrem as transformações energéticas, produzidas pelos pigmentos fotossintéticos são geralmente estreitas e, por isto, captadas por sensores de alta resolução espectral.

Assim, em alguns casos, é possível vincular informações físico-químicas, aos dados de comportamento espectral da água. A curva de reflectância referente à água apresenta algumas peculiaridades. A água limpa absorve comprimentos de onda menores que 0,6 μm , apresentando maior transmitância nas faixas referentes ao azul (0,45 a 0,52 μm) e verde (0,52 a 0,60 μm). A água turva apresenta uma evidente diferença nas respostas de reflectância espectral. Assim, se a causa da turbidez for a quantidade de pigmentos clorofilados, maior será o incremento de reflexão na região do verde. A água pura apresenta maior reflexão e menor absorção na região do azul. A reflexão apresentada tende a diminuir à medida que se aproxima da região do vermelho. A água rica em Matéria Orgânica Dissolvida (MOD) caracteriza-se por apresentar comportamento contrário, com maior coeficiente de absorção na região do azul (presença de substâncias húmicas) (Esteves, 1988). As caracterizações espectrais da água acima mencionadas embasam diversas pesquisas realizadas nesta área do sensoriamento remoto.

De acordo com estudos realizados por Novo (1995), parâmetros limnológicos como clorofila-a e material em suspensão, apesar de apresentarem características físico-químicas distintas, geralmente possuem respostas espectrais similares, dificultando sobremaneira o

processo de investigação destes componentes limnológicos e em que proporção são responsáveis pelas características apresentadas pela massa d'água em estudo.

As pesquisas direcionadas ao estudo limnológico de reservatórios funcionam como suporte ao sistema de gerenciamento destes ambientes, como demonstrado pelo trabalho desenvolvido por Prado (2004) em Barra Bonita - São Paulo, que possibilitou a inferência das alterações ambientais ocorridas neste local, considerando-se as influências exercidas pelas atividades implantadas em seu entorno. A influência do uso do solo sobre as características da água de uma bacia foi também estudado por Wachholz (2005), através da utilização de imagens CBERS-2, na bacia hidrográfica do Arroio Barriga – RS.

A utilização de imagens orbitais para investigação da dinâmica dos recursos naturais iniciou-se em meados dos anos 70, com os primeiros satélites da série Landsat. A utilização de imagens oriundas da série Landsat possibilitou a obtenção de informações periódicas e espaciais adequadas a um estudo multitemporal e multiespectral. No momento, o sistema possui apenas dois satélites em operação: o Landsat 5 e o Landsat 7. Os sensores presentes no Landsat 5 e 7 são o TM (*Thematic Mapper*) e o ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*).

O TM apresenta 7 faixas ou bandas espectrais, com resoluções espaciais¹ que variam de 30 a 120 m. Vários trabalhos foram desenvolvidos a partir da utilização de imagens do sensor TM, como o realizado por Costa *et al.* (1998), que propôs a quantificação espacial de clorofila na água do mar, na região costeira de Ubatuba – SP. A detecção de plantas aquáticas na Ilha de Marchantaria – AM, com a utilização de imagens do satélite Landsat TM e do radar SAR/JERS 1, através da realização de uma análise temporal, foi realizada por Leite (1996). Em uma análise multitemporal realizada no NE brasileiro, Kampel (2005) utilizou-se da associação de imagens Landsat TM e CBERS 1, por exemplo, obtendo resultados satisfatórios.

No Landsat 7, incorporou-se uma versão mais avançada do sensor TM, o ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), composto por 8 bandas espectrais com resoluções espectrais que variam de 15 a 60 m. Bandas de ambos os sensores podem combinar-se para geração de várias composições coloridas, em função de ambos possuírem a mesma grade de referência para imageamento (<http://ltpwww.gsfc.nasa.gov> em 05 de junho de 2005).

Em um estudo realizado por Santana (2005), que propôs uma análise da drenagem da microbacia hidrográfica dos rios Gurijuba e Pírim – AP, foi realizada a integração de

¹ Capacidade do sensor de detectar detalhes na superfície terrestre.

imagens dos satélites Landsat 5 e 7 (sensores TM e ETM+) para gerar um produto destinado à avaliação da influência antrópica e da carga do rio Amazonas sobre estes tributários.

Como exposto acima, a utilização das imagens da série Landsat é direcionada à análise dos recursos ambientais. Com a evolução das técnicas de processamento de imagens, pode-se esperar melhores resultados no mapeamento ambiental, e, conseqüentemente, estudos de ecossistemas aquáticos, através da utilização de imagens orbitais geradas por satélites. Rocchini *et al.* (2004) comprovaram que o uso de novos sensores com elevada resolução espacial, permite a investigação remota de ecossistemas heterogêneos com alto nível de acurácia. Muitos avanços utilizando o sensoriamento remoto em hidrologia têm permitido o registro de variáveis hidrológicas (Ochi *et al.*, 1989), através da obtenção de informações através de imagens de satélites, como as mudanças ambientais de uma determinada área, possibilitando assim, a geração de modelos prospectivos de um dado ecossistema (Chaves & MacKinnon, 1994).

Isto, entretanto, não elimina a necessidade de levantamentos de campo para um mapeamento com maior confiabilidade (Carvalho, 2003). Como realizado nesta pesquisa, que se utilizou de valores limnológicos reais e imagens orbitais multiespectrais, para a interpretação de informações sobre as principais variáveis influenciadoras na alteração da qualidade da água.

4. ARTIGO PARA SUBMISSÃO AO BOLETIM DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS

UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA, NO SUB-MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO

AUTORES:

Michelle Miranda BIONDI (UFRPE/DEPAq) ¹

Paulo TRAVASSOS (UFRPE/DEPAq) ¹

Ana Lúcia Bezerra CANDEIAS (UFPE/DECART) ²

William SEVERI (UFRPE/DEPAq) ¹

1. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA

AV. DOM MANOEL DE MEDEIROS S/N DOIS IRMÃOS RECIFE-PE

CEP: 52171-900

2. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

AV. PROF. MORAES REGO Nº 1235, CIDADE UNIVERSITÁRIA RECIFE-PE

CEP: 50670-901

1. RESUMO

As atuações antrópicas das populações ribeirinhas de áreas marginais aos corpos d'água, comumente geram alterações nesses ecossistemas. Neste contexto, a obtenção de dados limnológicos de um corpo d'água, avaliados sob a ótica do sensoriamento remoto, possibilita a análise ambiental, de forma sinótica e periódica. Assim, destina-se ao estudo das características limnológicas do reservatório de Itaparica - Rio São Francisco, utilizando-se, para este fim, a interpretação de imagens orbitais que possibilitem a extração de informações sobre as principais características da água do local. As informações extraídas da imagem de satélite foram integradas com os parâmetros físico-químicos coletados *in loco*, que apresentaram caráter opticamente ativo. Após a execução deste trabalho, observou-se que os principais fatores que influenciam as alterações físico-químicas na água, originaram-se das descargas orgânicas geradas por centros urbanos (altos valores em ortofosfato) e da fertilização (altos valores em amônia) dos perímetros irrigados, através do escoamento superficial do solo, acentuada pela degradação das matas ciliares e conseqüente erosão do solo. Possibilitando assim, uma avaliação macro das alterações ambientais ocorridas na área de estudo. Entretanto, pôde-se verificar que o sensoriamento remoto, com uso dos sensores da série Landsat, apresenta-se limitado para estudo do alvo água, principalmente no que tange a aspectos espectrométricos, necessitando ampliação e disseminação destas pesquisas aplicadas.

2. ABSTRACT

The river land inhabitants generally cause environmental impact on the marginal areas where they live in. For this reason, the evaluation of limnologic data of water bodies through remote sensing can bring information on environment aspects in a synoptic and periodic fashion. Taking into account this fact, the work aimed to study the limnologic characteristics of the Itaparica reservoir, São Francisco River, Bahia state, Brazil. Interpretation of orbital images was used to provide information on the local water characteristics. These satellite images were integrated with *in loco* data that posed optically active character. The results showed that urban organic loads (high values orthophosphate) and chemical fertilizers (high values ammonia) originating from soil runoff in irrigated areas, along with gallery forest degradation and soil erosion, were the main factors influencing the water's physical and chemical characteristics. Such information was utilized to evaluate the environmental alterations that took place in the area. On the other hand, the results also showed that remote sensing, with sensors Landsat series, has

drawbacks regarding spectrometric studies on water. Therefore, further studies are needed to boost this research field.

3. INTRODUÇÃO

O uso racional dos corpos d'água apresenta-se hoje como premissa essencial para a conservação dos ecossistemas aquáticos e das diferentes espécies que neles habitam. Além deste fato, a atual situação das águas de alguns reservatórios demonstra a necessidade de planos de ordenamento e a importância de um monitoramento mais efetivo nos reservatórios, bem como nos localizados no sub-médio rio São Francisco. Enfatizamos então, o reservatório de Itaparica, em função da geração de energia elétrica para as comunidades ribeirinhas e pelo suporte à renda local através da pesca extrativa.

Diante destas características, o sensoriamento remoto aparece como uma ferramenta de suma importância, permitindo uma visão periódica e geral (sinóptica) da área pesquisada, possibilitando inferir sobre o imensurável, extrapolar dados pontuais e ajustar modelos ambientais (Curran & Foody, 1994). Permite assim, avaliar e monitorar as características da água através da cobertura de extensas áreas a custos mais acessíveis, se comparado ao que seria dispensado para a execução do trabalho em campo. Recentemente estas técnicas de sensoriamento remoto têm sido bastante empregadas como uma ferramenta útil para a coleta de dados hidrológicos (Connie & Cheng, 2003).

Elementos presentes na superfície terrestre, denominados alvos no sensoriamento remoto, delineiam uma resposta espectral padrão em imagens de satélite. Assim, as variações espectrais apresentadas em uma imagem determinam a presença de diferenciados elementos. A partir desta afirmação, demonstra-se a possibilidade da percepção de elementos na água que sejam passíveis de visualização nas imagens de satélite, como pigmentos fitoplancctônicos e sedimentos em suspensão.

Diante do exposto, é reconhecida a necessidade da realização de um estudo que analise as condições ambientais do reservatório de Itaparica. Objetiva-se então, avaliar as características limnológicas deste reservatório, através da utilização do sensoriamento remoto, pontuando como alvo principal a água. Esta pesquisa pretende verificar alterações limnológicas através de parâmetros físico-químicos que possam ser identificados e interpretados por meio de imagens de satélite.

4. METODOLOGIA

4.1. Dados limnológicos

A área de estudo compreende o reservatório da Hidroelétrica Luiz Gonzaga - Itaparica, no sub-médio rio São Francisco. Para realização das amostragens foram estabelecidas nove estações de coleta no período de 27 de setembro a 01 de outubro de 1999, situadas ao longo do reservatório.



Figura 1 - Distribuição das estações de coleta no reservatório de Itaparica no período setembro de 1999

Os dados limnológicos (físico-químicos e biológicos) são oriundos das campanhas de monitoramento dos reservatórios do sub-médio rio São Francisco, realizado pelo Laboratório de Limnologia do Departamento de Pesca e Aquicultura (DEPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), sob financiamento da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF).

4.2. Aquisição e processamento de dados digitais

4.2.1. Imagem Orbital de Satélite

A imagem utilizada é oriunda do satélite Landsat 7, gerada pelo sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*), órbita-ponto 216/066, adquirida levando-se em consideração o período de amostragem, para permitir uma possível correlação entre os dados limnológicos e espaciais, datando de 30 de setembro de 1999.

Utilizou-se as 8 bandas do sensor ETM+. As bandas 1 (azul), 2 (verde), 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo), 5 (infravermelho médio) e 6₁ e 6₂ (infravermelho termal), sendo as três primeiras

referentes à faixa eletromagnética do espectro visível. Todas, exceto a banda 5 (60 m de resolução) apresentam 30 m de resolução espacial, além da banda pancromática, que possui 15 m.

4.2.2. Pré-processamento digital

4.2.2.1 Georeferenciamento da imagem

A imagem foi adquirida com georeferenciamento (projeção UTM - *Universal Transversa de Mercator* e datum WGS84) da Engesat. Esta foi novamente georeferenciada para a projeção UTM, por ser uma projeção mundial padrão (Burrough e McDonnell, 1998) e datum SAD 69. Utilizando mapas topográficos da área com escala de 1:100.000 (Paulo Afonso, Floresta e Airi), foram gerados os Pontos de Controle no Terreno (GCP's) e a transformação polinomial. O uso de transformações polinomiais efetua o vínculo entre as coordenadas da imagem e do sistema de referência através dos GCP's (D'Alge, 2001).

4.3. Transformações espectrais

4.3.1. Transformação IHS (*Intensity, Hue and Saturation*)

A transformação IHS é uma técnica para descrever numericamente as cores no domínio da imagem, gerando analogias aos atributos convencionais matiz, saturação e intensidade (Carper *et al.*, 1990). A transformação de imagens RGB (vermelho, verde e azul) em IHS (*intensity, hue and saturation*) é utilizada na geração de imagens com reduzida correlação inter-bandas. Assim foi gerado um conjunto de três novas imagens.

4.3.2. Transformação IHS (*Intensity, Hue and Saturation*) - RGB (*red, green and blue*)

Um realçamento nas imagens IHS geradas pode ser utilizado com o objetivo de expandir o intervalo de intensidade e saturação. Novas transformações das imagens para a composição RGB permitiram uma melhor separação dos alvos. Procurou-se então, obter maior separabilidade entre as massas d'água, a partir destes dois processamentos de realce seqüenciais.

4.3.3. Análises por Componentes Principais (ACP's)

A Transformação por Componentes Principais permite determinar a correlação existente apresentada como informação redundante (Crósta, 1993), gerando um novo conjunto de imagens onde, posteriormente, cada valor de *pixel* é uma combinação linear dos valores originais. As bandas de uma imagem multiespectral apresentam informações correlacionadas entre si. Assim, a análise de todas as

bandas originais não permite extrair todas as informações contidas nas imagens devido a esta correlação (Carvalho, 2003).

4.3.4. Composição RGB (*red, green and blue*)

Resulta da combinação das três cores básicas (vermelho, verde e azul), associadas por meio de filtros às imagens individuais obtidas em diferentes comprimentos de onda ou faixas espectrais (bandas do sensor), objetivando uma melhoria na qualidade visual da imagem (González, 1992). Várias combinações foram realizadas na imagem trabalhada, escolhendo-se os melhores resultados.

4.3.5. Filtro

São transformações realizadas pixel a pixel, não dependendo apenas do nível de cinza de um pixel da imagem original, mas dos níveis de cinza dos pixels vizinhos àquele. Foram utilizados os filtros lineares por manterem a relação original entre os níveis de cinza da imagem. Alguns realces apresentam-se mais adequados para estudo de ambientes aquáticos, dentre os quais, podemos citar o passa-baixa-média (Centeno, 2004), o qual foi empregado visando um efeito de suavização em função da redução dos níveis de cinza da cena. Este filtro apresenta boa resposta para observação de texturas, através da homogeneização de características agregadas a partir de valores pontuais. Utilizou-se uma convolução com janela de 7X7 para testar esta homogeneidade na imagem.

4.3.6. Segmentação

Este procedimento permitiu dividir a imagem em regiões que correspondem às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões um conjunto de *pixels* contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.

4.3.7. Calibração

A calibração da imagem envolve transformações espectrais realizadas na imagem bruta, levando-se em consideração os metadados específicos à imagem e ao momento de imageamento, como ângulo solar, zênite, data e horário de passagem do satélite. Os resultados alteram as características dos níveis digitais (níveis de cinza que variam em uma faixa de 0 a 255), determinando, posteriormente, um padrão espectral diferenciado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características pontuais

Os resultados obtidos mostram que a região da estação SF 02 sofre todas as influências do rio Pajeú e seu entorno, que apresenta os maiores percentuais de área ocupada por caatinga devastada (Reis, 2002) (Figura 1), impondo um alto risco de degradação por erosão hídrica em suas margens (Chaves, 1994). Verifica-se isto através dos maiores valores de condutividade elétrica ($64 \mu\text{S cm}^{-1}$) e cloreto (17mg L^{-1}) no período de estudo (Tabela 1).

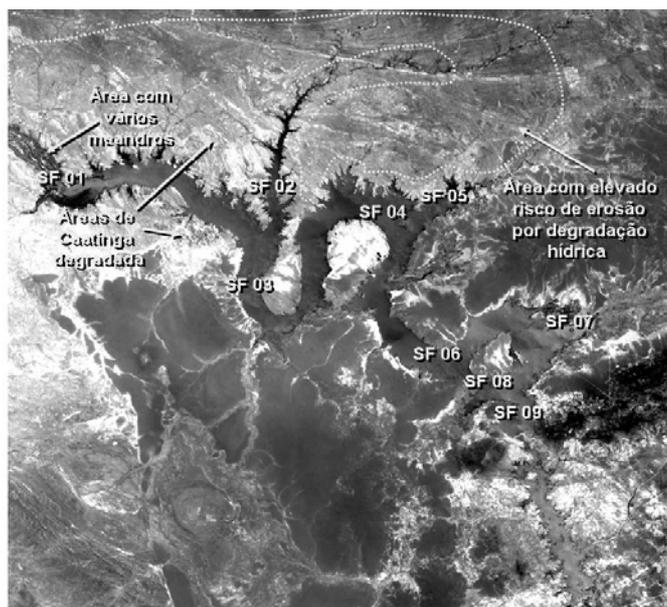


Figura 2 - Fatores antrópicos que influenciam na resposta espectral da estação SF 02 (banda 1-azul)

A estação SF 07 (Figura 2), por localizar-se próxima da cidade de Petrolândia, apresenta picos nos valores de parâmetros indicadores de eutrofização, como o ortofosfato ($3,026 \mu\text{g L}^{-1}$) e amônia ($2,884 \mu\text{g L}^{-1}$) (Tabela 1), mostrando que as atividades antrópicas apresentam-se entre as maiores fontes de *input* de fósforo no ambiente, decorrentes principalmente, da descarga de resíduos humanos, corroborando com os dados encontrados no trabalho realizado por Kim *et al.* (2001).

Pode-se dizer que a maior reflectância apresentada pela estação SF 07 nas bandas 1, 2 e 3 (visível) (Tabela 2), não está totalmente relacionada aos valores de clorofila-a apresentados, pois os maiores valores situam-se nas estações SF 06, 07 e 08 (Tabela 1), podendo-se atribuir esta resposta, também, ao carreamento de material alóctone para o corpo d'água, em função da presença de alta reflectância nas bandas 4 e 5 (IR próximo e médio). Uma boa detecção de clorofila associada ao aumento

da concentração fitoplanctônica na água, está relacionada ao aumento de reflectância na região do verde e redução na região do azul (Novo, 1992).

Os valores quase nulos de amônia nos pontos SF 01 a 06, contrapõem-se ao pico apresentado na estação SF 07 (quase $3 \mu\text{g L}^{-1}$) (Tabela 1), provavelmente em função do carreamento de compostos nitrogenados oriundos da fertilização realizada nos perímetros irrigados e descarga de resíduos urbanos de Petrolândia. A estação SF 07 (Figuras 1 e 2) apresenta pico em ortofosfato e amônia, mínimo valor em temperatura. A estação SF 08 apresenta o maior valor de clorofila-a, no entanto não podemos fazer inferências à interação exclusiva deste pigmento com a energia eletromagnética, em função da menor resposta em níveis digitais apresentada na banda verde.

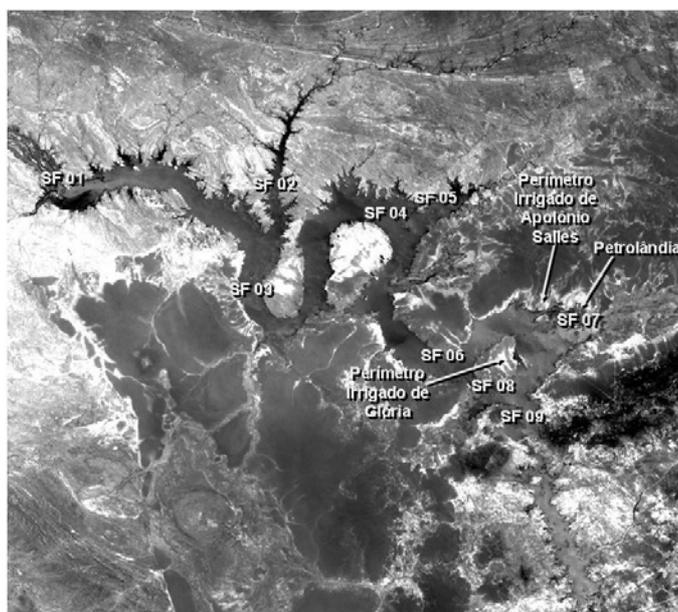


Figura 3 – Proximidade da estação SF 07 a fontes carreadoras de material alóctone, como perímetros irrigados e centros urbanos (banda 1 – azul)

Observa-se um maior reflexo da interferência humana na degradação da água de reservatórios, contrapondo-se com os rios possuem uma capacidade natural de depuração ao longo do seu curso, capacidade esta que é reduzida com a construção da barragem para a formação do reservatório (Prado, 2005). Segundo pesquisa realizada por Anjos (2005), no caso dos rios e áreas costeiras, a radiância é largamente determinada pela quantidade de sedimentos em suspensão.

Tabela 1 – Parâmetros limnológicos para o período de setembro de 1999 do reservatório de Itaparica

Estações de coleta	Condut. Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Cloreto (mg L^{-1})	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	$\text{NH}_4\text{+NH}_3$ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
SF01	51	14,0	0,000	0,000	5,58	24,5
SF02	64	17,0	1,513	0,000	3,49	24,6
SF03	50	15,5	1,513	0,000	1,39	24,7
SF04	51	13,5	0,000	0,000	3,48	25,0
SF05	51	13,0	0,000	0,000	3,48	24,9
SF06	50	12,5	0,000	0,073	6,28	24,5
SF07	53	14,5	3,026	2,884	6,28	24,2
SF08	52	14,0	0,000	1,109	7,67	24,4
SF09	52	13,0	0,000	1,183	4,88	24,1

Tabela 2 – Níveis de cinza das estações de coleta nas várias bandas (os valores variam entre 0 e 255) da imagem de satélite do sensor ETM+ de 30/09/99, antes do processo de calibração

Estações	B1	B2	B3	B4	B5	B6 ₁	B6 ₂	B8 _(PAN)
SF01	98	75	51	26	20	135	155	31
SF02	96	58	54	27	21	135	157	31
SF03	93	66	48	25	19	135	157	29
SF04	88	63	47	27	24	136	158	29
SF05	90	59	45	24	20	136	158	25
SF06	91	63	46	27	23	135	156	29
SF07	103	83	60	33	31	135	156	38
SF08	92	66	46	26	22	136	158	28
SF09	94	67	48	30	25	136	157	32

Entretanto, Cracknell & Hayes (1991) afirmam que os pigmentos de clorofila do fitoplâncton podem ser melhor detectados nos comprimentos de onda entre o azul e o verde (0,38 a 0,60 μm), faixa espectral na qual os pigmentos são mais abundantes. Os dados acima (Tabela 2) foram obtidos antes da calibração e após isto, apenas as bandas azul e verde apresentaram resposta espectral (Tabela 3).

Tabela 3 – Níveis de cinza das estações de coleta nas várias bandas pós-calibração da imagem de satélite do sensor ETM+ de 30/09/99, após o processo de calibração

Estações	B1	B2	B3	B4	B5	B6 ₁	B6 ₂	B _(PAN)
SF01	130	84	0	0	0	0	0	0
SF02	74	13	0	0	0	0	0	0
SF03	81	13	0	0	0	0	0	0
SF04	74	23	0	0	0	0	0	0
SF05	65	32	0	0	0	0	0	0
SF06	81	13	0	0	0	0	0	0
SF07	155	100	0	0	0	0	0	0
SF08	96	40	0	0	0	0	0	0
SF09	89	40	0	0	0	0	0	0

A imagem resultante da calibração apresentou variação dos níveis de cinza apenas nas bandas 1 e 2 (azul e verde), tendo o restante evidenciado completa absorção eletromagnética no alvo água. Este fato demonstrou que não existe alteração aparente tanto na imagem não normalizada, quanto na imagem filtrada por convolução, em janelas de 7X7 pixels em passa-baixa-média. Verificou-se, que as respostas geradas responderam por uma relativa homogeneidade, tanto nos arredores dos pontos de coleta (Figura 3), quanto nos resultados pontuais.

Para Rosa (1995), o comportamento dos corpos d'água sob presença de sedimentos, tende a apresentar seu pico de reflectância deslocado na direção dos maiores comprimentos de onda, gerando uma reflectância maior do que a da água limpa. Este fato deve-se ao comportamento do fluxo de energia sob corpos d'água, passível de ser detectado por um sensor remoto, o qual depende do coeficiente de retro-espalhamento e da capacidade de absorção da energia incidente sobre o alvo. Nestes casos, os SST acabam sendo os maiores responsáveis pelo aumento da reflectância na água, como citado por Anjos (2005) e observado em nossa pesquisa.

Bandas Isoladas

Apresentou-se percepção visual das diferenciações espectrais na camada superficial da água apenas nas bandas 1 (azul - 0,45 a 0,52 μm) e 2 (verde - 0,52 a 0,60 μm) pois: 1) águas com altas concentrações de pigmentos tendem a apresentar coloração esverdeada, pela máxima reflexão na banda verde; 2) a água pura apresenta maior reflectância no azul; e 3) SST (Sólidos Totais em Suspensão) apresentam máxima reflectância nas regiões verde e vermelha do espectro, determinando uma cor amarelada na água. Estas afirmações, aliadas à baixa pluviometria no período de estudo, supõem que a variação espectral, neste caso, foi mais influenciada por pigmentos fitoplanctônicos (Figura 4). No entanto, este resultado não deve ser extrapolado para todo o reservatório, pois em alguns pontos de coleta (Rio Pajeú SF 02 e próximo a Petrolândia SF 07) verificou-se o aporte de nutrientes para o interior do corpo d'água, o que determina uma diferenciação espectral também em função dos SST.

Observou-se uma maior discriminação nas bandas 1 - azul (0,45 a 0,52 μm) e 2 - verde (0,52 a 0,60 μm) (Figura 2), verificando-se dois motivos para a obtenção destas respostas: 1) as características próprias do sensor ETM+ nestas bandas em especial, que apresentam maior sensibilidade a sedimentos em suspensão, boa penetração em corpos d'água e absorção por clorofilas, distinguindo as massas d'água que apresentem diferentes características limnológicas; e 2) a água pura tem uma resposta espectral característica: sua reflectância é elevada no intervalo espectral correspondente à luz azul, diminui no

verde, é fraca no vermelho e é quase nula no infravermelho próximo (Robin, 1995). A maior parte do fluxo radiante incidente sobre a água não é refletido, mas absorvido ou transmitido. Nos comprimentos de onda do visível, pouca luz é absorvida, uma pequena quantidade é refletida e a maior parte é transmitida, de acordo com Lima (2005).

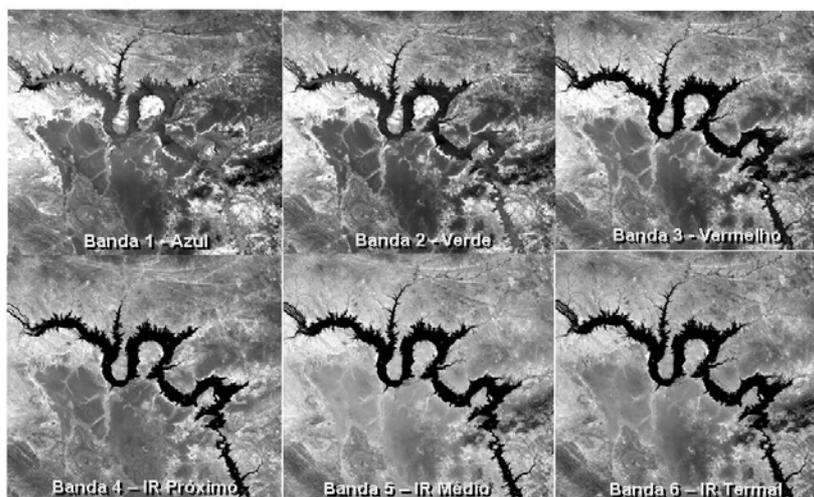


Figura 4 – Visualização da resposta espectral das diferentes bandas do sensor ETM+ - Landsat 7, referentes ao reservatório de Itaparica em 30/09/99

Em observação visual, as bandas 4, 5 e 6 isoladas, (Infravermelho-próximo, médio e termal, respectivamente) (Figura 4) apresentaram-se adequadas ao delineamento do corpo d'água pela maior absorção da energia eletromagnética por este alvo nestas bandas. Isto se explica através da assinatura espectral da água que apresenta um aumento gradativo na absorção da radiação eletromagnética a partir do IR-próximo, e em função da água apresentar maior transparência em períodos secos.

Segmentação

O processo de segmentação realizado com as bandas 1, 2 e 3, apresentou-se como o mais adequado para distinção do corpo d'água dos demais alvos da imagem (Figura 6) através do método do crescimento de regiões, utilizando o valor 100 para similaridade e área dos pixels, sem exclusão de bandas e com suavização de arcos. Este procedimento foi utilizado para efetuar uma separabilidade real entre os conjuntos de *pixels* relativos à massa d'água e os demais alvos.

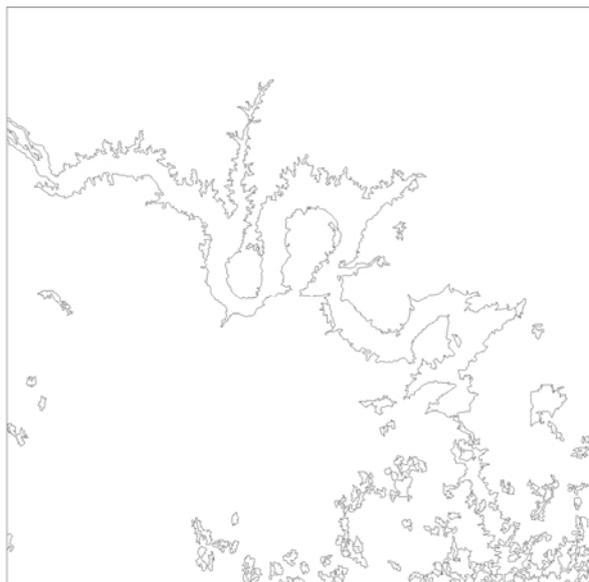


Figura 5 – Produto da segmentação realizada na imagem ETM+ de 30 de setembro de 1999

Composição RGB

Entre todas as combinações geradas, as que melhor demonstraram a distinção espectral no corpo d'água foram RGB321 (espaço RGB e bandas), RGB421 e RGB621 (combinação seqüencial em que a ordem das bandas no espaço RGB determina o padrão final de cor da imagem), não havendo entre estas, uma composição mais adequada à verificação da alteração das massas d'água presentes no reservatório.

Análise de Componentes Principais

Utilizou-se as bandas de 1 a 6 para geração das componentes principais. A componente principal 2 (Figura 6) ressalta enfaticamente os alvos relevo e textura do ambiente, características não obtidas anteriormente nas bandas originais. Além disso, juntamente com as componentes principais 4 e 6 (Figura 6), respondem pelas imagens resultantes que apresentam melhores resultados quanto à variação espectral e níveis digitais do corpo d'água. As composições coloridas que apresentaram melhores resultados na avaliação de dados espectrais da água foram: ACP's 521, 546, 562 e 621. É visualizável que a ACP 5 (Figura 6) delinea o corpo d'água através da formação de uma borda em determinados trechos. A ACP 3 (Figura 6) enfatiza fortemente as áreas marcadas pela presença de mata ciliar e campos cultivados, pela maior absorção da radiação eletromagnética por este alvo.

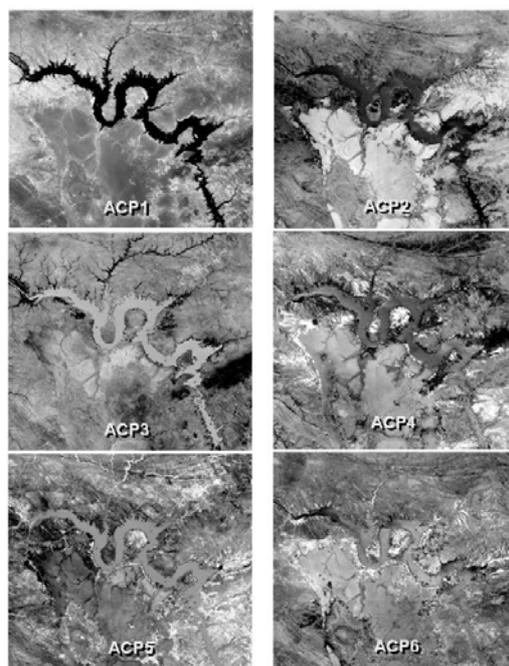


Figura 6 - Imagens resultantes da transformação por componentes principais da imagem original ETM+

A componente principal residual 6 (figura 06) foi a que apresentou melhor resultado para avaliação de variabilidade espectral nas massas d'água. Como verificado na pesquisa realizada por Mahato *et al.* (2004) as componentes resultantes que se apresentaram melhores para avaliação de dados específicos, foram as residuais e não as primeiras geradas.

Transformação IHS

As imagens geradas através de transformação IHS nas composições RGB321, RGB421 e RGB621, não apresentaram diferenciação evidente entre si, apenas distinguindo o corpo d'água dos demais alvos da imagem.

Transformação IHS-RGB

As transformações geradas de IHS 321 para RGB321 e RBG421, apresentaram pouca variação espectral no corpo d'água.

De acordo com Lillesand e Kieffer (2000), a variação de nível de cinza é correlacionável com a temperatura quando ocorre uma variação detectável mínima de 2 °C. No entanto, em função da pequena

variabilidade térmica apresentada na região de estudo, esta característica não apresentou correlação com os dados apresentados, em função das repostas obtidas nas bandas termais (Figura 4) (Tabela 2).

6. CONCLUSÕES

- Foi detectada a presença de clorofila e SST, no entanto, a distinção destes dois elementos no corpo d'água não foi possível, em função da reduzida resolução espectral do sensor utilizado na pesquisa;
- Os pontos SF 01 e 07 apresentaram os maiores valores digitais nas bandas 1 e 2, demonstrando grande influência da clorofila, que se apresenta bastante abundante nesta faixa espectral;
- Detectou-se a presença de SST nas estações SF 02 e 07 avaliando-se as repostas digitais apresentadas pelas mesmas na banda referente ao vermelho e pelas características de entorno, marcadas pela atuação antrópica;
- A partir das correlações diretas, obtidas através das repostas de clorofila-a e SST, pôde-se realizar inferências indiretas com os demais parâmetros, indicadores de eutrofização como ortofosfato e amônia, que apontaram o ponto SF 07 com característica mais eutrófica;
- A baixa acurácia e reduzida especificidade dos sensores para uso em estudos aquáticos, principalmente pela grande taxa de retroespalhamento e baixa interação com posterior reflexão da energia eletromagnética, dificultam a interpretação dos resultados obtidos pelos sensores;
- A Transformação por Componentes Principais gerou resultados interessantes apenas nas componentes isoladas, após geração de composições, poucas informações foram visualizadas;
- As composições RGB e IHS mostraram-se bastante adequadas à distinção das diferenciadas massas d'água dentro do corpo do reservatório de Itaparica;
- A utilização de filtragem linear e passa-baixa permitiu além da manutenção dos níveis digitais originais, a possibilidade de observação sobre a homogeneidade existente nos arredores dos pontos de coleta;

7. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa para realização da pesquisa.

Ao Laboratório de Limnologia/DEPAq – Departamento de Pesca e Aqüicultura/UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco e FADURPE – Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional, pela realização do monitoramento ambiental que serviu como base para efetivação da pesquisa.

À CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco pelo financiamento dos monitoramentos realizados em campo.

À UFPE – Universidade Federal de Pernambuco/DECart - Departamento de Cartografia, pelo apoio logístico e disponibilização da infra-estrutura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, H. O.; JUNIOR, M. C. S. 2005 Uso do sensor Thematic Mapper (Landsat-7) na análise da qualidade da água nas Lagoas Formosa (GO) e Bonita (DF). In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 2439-2446.

BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. 1998 *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press. 333 p.

CARPER, W.J.; LILLESAND, T.M.; KIEFER, R. 1990 *The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(4): 459-467.

CARVALHO, M. 2003 *Mapeamento da sensibilidade ambiental ao impacto por óleo de um segmento da costa entre os estados do RN e CE utilizando imagens ETM+/LANDSAT 7 e geoprocessamento*. São José dos Campos. 253p. (Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE).

CENTENO, J.A.S. 2004 *Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais*. Curitiba. Universidade Federal do Paraná.

CHAVES, H.M.L. 1994 *Estimativa da erosão atual e potencial no vale do rio São Francisco*. Brasília: 34 p. (Relatório Final de Consultoria. FAO TCP/BRA/2257).

CONNIE, K. & CHENG, Q. 2003 *GIS spatial modeling of river flow and precipitation in the Oak Ridges Moraine area, Ontario*. Computers e Geociencias 30 (2004): 379– 389.

CRACKNELL, A. P. & HAYES, L.W. 1991 *Introduction to Remote Sensing*. London: University of Dundee.

CRÓSTA, A.P. 1993 *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: UNICAMP, 170 p.

CURRAN, P.J.; FOODY, G.M. 1994 Environmental issues at regional to global scales. In: FOODY, G.M.; CURRAN, P.J. (Eds). *Environmental remote sensing from regional to global scales*. New York: John Wiley & Sons Ltd. p. 1-7.

- D'ALGE, J.C.L. 2001 *Precisão de registro de imagens digitais*. São José dos Campos: INPE.
- GONZÁLEZ, R.C., WOODS, R.E., 1992. *Digital image processing*. Addison: Wesley Publishing Company. 716p.
- KIM, B.; PARK, J.; HWANG, G.; JUN, M.; CHOI, K. 2001 Eutrophication of reservoirs in south Korea. *Limnology, Asia/Oceania*. 2: 223–229.
- LILLESAND, T.M., & KIEFFER, R.W. 2000 *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley e Sons. 724 p.
- LIMA, D.L., GALO, M.L.B.T., IMAI, N. 2005 Aplicação do modelo de cores IHS na detecção de plantas aquáticas imersas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 4115-4122.
- MAHATO, L.; PATHAK, A.; KAPOOR, D.; PATEL, N.; MURTHY, M.S.R. 2004 Surface Water Monitoring And Evaluation of Indravati Reservoir using the application of Principal Component Analysis using Satellite Remote Sensing Technology. In: MAP ASIA CONFERENCE 2004, 1., Beijing, China 1 – 12 p.
- NOVO, E. M. L. M. 1992 *Sensoriamento remoto, princípios e aplicações*. 2ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Bücher. 308 p.
- PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. 2005 Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP relacionado à qualidade da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 3253-3260.
- REIS, R. S. 2002 *Qualidade da água, deposição de sedimentos e sensoriamento remoto: um estudo de caso nos reservatórios do sub-médio São Francisco*. São Carlos. 247 p. (Tese de Doutorado. Universidade de São Carlos, UFSCar).
- ROBIN, M. 1995 *La Télédétection*. Paris: Coll. Fac Géographie. 318p.
- ROSA, R. 1995 *Introdução ao Sensoriamento Remoto*. 3a ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. EDUFU.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

- Foi detectada a presença de clorofila e SST, no entanto, a distinção destes dois elementos no corpo d'água não foi possível, em função da reduzida resolução espectral do sensor utilizado na pesquisa;
- Os pontos SF 01 e 07 apresentaram os maiores valores digitais nas bandas 1 e 2, demonstrando grande influência da clorofila, que se apresenta bastante abundante nesta faixa espectral;
- Detectou-se a presença de SST nas estações SF 02 e 07 avaliando-se as repostas digitais apresentadas pelas mesmas na banda referente ao vermelho e pelas características de entorno, marcadas pela atuação antrópica;
- A partir das correlações diretas, obtidas através das respostas de clorofila-a e SST, pôde-se realizar inferências indiretas com os demais parâmetros, indicadores de eutrofização como ortofosfato e amônia, que apontaram o ponto SF 07 com característica mais eutrófica;
- A baixa acurácia e reduzida especificidade dos sensores para uso em estudos aquáticos, principalmente pela grande taxa de retroespalhamento e baixa interação com posterior reflexão da energia eletromagnética, dificultam a interpretação dos resultados obtidos pelos sensores;
- A Transformação por Componentes Principais gerou resultados interessantes apenas nas componentes isoladas, após geração de composições, poucas informações foram visualizadas;
- As composições RGB e IHS mostraram-se bastante adequadas à distinção das diferenciadas massas d'água dentro do corpo do reservatório de Itaparica;

- A utilização de filtragem linear e passa-baixa permitiu além da manutenção dos níveis digitais originais, a possibilidade de observação sobre a homogeneidade existente nos arredores dos pontos de coleta;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, C.D. 1994 **Ecological perspective: Linking ecology, GIS, and remote sensing to ecosystem management**. In: SAMPLE, V.A. (Eds). Remote sensing and GIS in ecosystem management. Island Press. p. 111-139.
- ARRAUT, E.M.; RUDORFF, C.M.; CARVALHO, J.C.; FILHO, W.P.; NOVO, E.M.L.M. 2005 **Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do Lago Grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 1135-1141.
- BORGES, F.S.P.; FILHO, O.C.R.; WILSON-JÚNIOR, G. 2005 **Sensoriamento Remoto e Geoestatística aplicados à estimativa de batimetria em reservatórios do Setor Elétrico Brasileiro**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 2471-2478.
- BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. 1998 **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press. 333 p.
- CARPER, W.J.; LILLESAND, T.M.; KIEFER, R. 1990 **The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(4): 459-467.
- CARVALHO, M. **Mapeamento da sensibilidade ambiental ao impacto por óleo de um segmento da costa entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará utilizando imagens ETM+/LANDSAT 7 e geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE. 253p. 2003.
- CHAVEZ, P.S.; MacKINNON, D.J. **Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 60:571-582, 1994.
- COSTA, M.P.F.; GALVÃO, S.M.G.; NOVO, E.M.L.M. 1998 **Quantificação espacial de clorofila-a na água do mar utilizando dados do sensor TM/Landsat-5: região costeira de Ubatuba, SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 11-18/set./1998. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos: p. 805-816.
- CRÓSTA, A.P. 1993 **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 170 p.
- D'ALGE, J.C.L. 2001 **Precisão de registro de imagens digitais**. São José dos Campos: INPE.
- ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Editora Interciência/FINEP. Rio de Janeiro, 1988.
- FREITAS, R.M.; NOVO, E.M.L.M.; SHIMABUKURO, Y.E. 2003 **Mapeamento de ecossistemas alagáveis do rio Amazonas a partir do mosaico digital TM-Landsat - escala regional**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

- SENSORIAMENTO REMOTO, 11., Belo Horizonte, 05-10/abr./2003. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte: p. 2745-2752.
- FROIDEFOND, J.M.; SORIANO-SIERRA, E.J. 1996 **Sensoriamento remoto sobre ecossistemas de manguezal da ilha de Santa Catarina, Brasil. I: adequação da técnica.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 14-19/abr./1996. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador: p. 157-163.
- GONZALES, J. 1994 **GIS applications perspective: Using remote sensing and GIS for modeling old-growth forests.** In: SAMPLE, V.A. (Eds). Remote sensing and GIS in ecosystem management. Island Press. p. 157-174.
- <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov> em 05 de junho de 2005
- KAMPEL, M. 2003 Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. **Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados *in situ* na costa Sudeste brasileira.** São Paulo – SP. 311 p.
- KAMPEL, M.; AMARAL, S.; SOARES, M.L.G. 2005 **Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 979-986.
- LACHOWSKI, H.M.; WIRTH, T.; MAUS, P.; AVERS, P. 1994 **Remote sensing and GIS: Their role in ecosystem management.** Journal of Forestry, 92(8):39-40.
- LEITE, F.; OLIVEIRA, A.A.B.; NOVO, E.M.M. 1996 **Análise Temporal de dados TM/Landsat-5 e SAR/JERS-1 para a Detecção de Plantas Aquáticas na Ilha de Marchantaria.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 14-19/abr./1996. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador: p. 189-190.
- MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. **Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais.** Editora UnB. Brasília, 2001.
- NAGARAJA, R.; GAUTAM, C. 1996 **The role of remote sensing and GIS in wasteland mangement in India.** In: EDEN, M.J.; PARRY, J.T. Land degradation in the tropics. The Commonwealth Foundation. p. 144-154.
- NOVO, E.M.L.M.; LOBO, F.; CALIJURI, M.C. Remote sensing and geographical information system application to inland water studies. Brazilian Academy of Sciences. Limnology in Brazil. 1995.
- OCHI, S., MURAI, S., VIBULRESTH, S. **Flood disaster prediction model using remotesensing data and geographic information system.** Proceedings of the 10th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia. 1989.
- PÉREZ, O.M., ROSS, L.G., TELFER, T.C., CAMPO BARQUIN, L.M., 2003. **Water quality requeriments for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary**

- Islands): predictive modeling and analysis using GIS.** Aquaculture 224 (2003) 51–68p.
- POLIDORIO, A.M.; FRANCO, C.; IMAI, N.M.; TOMMASELLI, A.M.G.; GALO, M.L.B.T. 2005 **Correção radiométrica de imagens multiespectrais CBERS e Landsat ETM usando atributos de reflectância e de cor** . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p.4241-4248.
- PRADO, R.B.; NOVO, E.M.L.M.; PEREIRA, M.N. 2003 **SIG e sensoriamento remoto aplicados à avaliação da contribuição de sub-bacias para a poluição difusa do reservatório de Barra Bonita – SP.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., Belo Horizonte, 05-10/abr./2003. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte: p. 2565-2567.
- PRADO, R.B. 2004 Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos.** São Carlos – SP.
- ROCCHINI, D., CHIARUCCHI, A. LOISELLE, S.A. 2004 **Testing the spectral variation hypothesis by using satellite multispectral images.** Acta Oecologica (*Article in press*).
- SANTANA, L.O.; SILVEIRA, O.F.M. 2005 **Análise da drenagem da microbacia hidrográfica dos rios Gurijuba e Piririm.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 673-680.
- SCHLEUSNER, D.P. 1994 **Resource mangement perspective: Practical considerations for using GIS and Remote Sensing at the field level.** In: SAMPLE, V.A. (Eds). Remote sensing and GIS in ecosystem management. Island Press. p.140-156.
- SLATER, N.P. **Remote sensing optics and optical systems.** London: Addison-Wesley Pub, 575p. 1980.
- UFRPE, 2000. **Estudos limnológicos do complexo hidroelétrico de Itaparica e Paulo Afonso.** Relatório Técnico Trimestral. Outubro, 2000. Recife –PE.
- WACHHOLZ, F.; FILHO, W.P. 2005 **A limnologia em relação ao ambiente terrestre, identificado com o uso de imagens CBERS-2, em distintas áreas de captação da bacia hidrográfica do arroio Barriga, RS-Brasil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 16-21/abr./2005. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia: p. 1135-1141.

7. ANEXOS

METODOLOGIA UTILIZADA

7.1. Pré-processamento digital de imagens

7.1.1. Registro de imagens

A Correção Geométrica, ou Georreferenciamento, é realizada através do ajuste de uma imagem ou um arquivo vetorial a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência através de suas informações em forma de projeção ortogonal.

A imagem obtida para processamento oriunda do Landsat 7 (imagem de 30/09/1999), foi adquirida com correção geométrica nível GPC e georreferenciada (em projeção UTM – Fuso 24 Sul, elipsóide e datum WGS 84) da Engesat. No entanto, para eliminar qualquer discrepância cartográfica comprometedora ao desenvolvimento dos trabalhos, esta imagem foi novamente georreferenciada, segundo o sistema de coordenadas mais atualizado. A projeção escolhida foi a *Universal Transversa de Mercator* (UTM), em função de ser reconhecida como uma projeção padrão mundial para mapeamento topográfico e dados digitais (Burrough e McDonnell, 1998) e datum SAD 69.

O registro compreende uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linhas e colunas) com as coordenadas de um sistema de referência, então, utilizamos mapas topográficos (representações ortogonais) da área com escala de 1:100000 (cartas topográficas de Paulo Afonso, Floresta e Airi). A relação entre estes dois sistemas de coordenadas (mapa e imagem) foi calculada através da definição de Pontos de Controle no Terreno ou GCP's. Em função da incompatibilidade entre datums (cartas em datum Horizontal Córrego Alegre e imagem em WGS84), realizou-se uma conversão de datums nas coordenadas dos GCP's selecionados, através do software MapSource 6.0 da Garmin de Córrego Alegre para SAD 69. Foram determinados os GCP's e selecionada a transformação polinomial, utilizando-se o polinômio de 1º grau, em função da dificuldade de obtenção de pontos de controle. A determinação destes parâmetros de transformação polinomial é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser elaborado, as coordenadas dos pontos de controle devem ser conhecidas tanto na imagem de ajuste (imagem a ser registrada) como no sistema de referência. O uso de transformações polinomiais do 1º e 2º graus efetua o vínculo entre as coordenadas de

imagem e as coordenadas no sistema de referência (geográficas ou de projeção) através dos pontos de controle (Julio D'Alge, 2001).

Normalmente as transformações polinomiais de 1º grau são capazes de modelar uma rotação, escala e translação, onde o resultado de uma translação de 1ª ordem depende essencialmente do número de GCP's utilizados no processo de correção geométrica.

Obtiveram-se imagens re-corrigidas com Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error*) de três pixels (menor unidade de imagem distinguível em um zoom máximo) com projeção UTM, Datum Horizontal e Elipsóide SAD 69. O "*RMS Error*" é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais. É estimado através da comparação dos valores calculados na amostra com os valores reais.

7.1.2. Recorte de Imagem

Com o objetivo de facilitar e tornar mais rápida a manipulação e análise das cenas completas (185 X 185 Km) da imagem Landsat, esta foi recortada, limitando-se apenas à área de interesse da pesquisa. Este processo foi realizado com o auxílio do software Erdas Imagine 8.6, através da seção *data preparation – subset image*, gerando uma imagem de saída com extensão *.img ilustrada na Figura 07. Após este procedimento, ambas as imagens apresentaram redução de espaço em comparação com a original.

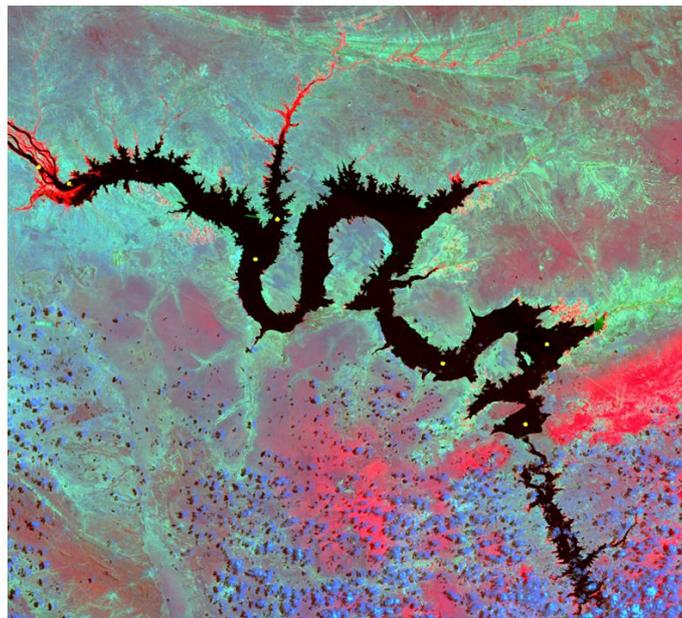


Figura 7– Ilustração de recorte da cena completa para realização de processamentos

7.2. Processamentos digitais

7.2.1. Transformações espectrais de imagens

As transformações espectrais são procedimentos utilizados na obtenção de resultados que promovam uma melhor extração das informações de interesse na região de estudo.

7.2.1.1. Transformação IHS (*Intensity, Hue and Saturation*)

A transformação IHS é uma técnica padronizada para descrever numericamente as cores no domínio da imagem, gerando analogias aos atributos convencionais, matiz, saturação e intensidade (Carper *et al.*, 1990), apresentando-se como um recurso para realce de cores de imagens multiespectrais.

A transformação de imagens RGB (vermelho, verde e azul) em IHS (*intensity, hue e saturation*) é utilizada na geração de imagens com reduzida correlação inter-bandas, com melhor distribuição de cores no espaço e diminuição de redundâncias. São realizadas por algoritmos que relacionam o espaço RGB ao IHS, onde cada pixel na imagem RGB possuirá um ponto correspondente no espaço IHS. Assim, é gerado um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e uma de saturação, onde cada parâmetro torna-se essencial na separabilidade de alvos em função das respostas obtidas.

7.2.1.2. Transformação IHS-RGB

Posteriormente, um realçamento nas imagens IHS geradas, pode ser utilizado com o objetivo de expandir o intervalo de intensidade e saturação. Se as referidas imagens sofrerem novas transformações para a composição RGB, será possível observar uma melhor separação das feições que se deseja observar na área de interesse. Assim, procurou-se obter maior separabilidade entre massas d'água do mesmo ambiente a partir de dois processamentos de realce sequenciais.

7.2.1.3. Análises por Componentes Principais (ACP's)

As bandas de uma imagem multiespectral frequentemente apresentam informações correlacionadas entre si, sendo elas visual e numericamente similares. Assim, a análise de todas as bandas espectrais originais não permite extrair com plenitude as informações contidas nas imagens devido à correlação existente entre elas (Carvalho, 2003).

A principal função da transformação por componentes principais é a determinação da correlação existente entre as bandas, apresentada como informações redundantes, procedendo sua remoção através de transformação matemática apropriada (Crósta, 1993). Esta transformação gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não disponíveis anteriormente, onde posteriormente, cada valor de *pixel* é uma combinação linear dos valores originais. A primeira componente principal, geralmente é a imagem que une a maior porção da variância total dos dados, concentrando-a em uma imagem, a informação antes distribuída em várias dimensões. Geralmente como resultado para a última componente principal, obtém-se informações ruidosas oriunda dos dados originais.

7.2.1.4. Composição RGB

Em sensoriamento remoto uma composição colorida é resultante da combinação das três cores básicas (vermelho, verde e azul), associadas por meio de filtros às imagens (bandas) individuais obtidas em diferentes comprimentos de onda ou faixas espectrais.

As composições coloridas são efetuadas pela combinação de bandas objetivando obter-se uma melhoria na qualidade visual da imagem para geração das ordens de combinações RGB que melhor destaquem os alvos a serem estudados.

7.2.1.5. Filtro

As técnicas de filtragem são transformações na imagem realizadas pixel a pixel. Estas transformações de filtragem na imagem não dependem apenas do nível de cinza de um determinado pixel da imagem original, mas também do valor dos níveis de cinza dos pixels vizinhos àquele, sendo uma transformação dependente do contexto em que se insere um dado pixel.

A. Filtro Linear

Filtros lineares são funções de transferência que se caracterizam por manter a relação original entre os níveis de cinza da imagem.

Passa-baixa

O efeito visual da imagem gerada por um filtro passa-baixa (*“low pass”*) é o de suavização (*“smoothing”*) em função da redução do número de níveis de cinza da cena. As altas frequências, que correspondem às transições abruptas são atenuadas. Apresenta o efeito de borramento na imagem. A utilização desta função de transformação

possibilitará a visualização geral e caracterização dos variados elementos constituintes do entorno, através da suavização de percepção informativa disposta pela observação da imagem.

O filtro média é um dos tipos passa-baixas mais simples. Seu efeito é o de substituir o nível de cinza de um pixel pela média aritmética deste pixel e de seus vizinhos. O uso de filtros Passa-baixa-Média 3X3, 5X5 e 7X7, apresenta uma resposta para observação de texturas, possibilitando inferências sobre a superfície imageada da área de estudo.

7.2.1.6. Segmentação

A segmentação de imagem é utilizada anterior à fase de classificação para extração de objetos relevantes para a aplicação desejada.

Divide-se a imagem em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões, um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade.

Esta divisão em porções consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias. Utilizou-se o método por crescimento de regiões com similaridade 100 e área dos pixels 100, no Spring 4.1, para delineamento do corpo d'água.

RESULTADOS

COMPOSIÇÃO RGB

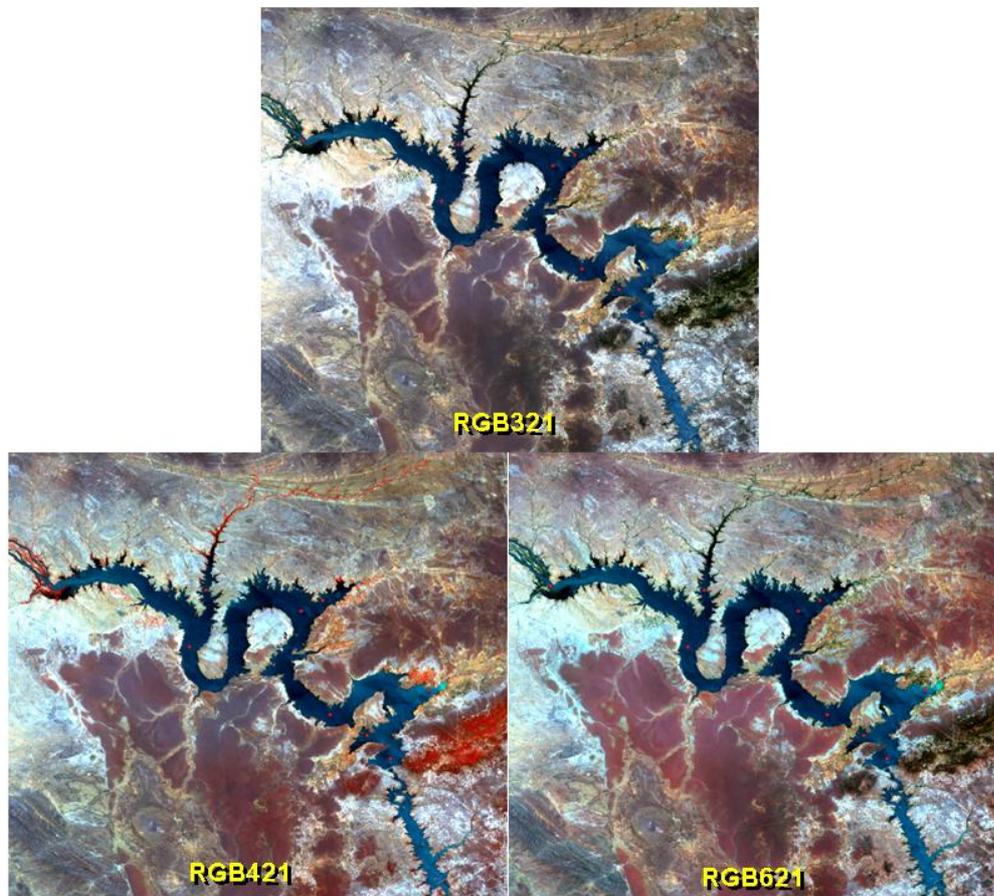


Figura 8 – Composições RGB com melhores respostas espectrais do corpo d'água

ACP's

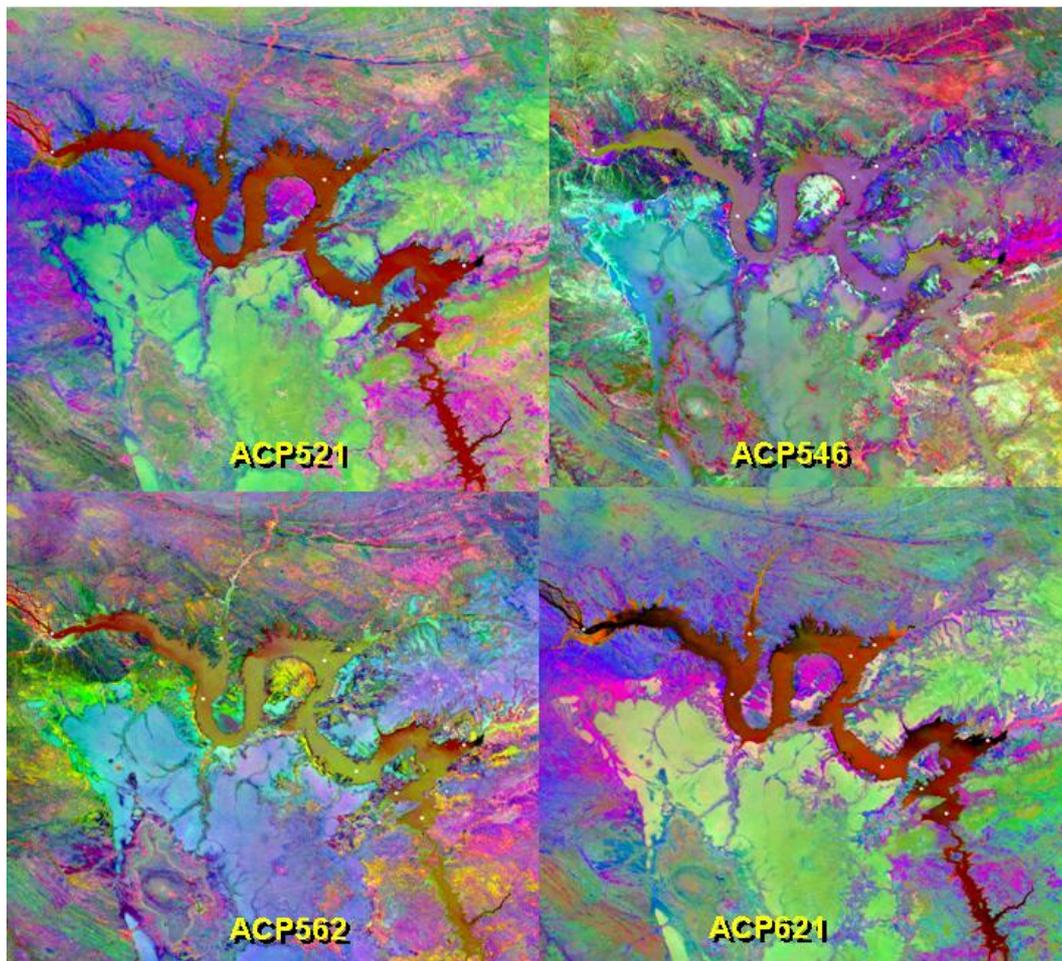


Figura 9 – Composições coloridas de ACP's com as melhores respostas espectrais para o corpo d'água

TRANSFORMAÇÃO IHS

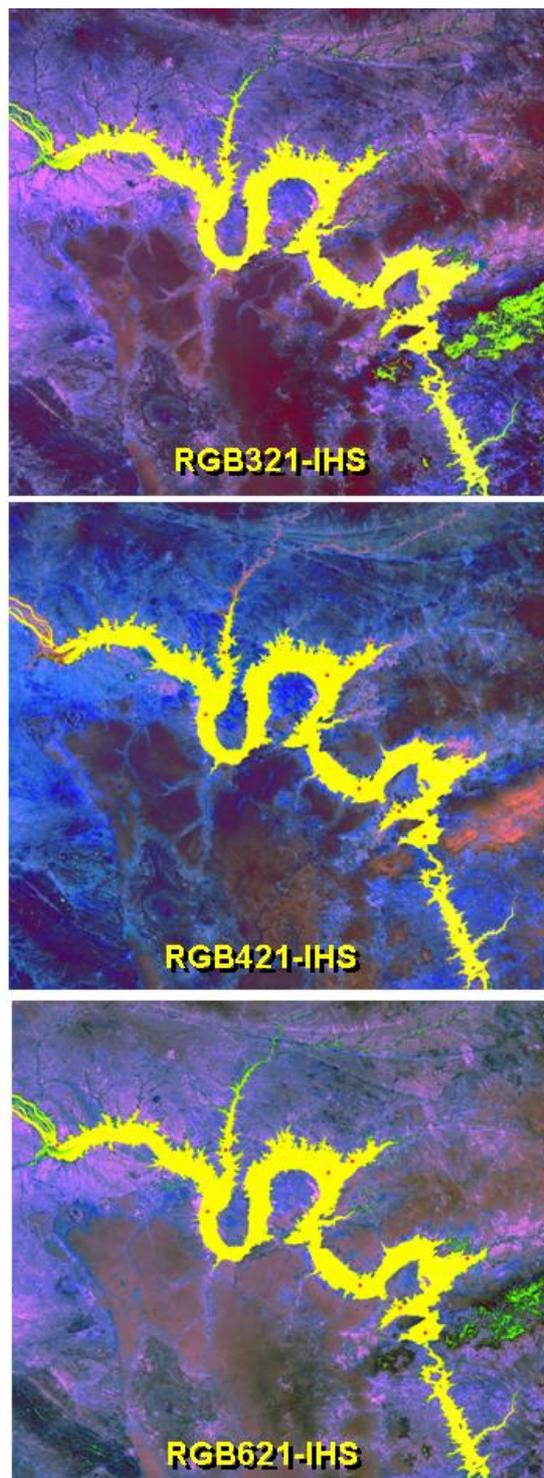


Figura 10 – Melhores resultados em IHS para composições RGB

TRANSFORMAÇÃO IHS - RGB

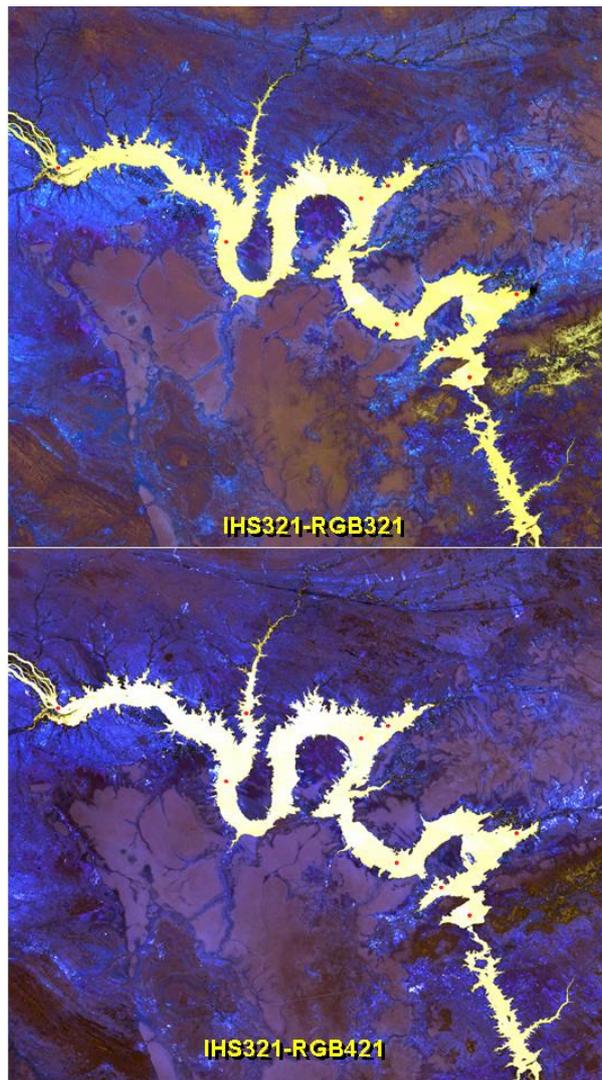


Figura 11 – Resultados de transformação IHS-RGB com melhor distinção espectral do corpo d'água