



PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS
AUTORES / AUTHORS
 PROCESSAMENTO DIGITAL
 MONITORAMENTO
 ÁGUAS CONTINENTAIS

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY
 Roberto Pereira da Cunha
 Diretor Sens. Remoto

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR
 Moacir Godoy Junior

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION
 INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY
 M^a Lourdes N.O. Kurkdjian

CDU/UDC
 528.711.7:627.1

DATA / DATE
 Novembro, 1989

TÍTULO / TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO INPE-4956-PRE/1533
	PROCESSAMENTO DIGITAL DE DADOS TM/LANDSAT NO MONITORAMENTO DE ÁGUAS INTERIORES
AUTORES / AUTHORSHIP	Moacir Godoy Júnior Evlyn Marcia Leão Moraes Novo

ORIGEM
ORIGIN
DPA

PROJETO
PROJECT
PEGA

Nº DE PAG.
NO OF PAGES
26

ULTIMA PAG.
LAST PAGE
17

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Este trabalho apresenta resultados de um estudo realizado para avaliar o desempenho da filtragem digital através do filtro mediana recursivo na remoção de ruídos (stripping) presentes em imagens TM/LANDSAT. O estudo consistiu da comparação das imagens resultantes em termos de sua adequação para a extração de informações sobre diferentes classes de qualidade ótica da água e informações sobre alvos pertencentes ao ecossistema terrestre. Essa comparação foi realizada tendo em vista tanto um usuário de dados de sensoriamento remoto interessado em sua análise visual quanto um usuário interessado em sua análise digital. Em termos de seu potencial para a interpretação visual as imagens resultantes foram comparadas entre si levando em conta o efeito da filtragem digital sobre os elementos básicos da extração visual de informações, quais sejam: cor, textura, forma, contraste, etc. Em relação ao potencial dos dados para a classificação digital, a avaliação consistiu na comparação das matrizes de classificação resultantes da aplicação de um algoritmo de classificação por máxima verossimilhança aos conjuntos de dados gerados quais sejam: Imagem Reflectância; Imagem Reflectância Filtrada e Imagem Composta. O desempenho de cada conjunto de dados foi avaliado em termos da porcentagem de classificação correta das amostras utilizadas para treinar o sistema. Os resultados indicam que a imagem filtrada é a mais adequada a classificação digital enquanto a imagem composta é a mais adequada para a extração visual de informações sobre alvos aquáticos e terrestres.

OBSERVAÇÕES / REMARKS
 Este trabalho tem uma versão resumida em inglês a ser publicada nos Anais do IGARS'S 89; Vancouver, Canadá.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
LISTA DE TABELAS	<i>vii</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</u>	2
2.1 - Obtenção dos dados digitais brutos	5
2.2 - Conversão dos dados digitais brutos em dados de reflectância aparente	5
2.3 - Obtenção de imagens reflectância digital	6
2.4 - Criação de filtros para gerar imagem filtrada	6
2.5 - Aplicação dos filtros	7
2.6 - Avaliação preliminar das imagens filtradas	7
2.7 - Classificação da cena em dois temas: Terra/Água	7
2.8 - Subtração do tema "Terra" da imagem reflectância filtrada	7
2.9 - Adição do tema "Terra" da imagem reflectância da imagem filtrada	8
2.10 - Avaliação do desempenho dos três tipos de imagens	8
2.10.1 - Seleção de amostras de treinamento para implementar a classificação por máxima verossimilhança	8
2.10.2 - Análise de amostras	9
2.10.3 - Classificação das imagens	9
2.10.4 - Aquisição da matriz de classificação	9
2.11 - Comparação das matrizes de classificação	9
2.12 - Definição da melhor imagem para processamento digital ..	10
3. <u>RESULTADOS</u>	10
3.1 - Desempenho dos diferentes tipos de imagens para a extração visual de informações	10
3.2 - Desempenho das imagens para classificação digital	12
3.3 - Efeito da filtragem sobre as propriedades radiométricas dos dados	14
4. <u>CONCLUSÕES</u>	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

ABSTRACT

This paper presents results from an experiment performed to assess the performance of the median recursive filter for stripping removal from TM/LANDSAT data. The experiment consisted of comparing the resulting images in terms of their potential for water and land use classification. This comparison was performed taking into account two types of remote sensor data user: the user interested in manual interpretation and the user interested in digital interpretation. As far as the potential for manual interpretation is concerned, the different images were compared in terms of the digital filtering effects on the elements of importance for the information extraction: color, texture, shape, contrast, etc. The image performance in terms of digital classification was assessed by comparing the classification matrix resulting from the application of a maximum likelihood algorithm to each data set: Reflectance Image; Reflectance Filtered Image; Composite Image. The performance of each data set was assessed through the percent of correct classification produced by the samples used to train the system. The results indicate that the filtered image allowed greater separability between optically distinct water classes, presenting however a poor performance for non-aquatic targets as far as digital analysis was concerned. For manual analysis, however, the composite image was the best.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Localização da sub-cena utilizada no estudo	3
2 - Procedimentos metodológicos do estudo	4
3 - Imagem reflectância	11
4 - Imagem reflectância filtrada	11
5 - Imagem reflectância composta	12

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Porcentagem de classificação correta - limiar 7.8	13
2 - Abstenção média e confusão média da classificação dos três tipos de imagens	14
3 - Porcentagem de reflectância aparente de diferentes classes de água para as imagens Ir, Irf e Ic	15

1. INTRODUÇÃO

Existem evidências experimentais (Tassan e Sturm, 1986; Tassan, 1987; Tassan, 1988) que indicam a adequação de dados TM/Landsat como fonte de informações sobre parâmetros indicadores da qualidade da água (côr; turbidez; concentração de clorofila, concentração de sedimentos em suspensão). Para isso entretanto, os dados TM devem ser submetidos a uma série de correções, dentre as quais, destacam-se as correções radiométricas para a remoção de "faixas de ruídos" ou "stripping" como são conhecidos na linguagem técnica de sensoriamento remoto. Essas faixas de ruído ocorrem com mais frequência na interface entre regiões de alta e baixa radiância. As regiões mais sujeitas a esse tipo de ruído são aquelas em que ocorrem limites complexos entre a água e a terra (Shimoda et alii, 1986).

Historicamente, tal tipo de ruído tem sido removido através de técnicas de filtragem linear (Mehl et alii, 1980) que consistem basicamente na transformação da imagem original em uma imagem filtrada tal que esta última tenha os níveis digitais de cada pixel determinados a partir da média dos níveis de uma região em torno do referido ponto. A principal limitação dos filtros desse tipo é que a presença de um único ponto com valor aberrante afeta significativamente o sinal filtrado. Deste modo, a presença de uma faixa de valores de radiância elevada no conjunto de pontos de radiância baixa que representam a água, levará a que a imagem de saída apresente níveis digitais muito distintos dos valores originais, adulterando os dados sob o ponto de vista radiométrico. Como abordagem alternativa, o processo de filtragem não-linear, baseado na mediana, representa um mecanismo que permite remover da imagem filtrada o efeito indesejável dos pontos cujos níveis digitais são claramente espúrios ou derivados de ruído. Assim os níveis digitais resultantes da filtragem seriam muito próximos ou iguais aos níveis digitais de entrada (Arce et alii, 1986). Deste modo o filtro mediana teoricamente é adequado a remoção das "faixas de ruído" que ocorrem sobre as superfícies líquidas, pois não provoca grandes variações nos dados originais.

Apesar do efeito benéfico do filtro mediana sobre a remoção das "faixas de ruído" sobre superfícies líquidas, sua aplicação em setores de terra pode levar a uma deterioração da imagem sob a perspectiva de um usuário interessado em sua interpretação visual. A aplicação recursiva do filtro mediana pode provocar o "borramento" da imagem na região de "entorno" do corpo d'água.

No presente trabalho, realizou-se um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho do filtro mediana na extração de informações sobre as propriedades ópticas da água, quer sob o ponto de vista da interpretação visual quanto da análise digital de imagens. Tendo em vista que via de regra a compreensão do funcionamento dos ecossistemas aquáticos repousa na avaliação de propriedades do ecossistema terrestre que o envolve, é desejável que os dados de sensoriamento remoto utilizados para a classificação óptica da água, possam também ser utilizados para a análise do uso da terra e outras feições do "entorno". Assim sendo, embora a ênfase seja em relação ao desempenho da filtragem na análise da qualidade da água, foram sugeridas alternativas de manipulação dos dados que permitiriam um aproveitamento máximo TM/Landsat para vários tipos de aplicações.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para teste do desempenho do filtro mediana recursivo foi utilizada uma subcena de 512 por 512 pixels referente à órbita 220, ponto 76, quadrante A, cuja localização pode ser observada na Figura 1. A sub-cena refere-se a uma passagem de 10 de junho de 1984 e inclui um segmento do alto reservatório de Barra Bonita.

A sub-cena foi processada no Sistema de Tratamento de Imagens SITIM-150 (ENGESPAÇO, 1988), e submetida a análises conforme a sequência apresentada pela Figura 2, cujos passos são descritos a seguir:

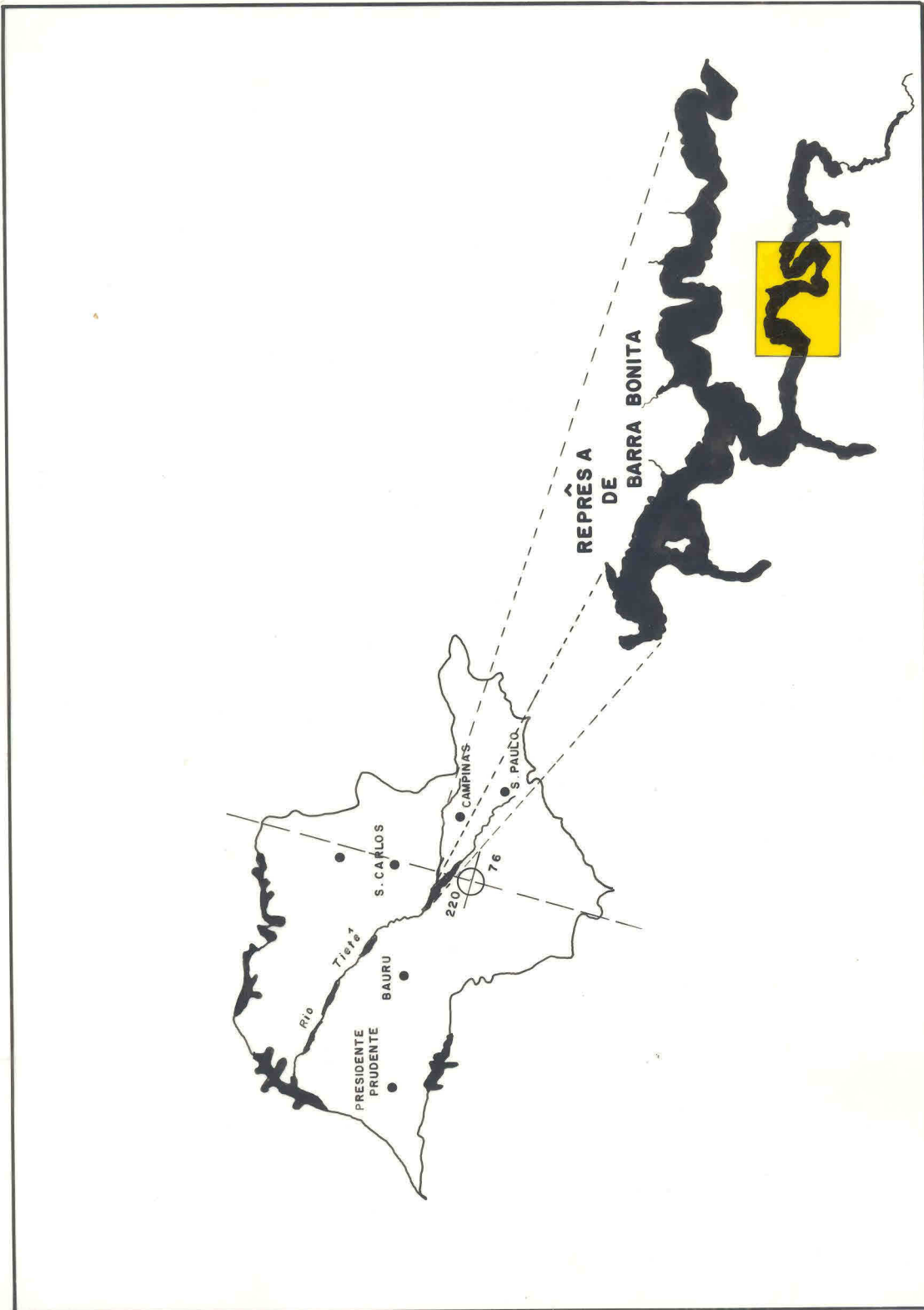


Fig. 1 - Localização da sub-cena utilizada no estudo.

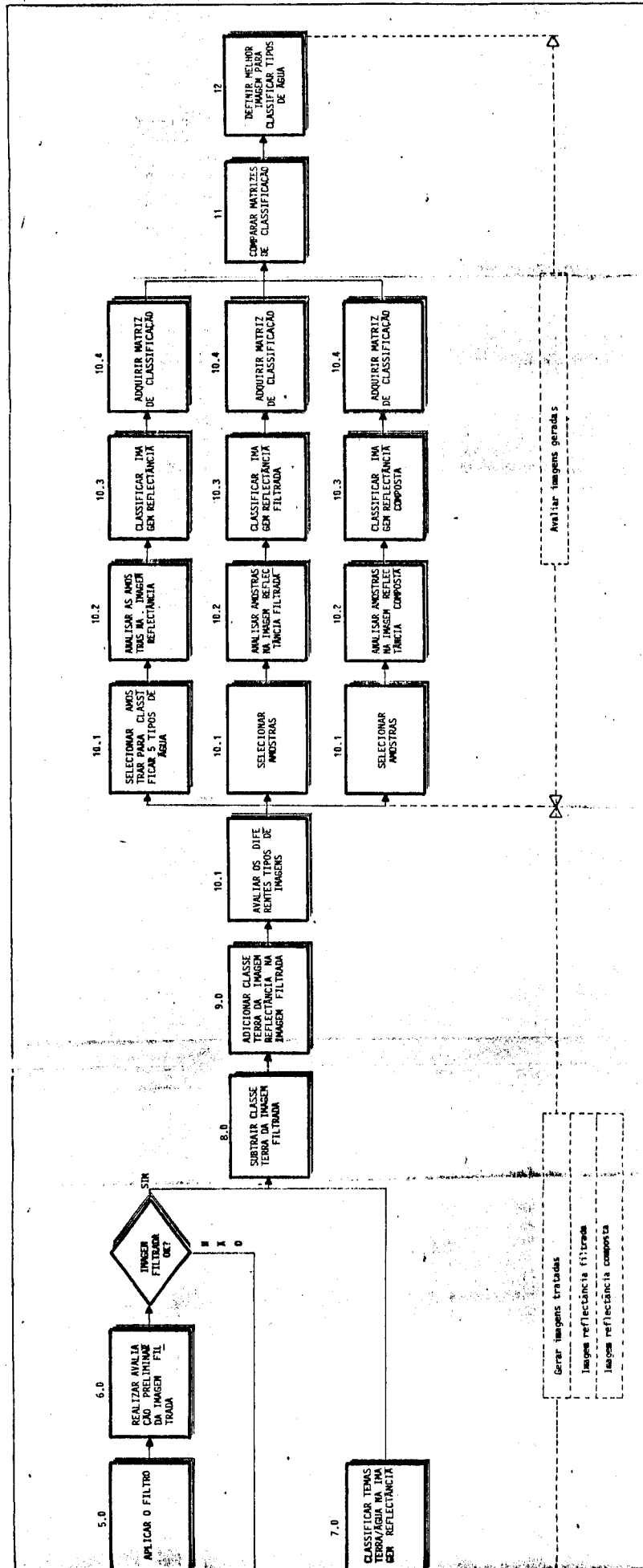
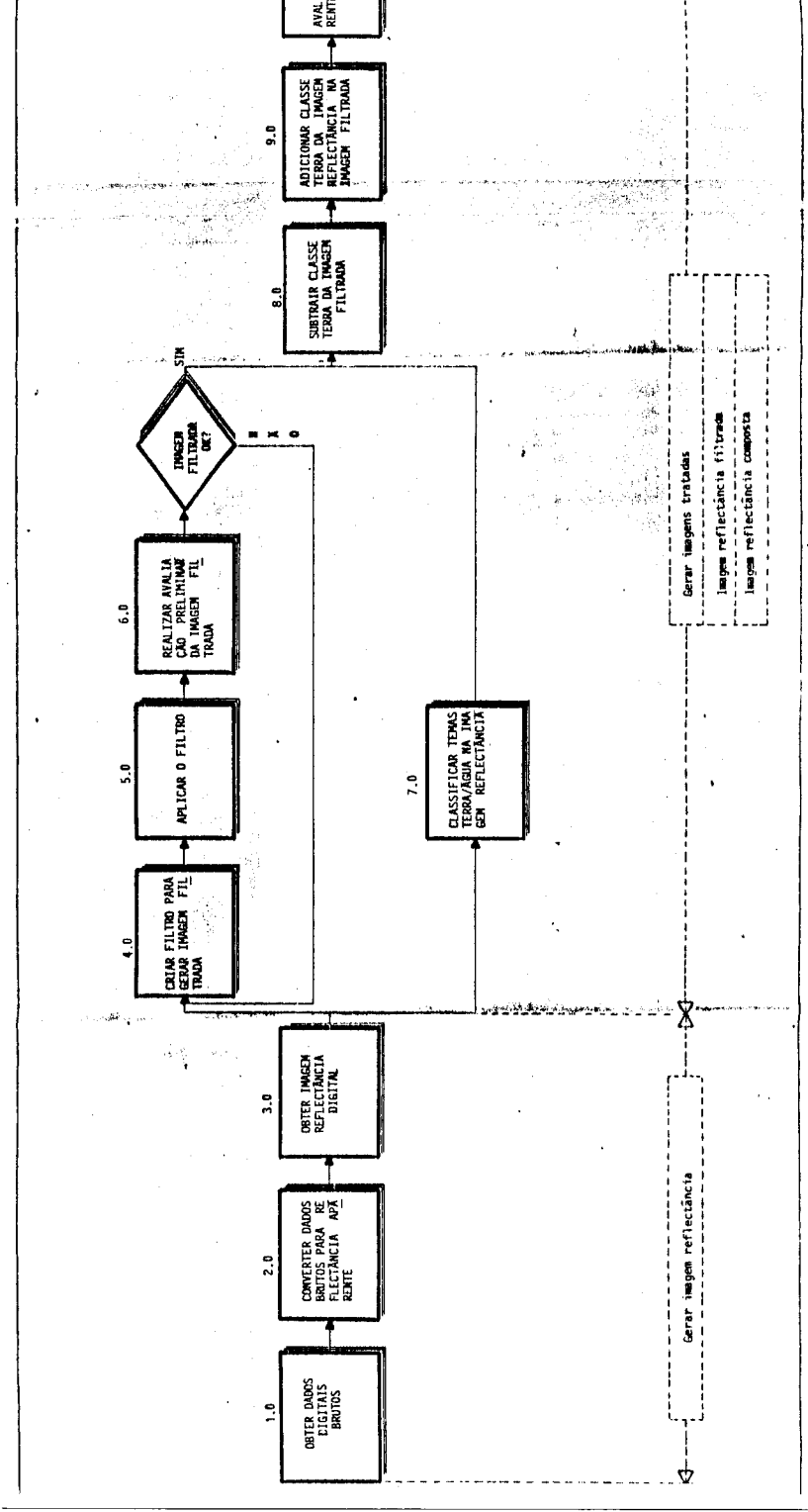


Fig. 2 - Procedimentos metodológicos do estudo.



2.1 - OBTENÇÃO DOS DADOS DIGITAIS BRUTOS

Os dados digitais brutos não possuem qualquer tipo de correção, deste modo os valores digitais de cada pixel estão o mais próximo possível dos valores de radiância que lhes deram origem.

2.2 - CONVERSÃO DOS DADOS DIGITAIS BRUTOS EM DADOS DE REFLECTÂNCIA APARENTE

Essa conversão é feita automaticamente através do algoritmo "ref" implementado no SITIM a partir da equação (1):

$$Ra = \frac{\overline{II} L d^{**2}}{Esol \cos \theta s} \quad (1)$$

onde: Ra = reflectância aparente

L = radiância medida pelo sensor em $mW/cm^2/\mu m$ esferoradiano

d = distância Terra-Sol em unidades astronômicas

Esol = irradiância média do Sol no topo da atmosfera em $mW/cm^2/\mu m$

θs = ângulo de zenite solar em graus

Os valores de L, d e θs são calculados automaticamente a partir de subrotinas que lêem os descritores dos dados brutos que contêm os valores de calibração de cada banda e os parâmetros de conversão dos dados digitais em radiância conforme equação (2):

$$L = Lmin + \frac{(Lmax - Lmin)ND}{dND} \quad (2)$$

onde: ND = nível digital

Lmax = radiância espectral equivalente ao nível digital máximo
(255)

Lmin = radiância espectral equivalente ao nível digital mínimo
(0)

dND = range de variação dos níveis digitais (256)

Os valores de d e θ_s são calculados a partir dos dados de longitude e latitude, horário de passagem do satélite e data. Os valores de E_{sol} são tabelados conforme Markham e Barker (1985).

É importante ressaltar que a reflectância obtida através desse procedimento é uma reflectância aparente do alvo. Não é de modo algum a reflectância real do alvo desde que no seu cálculo é computada a irradiância no topo da atmosfera, a qual, como se sabe pode se diferenciar substancialmente daquela que atinge a superfície terrestre em função das características ópticas da atmosfera no momento da passagem do satélite. Além disso a radiância calculada também é um valor aparente, uma vez que representa a contribuição da radiância do alvo mais a contribuição da atmosfera. Apesar dessas limitações, pode-se admitir que em termos relativos numa dada cena os dados de reflectância aparente variam linearmente com os de reflectância real. Como a irradiância que chega a superfície é menor que a irradiância no topo da atmosfera, e como a radiância medida pelo sensor tende a ser maior que a radiância de alvos de baixa reflectância (Bowker et alii, 1985) pode-se assumir que estes efeitos se compensem e fazendo com que as medidas aparente sejam assumidas como reais na avaliação das propriedades ópticas da água.

2.3 - OBTENÇÃO DE IMAGENS REFLECTÂNCIA DIGITAL

A transformação dos valores de reflectância de cada pixel em níveis digitais (ND) é feita distribuindo linearmente o range de variação possível da reflectância (1) pelo range disponível de NDs (256). Deste modo, por exemplo, um valor de reflectância de 0,39 equivalerá a um nível digital de 100; a reflectância 0 equivalerá ao nível digital 0, e uma reflectância 1 equivalerá ao nível digital 255.

2.4 - CRIAÇÃO DE FILTROS PARA GERAR IMAGEM FILTRADA

Após ter sido teoricamente definida a adequação do filtro mediana para a remoção de "stripping" há a necessidade de se determinar as dimensões e configurações das máscaras a serem utilizadas. Desse modo foram criadas diversas máscaras com tamanhos "3 por 3 pixels" e "5 por 5 pixels" e com diferentes configurações. Estas máscaras foram armazenadas para serem posteriormente aplicadas na imagem.

2.5 - APLICAÇÃO DOS FILTROS

Os diferentes filtros foram aplicados em pequenas regiões contíguas da imagem, tal que se pudesse ter uma idéia clara do efeito de cada filtro sobre as diferentes bandas espectrais. As imagens filtradas foram armazenadas para posterior avaliação.

2.6 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR DAS IMAGENS FILTRADAS

Para a avaliação das imagens filtradas e seleção do filtro mais adequado foi adotado o seguinte critério: o melhor filtro seria aquele que determinasse o melhor nível de remoção do "stripping" no maior número de canais da região visível do espectro eletromagnético. Definido esse filtro ele foi aplicado para todos os canais e para toda a cena. Foi constatado nessa fase que não havia um filtro capaz de remover adequadamente o "stripping" e ainda assim preservar as características originais da imagem na porção terrestre da cena.

2.7 - CLASSIFICAÇÃO DA CENA EM DOIS TEMAS: TERRA/ÁGUA

Para essa classificação utilizou-se a imagem reflectância digital do canal TM4 que permite um bom contraste entre a terra e a água. Utilizando-se a técnica de corte de histograma, pode-se então criar duas classes distintas que foram armazenadas respectivamente nos temas "água" e "terra".

2.8 - SUBTRAÇÃO DO TEMA "TERRA" DA IMAGEM REFLECTÂNCIA FILTRADA

Essa operação fez com que toda a região terrestre da cena desaparecesse, preservando apenas a região aquática. Para isso foi utilizado o programa "Apagar Imagem", o qual permite a remoção dos pixels referentes a um dado "tema" ou seu complemento.

2.9 - ADIÇÃO DO TEMA "TERRA" DA IMAGEM REFLECTÂNCIA DA IMAGEM FILTRADA

Essa operação permitiu substituir os valores digitais da região terrestre da imagem filtrada pelos valores digitais da imagem reflectância. Gerou-se assim, uma imagem composta, tal que as porções aquáticas pertencem a imagem filtrada e as porções terrestres pertencem a imagem reflectância.

2.10 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS TRÊS TIPOS DE IMAGENS

Essa avaliação foi realizada em termos do seu desempenho para as análises visual e digital. Para a avaliação das imagens em termos de seu potencial para a interpretação visual foram utilizados os elementos básicos de interpretação como critérios de excelência. Assim sendo, foram consideradas as seguintes características dos dados: a) preservação das feições texturais dos alvos; preservação de contornos e limites, preservação do contraste entre os objetos, etc.

Para a avaliação do desempenho das imagens para fins de interpretação digital dos dados, considerou-se como critério de excelência dos dados a porcentagem de classificação correta obtida com a separação de diferentes classes de uso da terra e qualidade d'água. Para isso foi delineado o estudo abaixo descrito:

2.10.1 - SELEÇÃO DE AMOSTRAS DE TREINAMENTO PARA IMPLEMENTAR A CLASSIFICAÇÃO POR MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Foram selecionadas cinco classes de água em termos de diferenças quanto a cor. Foram ainda selecionadas amostras de classe de uso da terra, quais sejam: reflorestamento, culturas anuais, culturas perenes, pastagens, solo preparado, etc. A posição das amostras foi armazenada tal que, o mesmo conjunto de pixels fosse utilizado para o treinamento do sistema, qualquer que fosse o conjunto de imagens utilizado para a classificação.

2.10.2 - ANÁLISE DE AMOSTRAS

As amostras selecionadas para representar cada classe de interesse foram analisadas de modo a verificar sua representatividade em relação a categoria a qual pertencia. Amostras com representatividade inferior a 80% foram removidas.

2.10.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Com base nas amostras selecionadas procedeu-se a classificação de cada uma das imagens: imagem reflectância, imagem reflectância filtrada, imagem composta. A avaliação do desempenho da classificação foi feita através da análise das matrizes de classificação.

2.10.4 - AQUISIÇÃO DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO

Obteve-se a Matriz de Classificação de cada uma das imagens analisadas. Através dessa matriz tem-se uma estimativa do acerto no processo de classificação com base na classificação das amostras. Embora ela não forneça uma porcentagem real de classificação correta pode-se, em termos relativos, estimar para cada produto utilizado qual a expectativa de acerto que se pode ter.

2.11 - COMPARAÇÃO DAS MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO

A comparação entre as Matrizes de Classificação foi realizada computando-se as porcentagens de classificação correta das classes de água individualmente, e das classes terrestres em bloco, uma vez que o interesse pelas classes individuais nesse caso era reduzido. Foram ainda tabeladas as porcentagens de pixels não classificados, a ausência média e a confusão média.

2.12 - DEFINIÇÃO DA MELHOR IMAGEM PARA PROCESSAMENTO DIGITAL

A partir da comparação das matrizes e avaliando-se também os resultados da classificação no visor do sistema de tratamento de imagens, pode-se então definir o melhor conjunto de dados para classificação digital de tipos de água.

3. RESULTADOS

3.1 - DESEMPENHO DOS DIFERENTES TIPOS DE IMAGENS PARA A EXTRAÇÃO VISUAL DE INFORMAÇÕES

Na perspectiva de um usuário interessado em análise visual de imagens, pode-se observar que a Imagem Reflectância (I_r) apresenta sérias limitações a discriminação visual de classes de qualidade d'água. De fato, ao se inspecionar a imagem (Figura 3) podem-se distinguir variações de cor na água, mas não existem elementos objetivos que possibilitem traçar limites entre massas d'água opticamente distintas. Em relação a região do "entorno" contudo, a I_r mantém um nível adequado de informações sobre os diferentes objetos que compõem a cena. Pode-se claramente discriminar as diferentes classes de uso da terra a partir de elementos básicos de interpretação visual tais como textura, cor, forma. As classes discrimináveis são: pastagem natural melhorada; pastagem natural; reflorestamento; culturas; mata galeria; estradas; etc.

Quando se aplica o filtro mediana recursivo \tilde{a} (I_r) Imagem Reflectância \tilde{a} há uma remoção do efeito de "stripping", e deste modo, \tilde{a} há um realce das diferentes classes de água (Figura 4). Os limites entre os corpos d'água opticamente distintos se tornam claros, havendo uma sensível melhoria no desempenho da imagem para fins de reconhecimento de diferentes tipos de água. Entretanto, o resultado é desastroso para a porção terrestre da imagem, na qual a filtragem determina um mascaramento dos limites terra/água e a destruição das feições texturais da imagem. A imagem reflectância filtrada (I_{rf}) é portanto inadequada a extração de informações sobre o ecossistema terrestre, oferecendo ainda limitações quanto a identificação do limite terra/água.



Fig. 3 - Imagem reflectância.



Fig. 4 - Imagem reflectância filtrada.

A imagem composta (Ic), desta forma, representa o produto que reúne as qualidades da Ir para a caracterização do ecossistema terrestre às qualidades da Irf na definição de corpos d'água opticamente distintos. Observa-se na Figura 5 a imagem composta que representa a geração de uma cena a partir da justaposição de pixels originais da Ir na região correspondente a terra e pixels da Irf na região correspondente a água. A Ic representa portanto um produto de excelente qualidade para a extração de informações qualquer que seja seu interesse: água ou terra.



Fig. 5 - Imagem reflectância composta.

3.2 - DESEMPENHO DAS IMAGENS PARA CLASSIFICAÇÃO DIGITAL

A Tabela 1 apresenta a porcentagem de classificação correta com base nas amostras de treinamento, das diferentes classes de água e a média da porcentagem de classificação correta das demais classes de uso de terra, para as três imagens geradas no decorrer do estudo.

TABELA 1

PORCENTAGEM DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA - LIMIAR 7.8

CLASSES	Ir	Irf	Ic
Água 1	39,9	99,2	99,2
Água 2	67,9	94,6	88,5
Água 3	47,6	96,7	96,8
Água 4	65,0	98,3	98,0
Água 5	83,2	99,2	92,3
Média das classes de Uso da Terra	77,2	90,7	82,8

Observa-se pela análise da Tabela 1 que a imagem filtrada apresenta a maior porcentagem de classificação correta, quer para as diferentes classes de água, quer para as classes de uso da terra na região de "entorno" do reservatório. A imagem reflectância apresenta um mau desempenho no tocante as classes de água. Tendo em vista que as mesmas amostras de treinamento foram utilizadas para os três conjuntos de imagem, o aumento no desempenho da imagem filtrada só pode ser atribuído ao filtro. O efeito do filtro é mais sensível nas classes de qualidade d'água por serem mais sujeitas ao "stripping", mas também interfere no desempenho médio da classificação de uso da terra. Assim, a média de classificação correta das classes de uso da terra sobe de 77,2% da imagem reflectância para 90,7% na imagem reflectância filtrada. A imagem composta, por sua vez, mantém em média um bom desempenho para as classes de água, mas há uma queda do desempenho médio das classes de uso da terra. Comparando-se a Ir com a Ic nota-se que a presença de "stripping" na água tem o poder de degenerar a classificação do uso da terra, pois uma vez que ele seja removido (Ic), as classes de uso da terra melhoram seu desempenho de classificação em torno de 6%.

A Tabela 2 apresenta os valores médios de abstenção e confusão da classificação das três imagens. Pode-se observar que o melhor desempenho é o da imagem filtrada com uma confusão média muito pequena (0,79). Por outro lado, observa-se que esta imagem apresenta uma abstenção média maior que as demais (5,1%). Isso pode sugerir que os dados comportariam a criação de mais classes.

TABELA 2

ABSTENÇÃO MÉDIA E CONFUSÃO MÉDIA DA CLASSIFICAÇÃO DOS
TRÊS TIPOS DE IMAGENS

TIPO DE IMAGEM	Ir	Irf	Ic
Abstenção média	2,74	5,20	3,9
Confusão média	20,37	0,79	8,7

3.3 - EFEITO DA FILTRAGEM SOBRE AS PROPRIEDADES RADIOMÉTRICAS DOS DADOS

Tendo em vista que a geração de uma imagem reflectância visa entre outras coisas, facilitar o processo de aquisição de informações quantitativas sobre a reflectância dos objetos que compõem a cena, é desejável que o processo de filtragem não provoque grandes modificações quanto a radiometria dos dados. Para avaliar o grau da alteração sofrida pelos dados construiu-se a Tabela 3, que apresenta a média das diferentes classes de água, nos três canais do espectro visível, para as três imagens analisadas. Os dados já estão convertidos em porcentagem de reflectância aparente.

TABELA 3

PORCENTAGEM DE REFLECTÂNCIA APARENTE DE DIFERENTES CLASSES DE ÁGUA
PARA AS IMAGENS IR, Irf E IC

% DE REFLECTÂNCIA canais TM CLASSES	Ir			Irf			Ic		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Água 1	9,7	8,2	6,5	9,7	8,2	6,6	9,7	8,1	6,6
Água 2	9,9	8,7	6,6	10,0	8,9	6,6	10,0	8,9	6,6
Água 3	9,8	8,0	6,0	9,7	8,1	6,2	9,7	8,2	6,2
Água 4	9,6	7,9	5,9	9,6	7,8	5,8	8,6	7,8	5,8
Água 5	8,8	6,7	5,2	8,6	6,4	4,7	8,7	6,5	4,8

A análise de Tabela 3 demonstra que a filtragem não provoca modificações radiométricas substanciais na maioria das classes d'água analisadas. A maior diferença entre a reflectância aparente calculada a partir das três imagens refere-se a classe "água 5" que na Ir do canal TM3 apresentou reflectância aparente de 5,2%, enquanto que na imagem filtrada a reflectância aparente calculada foi da ordem de 4,7%. Analisando-se a matriz de classificação da Ir observa-se que a classe "água 5" tem uma elevada porcentagem de pontos classificados corretamente, quando comparada as demais classes d'água. Por outro lado, enquanto as demais classes apresentam elevada confusão entre si (água 1 sendo classificada como água 2, por exemplo), a classe 5 apresenta superposição com classes de uso da terra. De fato, 9,0% dos pixels dessa classe representam inclusões oriundas das seguintes classes de uso da terra: cultura 1 (3,2%); cultura 4 (2,1%); solo 1 (2,6%); solo 2 (1,3%); reflorestamento (0,8%). Tais classes, em sua maioria se caracterizam por ter reflectância média mais elevada que a reflectância da água na faixa correspondente ao TM3 como é o caso da cultura 1 (7,4%), da cultura 4 (7,3%), e do solo 1 (14,3%). Deste modo com a inclusão desses pixels, a

média da classe água 5 torna-se mais elevada na imagem reflectância do que nas demais imagens onde a porcentagem de inclusão é desprezível.

Pode-se concluir que a aplicação do filtro digital mediana à imagem reflectância não prejudica a aquisição de dados quantitativos de reflectância da água. Ao contrário, ao proporcionar uma remoção dos ruídos e uma uniformização dos dados, reduzindo a variância das classes, a filtragem torna os valores radiométricos mais fiéis às propriedades espectrais dos objetivos da superfície.

A análise da Tabela 3 também mostra que as diferenças entre as classes de água são sutis em termos de porcentagem de energia refletida. Por exemplo, a classe "água 2" é apenas 0,3% mais reflexiva que a classe "água 1" no canal TM1 e 0,7% no TM2. Assim sendo, a presença de ruído ou de pixels erroneamente incluídos podem mascarar possíveis diferenças de reflectância entre massas d'água.

4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstram a eficácia do filtro mediana recursivo para a remoção de "stripping". A imagem filtrada melhora o desempenho da classificação digital de diferentes tipos de água e de uso da terra. A imagem composta melhora o desempenho da interpretação visual de tipos de uso da terra e de tipos de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCE, G.E.; GALLAGHE, N.C.; NODES, T.A. Median filters: theory for one-and-two dimensional filters. IN: *ADVANCES IN COMPUTER VISION AND IMAGE PROCESSING*. London, JAI Press, 1986. v.2, p. 89-166.
- ENGESPAÇO. *SENSORIAMENTO REMOTO SITIM-150*, manual do usuário. São José dos Campos, 1988.
- MEHL, W.; STURM, B.; MELCHIOR, N. Analysis of coastal zone colour scanner imagery over mediterranean coastal waters. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT*, 14., São José, Costa Rica, Apr, 1980. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1980, v.2, p. 653-662.
- SHIMODA, H.; ELAYA, M.; SAKATA, T.; GADA, L.; STELCZER, K. Water quality monitoring of lake Balaton using Landsat MSS. In: *SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCE DEVELOPMENT*. Enschede, Netherlands, Aug, 25-29, 1986. *Proceedings*. ENSCHEDE, ISPRS, 1986, p. 745-758.
- TASSAN, S.; STURM, B. An algorithm for the retrieval of sediment content in turbid coastal waters form CZCS data. *International Journal of Remote Sensing*, 7:643-656, Julho, 1986.
- TASSAN, S. Evaluation of the thematic mapper for marine application. *International Journal of Remote Sensing*, 8:1455-1478, Agosto, 1987.
- TASSAN, S. The use of Thematic Mapper for coastal water analysis. In: *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING*, 16., Kyoto, Japan, July, 11-20, 1988. *Proceedings*. Kyoto, ISPRS, 1988, v.7, p. 564-575.