

CONSIDERAÇÕES SOBRE AS FORMAS DE ABORDAGEM DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS EM GEOGRAFIA

Considerations Regarding the Ways of Approach of Multispectral Images in Geography

Otávio Cristiano Montanher¹
Edvard Elias de Souza Filho²

^{1,2}**Universidade Estadual de Maringá**

Departamento de Geografia

Gema – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente

Av. Colombo, 5790 – Jardim Universitário – CEP 87.020-900 - Maringá –PR

otaviocmontanher@yahoo.com.br, edvardmarilia@wnet.com.br

RESUMO

Imagens multiespectrais são importantes fontes de dados para pesquisas geográficas, pois permitem a caracterização e a espacialização dos alvos em estudo, de forma multitemporal e de baixo custo. Entretanto, comumente esta fonte de dados é utilizada de forma equivocada em estudos geográficos, sem considerações aos seus aspectos quantitativos e qualitativos. A proposta do presente trabalho é demonstrar como a pseudoanálise de imagens multiespectrais, tratando-as como “figuras” não possui correspondência científica e geográfica. A análise de uma imagem multiespectral sem considerações a seus aspectos espectrais, quantitativos e aos elementos de interpretação de imagens pode comprometer toda a sequência de estudos geográficos de uma pesquisa. Neste trabalho são apresentados alguns exemplos da utilização de imagens multiespectrais em geografia, utilizando o sensor TM do satélite LANDSAT 5. A partir destes exemplos propostos, são feitas considerações sobre a adoção das diferentes abordagens de análise e são apresentados os erros que podem existir ao se adotar bases inadequadas em relação aos objetos e objetivos de pesquisas científicas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Imagens Multiespectrais; Interpretação de Imagens.

ABSTRACT

Multispectral images are important data sources for geographical surveys, since they allow the characterization and spatial distribution of targets under study, in a multitemporal way with low cost. However, this data source is frequently used incorrectly in geographical studies, without regard to its quantitative and qualitative aspects. This paper demonstrated how the pseudo-analysis of multispectral images, dealing with them as "pictures", has no scientific and geographic correspondence. The analysis of a multispectral image without considering their spectral and quantitative features and the elements of image interpretation can undermine the entire sequence of geographical studies of a research. This paper presents some examples of the use of multispectral images in geography, using the TM sensor of LANDSAT 5. From these examples, some commentaries are performed about the adoption of different approaches of analysis, showing the errors that may arise when adopting inadequate basis in relation to the objects and goals of scientific researches.

Keywords: Remote Sensing; Multispectral Image, Image Interpretation.

1 INTRODUÇÃO

A aquisição de dados da superfície do globo por meio de sensores remotamente situados tem apresentado importante

contribuição para obtenção de informações sobre a superfície terrestre.

Essa fonte de dados tem-se tornado fundamental em estudos geográficos, sendo essencial ferramenta de análise espacial e

temporal dos diversos fenômenos, naturais ou antrópicos. Entre os aspectos que tornaram a interpretação de fotografias aéreas e imagens orbitais uma rica ferramenta científica, podem ser considerados (JENSEN, 2009):

- a perspectiva aérea/regional;
- percepção tridimensional de profundidade;
- aquisição de dados além da percepção visual humana;
- a possibilidade de obter imagens históricas que permitam documentar mudanças.

Para realização desta coleta de dados, há a diversidade de sistemas sensores que possuem características próprias e podem operar em diferentes faixas espectrais, como sistemas multiespectrais e hiperespectrais. Os sistemas multiespectrais de sensoriamento remoto registram a energia refletida ou emitida de um objeto ou área de interesse em múltiplas bandas do espectro eletromagnético (JENSEN, 2009).

O lançamento do ERTS-1 (depois denominado como LANDSAT 1), no início da década de 1970, demarca o começo de imageamentos multiespectrais sistemáticos por todo o globo, seguido por outros satélites da série LANDSAT. A partir destes e de outros sistemas sensores, é obtida uma rica fonte de dados que podem ser analisados em seus aspectos qualitativos, quantitativos, ou ambos.

Uma forma de abordagem quantitativa de produtos de sensores multiespectrais ocorre quando as imagens são interpretadas a partir de seus valores físicos, como a radiância e reflectância. Para a realização desta abordagem é necessário conhecimento prévio do comportamento espectral do objeto em estudo, sendo este comportamento influenciado pelas características físico-químicas deste objeto, partindo-se da premissa que diferentes materiais oferecem respostas espectrais diferentes.

Lillesand e Kiefer (1994) discutem as vantagens e desvantagens da análise visual e digital de imagens. Segundo o autor, as técnicas de interpretações visuais fazem uso da excelente habilidade da inteligência humana de qualificar e avaliar padrões espaciais em

uma imagem. Porém, interpretações visuais possuem certas desvantagens, como extensivos períodos de treinamento em gabinete, limitação do olho humano de percepção tonal e a dificuldade de analisar simultaneamente numerosas imagens espectrais.

Em aplicações onde padrões espectrais são importantes, é preferível utilizar a análise digital da imagem (LILLESAND; KIEFER, 1994). A análise digital da imagem pode ser entendida como uma avaliação dos aspectos quantitativos da imagem, um exemplo disto é a análise por componentes principais. A interpretação visual de imagens defendida pelo autor para análise de padrões espaciais é um método qualitativo de interpretação de imagens.

Ao lidar com dados orbitais, visualizados como imagens, um conjunto de termos é necessário para expressar e definir características presentes em uma imagem. Estas características são denominadas de elementos de interpretação de imagens, e são utilizadas, por exemplo, para definir como reconhecer certos objetos. Os elementos de interpretação de imagem são: localização, cor, tom/tonalidade, textura, formato, tamanho, estrutura/padrão, sombra, altura/profundidade, sítio, situação e associação (INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION, 2004; JENSEN, 2009).

As imagens multiespectrais permitem a distinção dos diferentes objetos de acordo com sua resposta espectral (NOVO, 1988). Dessa forma, suas análises apresentam-se como importante ferramenta em estudos geográficos, permitindo a caracterização e espacialização dos diversos alvos componentes de uma determinada área em estudo.

A escala de análise oferecida pelas imagens orbitais, a aquisição de informações sobre locais de difícil acesso e o caráter de obtenção de dados multitemporais tornam as imagens multiespectrais fundamentais no estudo dos geossistemas. A teledetecção permite a vigilância permanente dos geossistemas cujos “estados” são analisados após as medidas tomadas pelos satélites (BEROUTCHACHVILI; BERTRAND, 1978).

Porém, comumente esta fonte de dados é utilizada de forma subjetiva, atribuindo-se, por meio da interpretação pessoal, significados aos objetos de interesse, sem considerações aos elementos de interpretação de imagens quanto a seus aspectos quantitativos.

O acesso gratuito e rápido às tecnologias e aos produtos de processamento de imagens orbitais (softwares e imagens orbitais disponíveis na internet) vêm colaborando com este quadro de banalização da utilização de produtos do sensoriamento remoto. Se, por um lado, a facilidade de acesso às imagens e softwares contribui para o avanço da ciência geográfica, por outro lado também a vulgariza, pois pessoas sem preparo técnico e científico utilizam este material de forma inadequada.

A proposta do presente trabalho é apresentar como a análise qualitativa, realizada de forma subjetiva, não fundamentada nos elementos de interpretação de imagens e em informações quantitativas sobre o comportamento espectral de um determinado objeto pode conduzir ao erro, e desta forma, comprometer toda a sequência de estudos geográficos de uma pesquisa.

A elaboração do presente artigo justifica-se pela importância que as imagens multiespectrais possuem em estudos geográficos, como fonte de dados atuais, históricos, cartográficos e radiométricos, com baixo custo de aquisição em relação às saídas de campo rotineiras.

O item 2 deste trabalho apresenta os procedimentos necessários para quantificação dos dados radiométricos das imagens. O item 3 apresenta os exemplos utilizados neste trabalho e sua abordagem quantitativa. O item 4 desenvolve a discussão em relação à abordagem qualitativa de imagens. O item 5 trabalha a abordagem dos dados em relação ao objeto e objetivo da pesquisa, e o item 6 oferece as conclusões deste artigo.

2 TRATAMENTO DAS IMAGENS

Para interpretação quantitativa das imagens orbitais, torna-se necessária a obtenção de valores físicos representativos dos alvos imageados. Para isso, são necessárias

algumas correções para transformação dos valores de número digital (ND) que compõem as imagens originais em valores físicos.

O ND (número digital) equivale à representação em tons de cinza da energia captada pelo sensor. Em imagens multiespectrais, normalmente este valor varia entre 0 e 255, de forma que 0 representa o preto e 255 representa o branco. Os sensores TM, ETM+ do LANDSAT e CCD do CBERS possuem esta característica. Esta variação entre 0 e 255 não é sempre constante, dependendo da resolução radiométrica do sensor. Mas esta informação não possui significados físicos, sendo necessária a transformação do ND para valores como radiância e reflectância para possibilitar a avaliação quantitativa dos alvos (PONZONI 2007a, 2007b).

A transformação de ND para radiância bidirecional aparente é apresentada na equação 1 (MARKHAM e BARKER, 1986 apud PONZONI, 2007b):

$$L_{\lambda} = L_{min\lambda} + ((L_{max\lambda} - L_{min\lambda}) * QCAL / QCAL_{max}) \quad (1)$$

em que:

L_{λ} = radiância bidirecional aparente;
 $L_{min\lambda}$ = radiância espectral mínima;
 $L_{max\lambda}$ = radiância espectral máxima;
 $QCAL_{max}$ = número digital máximo;
 $QCAL$ = número digital a ser convertido.

A equação 1 apresenta como a imagem em valores de ND ($QCAL$) pode ser transformada em valores de radiância espectral (L_{λ}). $L_{min\lambda}$ e $L_{max\lambda}$ representam os valores de radiância espectral mínima e máxima captadas pelo sensor. Tais valores são específicos para cada sensor e banda e são encontrados com relativa facilidade na literatura, Chander e Barker (2003) e Chander et al., (2007, 2009) apresentam esses valores para os sensores MSS, TM, ETM+ e EO-1 ALI. A partir do link: http://146.83.144.170/david/CBERS2orientacao_usuarios.pdf são encontrados os coeficientes de calibração para os sensores do satélite sino-brasileiro CBERS 2.

Os valores de radiância bidirecional aparente não são os mais adequados para

análise das propriedades espectrais dos alvos, pois é dependente da radiação emitida pela fonte (PONZONI, 2007b), incluindo fatores que alteram os valores de radiância dos alvos, sem ter relação com sua composição e estado.

A reflectância, desta forma, passa a ser um parâmetro mais adequado para caracterização espectral dos alvos de interesse. A diferente distância terra-sol em duas datas distintas e a diferente inclinação solar de dois momentos diferenciados são aspectos que devem ser normalizados antes da interpretação dos dados numéricos. A equação 2 apresenta como os valores de radiância bidirecional aparente são transformados em unidades planetárias de reflectância:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (2)$$

em que:

ρ_{λ} = unidades planetárias de reflectância;
 π = constante matemática igual a $\sim 3,14159$;
 L_{λ} = radiância em $[W/(m^2 sr \mu m)]$;
 d = distância terra-sol em unidades astronômicas;
 $ESUN_{\lambda}$ = irradiância solar média no topo da atmosfera, em $[W/(m^2 sr \mu m)]$;
 θ_s = ângulo solar zenital, em graus.

Após este processamento dos dados, obtém-se a imagem normalizada em relação às diferentes condições de orientação e distância solar no momento de aquisição da imagem. Entretanto, ainda não é possível a caracterização espectral de um objeto, sendo necessário realizar a correção atmosférica da imagem. Esta reduz os efeitos subtrativos e aditivos de radiação que a atmosfera possui e não será tratada com profundidade neste trabalho. Importantes considerações podem ser encontradas em Polidório et al., (2005), que ao propor um novo método de correção radiométrica, realizou um levantamento bibliográfico sobre o tema.

Após estes procedimentos é possível realizar a caracterização espectral dos objetos da imagem corrigida. Porém, a comparação de valores físicos entre duas ou mais imagens obtidas em diferentes condições requer a

normalização radiométrica destas imagens (HALL, et al., 1991).

Para a normalização radiométrica das imagens, realiza-se a correção atmosférica da imagem de referência e normalizam-se as outras imagens em relação a esta. Entretanto, Pereira et al., (2007), a partir de dados de campo, expõem que a correção atmosférica por meio do modelo de transferência radiativa 6S das imagens individuais, ao invés de apenas a imagem de referência, apresentou resultados mais precisos do que a normalização radiométrica das imagens, para as faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, considerando o caso específico de estudo.

Após a realização dos procedimentos descritos é possível a comparação quantitativa entre duas ou mais imagens, pois estas estão normalizadas em relação às diferentes condições de aquisição.

3 ABORDAGEM QUANTITATIVA

A Figura 1 representa o comportamento espectral de alvos comumente encontrados na superfície terrestre e o intervalo a que correspondem às bandas espectrais do sensor TM do satélite LANDSAT 5.

Para exemplificar como podem ser utilizadas as informações quantitativas das imagens orbitais em análises geográficas, serão relacionados alguns casos utilizando a imagem de 22/02/2009, Órbita 223, Ponto 76, do sensor TM (*Thematic mapper*), satélite LANDSAT 5. Estes exemplos serão discutidos a partir do comportamento espectral encontrado na Figura 1.

3.1 Vegetação

Ao estudar a distribuição da cobertura vegetal de uma determinada área, observa-se a ocorrência de uma vegetação densa e uma pastagem. O reconhecimento em campo é muito simples, mas o reconhecimento em uma imagem multiespectral pode não ser. Considerando nossa aptidão visual, uma vegetação densa pode apresenta-se em tons mais escuros em relação a uma pastagem, mas,

como seriam suas características em uma imagem multiespectral?

A resposta adequada a esta pergunta vem de outra questão, qual é a região espectral que se está trabalhando?

A vegetação densa realmente apresentará tons mais escuros na região espectral do visível (partes do espectro eletromagnético que correspondem à luz que nossos olhos têm capacidade de diferenciar), pois a ação de pigmentos fotossintetizantes encontrados nas folhas faz com que grande parte da energia seja absorvida nesta região espectral (PONZONI, 2007b). Na região espectral do infravermelho próximo, o comportamento da vegetação em relação à absorção de energia é

totalmente diferente. A estrutura do mesófilo faz com que a energia incidente seja espalhada de forma que quanto mais densa a vegetação, maior quantidade de energia será espelhada e esta vegetação se apresentará em tons claros na imagem (PONZONI, 2007b). Esta diferença de comportamento do mesmo objeto, em duas regiões distintas do espectro eletromagnético, responde à questão levantada anteriormente, a característica do alvo na imagem multiespectral depende da região do espectro eletromagnético que a banda utilizada abarca. Para que isto se torne mais concreto, a Figura 2 apresenta um mesmo local, representado em duas bandas espectrais do satélite LANDSAT 5:

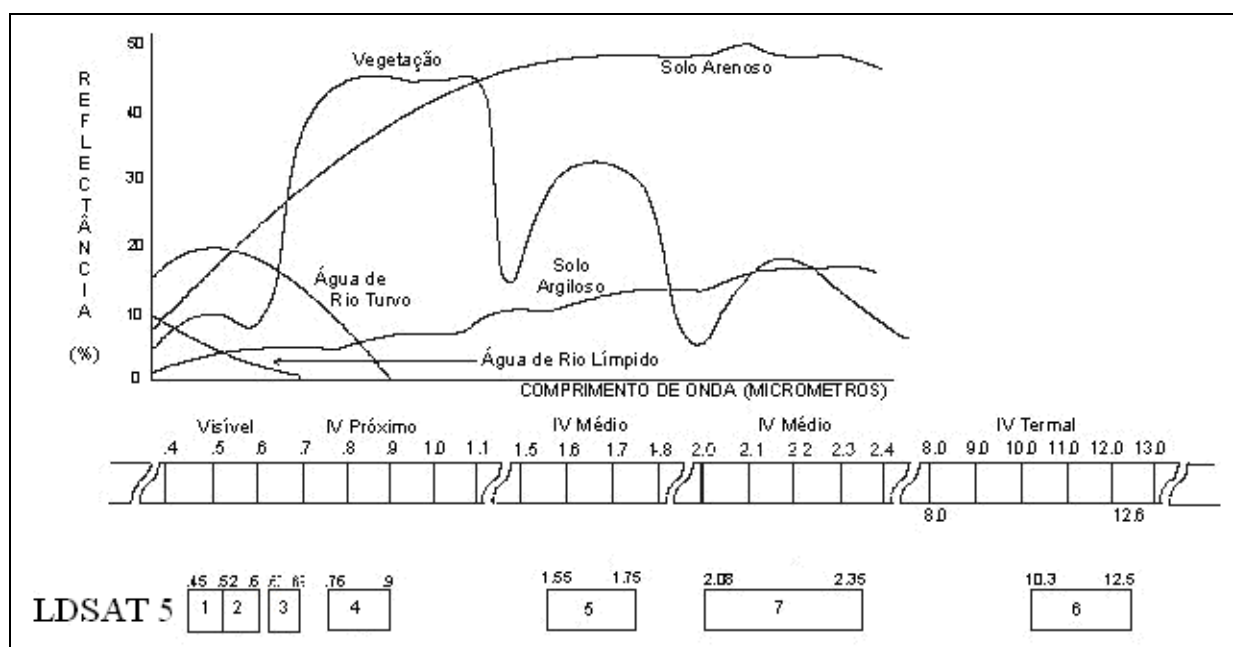


Figura 1: Comportamento espectral de alvos comumente encontrados sobre a superfície terrestre, e a localização das bandas espectrais do satélite LANDSAT 5 (adaptado de: www.fgel.uerj.br/.../sensoriamento/espectro.html).

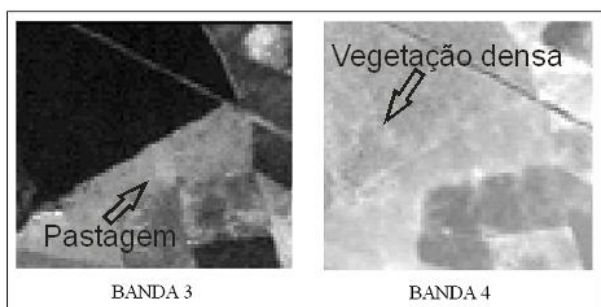


Figura 2: Quadro representativo da diferença de resposta espectral das bandas 3 e 4 para vegetação densa e pastagem.

Como pode ser observado na Figura 1, a vegetação de modo geral possui baixa reflectância na banda 3. Esta banda representa a região do vermelho do espectro visível, em que a vegetação reflete aproximadamente 10% de energia incidente. A banda 4 corresponde à região espectral do infravermelho próximo que possui alta taxa de reflectância, aproximadamente 45%.

Desta forma, observa-se na Figura 2 a diferença das tonalidades que a vegetação densa e a pastagem possuem nas bandas 3 e 4,

pois quanto maior a densidade da vegetação, igualmente extrema é sua resposta ao sensor.

A vegetação densa na banda 4 apresenta-se mais clara do que pastagens (ou outros tipos de vegetação de menor porte), o que contraria a nossa habitual capacidade visual. Um intérprete que não considerar estas informações quantitativas sobre o comportamento espectral do objeto em estudo pode cometer erros grosseiros de interpretação das imagens multiespectrais, e afetar negativamente a sequência da pesquisa.

É importante ressaltar neste ponto que a Figura 1 é ilustrativa do comportamento espectral típico de alguns alvos, porém sua utilização deve servir apenas como base inicial, pois como demonstrado neste item, a vegetação densa e a pastagem, que podem ser classificados como vegetação na Figura 1, possuem comportamento espectral muito diferenciado.

3.2 Parâmetros Limnológicos

Em um estudo hipotético, precisamos estudar a distribuição das características limnológicas de um reservatório. Desta forma, analisando-se a Figura 1, observamos que tanto a água de um rio limpo como de um rio turvo espalham energia principalmente até próximo de 0.9 micrômetros, onde operam as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM do satélite LANDSAT 5. A escolha destas bandas para tal estudo fornecerá muito mais informação sobre as variações limnológicas do reservatório do que as bandas 5 e 7, pois estas não oferecem resposta ao sensor, a Figura 3 representa esta diferença:

A Figura 3 representa a diferença de resposta espectral em duas bandas do sensor TM. Na banda 3, pode-se observar maior diversidade na distribuição das características da água, e na banda 5 o objeto apresenta-se homogêneo. Isto ocorre porque nas partes mais claras do reservatório (na banda 3), existe a maior concentração de sedimentos suspensos que espalham maior quantidade de energia, e nas partes mais escuras, há menor concentração. Tal fato não ocorre por causa de variações na profundidade do corpo hídrico,

considerando-se que é um reservatório de águas profundas.

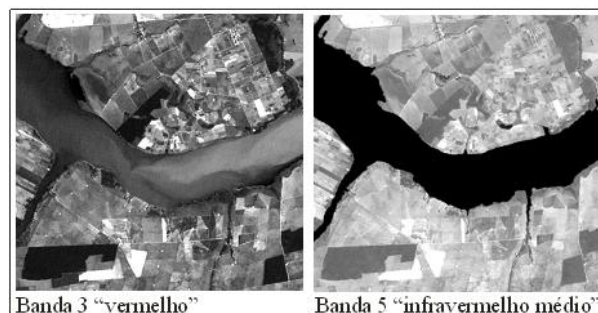


Figura 3: Quadro representativo da diferença entre as bandas 3 e 5 na resposta da variação limnológica no reservatório da Usina Hidrelétrica de Rosana (SP/PR).

Esta hipótese pode ser verificada na Figura 1, onde a água límpida possui para a banda 3, aproximadamente 3% de reflectância, já a água turva, 18%. Na banda 5, esta diferença não é perceptível, pois águas com maior e menor concentração destas variáveis, respondem de maneira igual, nesta faixa espectral (resposta nula, 0% de reflectância).

São vários os elementos que influenciam na resposta espectral da água, sendo um complexo objeto de estudo (NOVO, 2001). Porém, uma simples análise do Gráfico 1 permitiu avaliar quais são as melhores bandas para interpretação do fenômeno, que após interpretação, pode ser analisado geograficamente.

Em uma interpretação realizada sem considerações sobre a resposta espectral dos alvos, um intérprete inexperiente pode adotar a banda 5 para observar as características do reservatório e chegar à conclusão de que este corpo é homogêneo, implicando erros à pesquisa.

3.3 Classificações Digitais

Como ferramenta de auxílio na identificação e interpretação de padrões espaciais, e realização de análises dos valores quantitativos dos alvos, os classificadores digitais são baseados em modelos matemáticos e geoestatísticos.

Segundo Lillesand e Kiefer (1994), em aplicações em que padrões espectrais são

altamente informativos, é preferível utilizar análises digitais de processamento de dados. A classificação digital de imagens realizada a partir de seus valores espectrais fornece interessante fonte de informações em análises quantitativas dos alvos, como nos casos apresentados nos itens 3.1 e 3.2, contudo, a utilização desta ferramenta deve ser realizada em conformidade com os objetivos científicos da pesquisa.

Comumente em classificações de imagens digitais que consideram apenas o ND dos pixels que compõem a imagem, o usuário adota um classificador de forma aleatória, sem prévio conhecimento sobre seus méritos e limitações. Em Geografia, este é um grave erro metodológico e científico, pois ao realizar tais classificações, atribui-se ao ND dos pixels uma determinada classe temática que é extrapolada para todo o conjunto da imagem.

Para melhor entendimento deste problema, considere um estudo hipotético no qual é necessário reconhecer áreas rurais e áreas urbanas de um município. Para realizar esta diferenciação, é adotado um classificador digital baseado nos valores de ND da imagem e são realizadas as amostragens de cada classe, de forma que, para área rural são escolhidos os temas: mata, pastagem e culturas. Para área urbana, são escolhidas zonas residenciais, comerciais e industriais do município. Ao visualizar a classificação, o software distinguiu pontos das duas classes de forma misturada, e não em duas áreas conforme esperado. As Figuras 4.a e 4.b ilustram este exemplo:

Normalmente, a correlação entre os temas e a classe existe, pois ao atribuir os valores de ND da mata, da pastagem e das culturas para uma área rural, normalmente obtém-se uma boa resposta, porém, podem existir árvores, gramados e plantações em áreas urbanas, que não correspondem às áreas rurais. Da mesma forma, estradas e outras construções que podem existir em áreas rurais vão apresentar valores de ND de uma área urbana, mas não o são, como pode ser observado na Figura 4.a.

O problema consiste na tentativa de aplicar a seleção de um tema qualitativo areal

(áreas urbanas e rurais) por meio de dados quantitativos pontuais (valores de pixel).



Figura 4: a) classificação baseada nos números digitais da imagem, a cor branca representa áreas urbanas e a cor cinza representa áreas rurais; b) classificação dos dois temas a partir de interpretação visual e reconhecimento em campo.

Nesta etapa, aponta-se a necessidade da utilização da interpretação qualitativa de imagens multiespectrais, pois o intérprete que reconhece a área de estudo e as informações quantitativas oferecidas pela imagem, poderá facilmente delimitar áreas urbanas e rurais da determinada problemática em questão, como pode ser observado na Figura 4.b.

4 ABORDAGEM QUALITATIVA

Apenas a abordagem quantitativa de imagens orbitais, sem nenhuma consideração quanto aos seus aspectos qualitativos, não é adequada em muitas das análises geográficas, sendo necessário analisá-la de forma integrada. Para realizar esta análise, é necessário abordá-la de forma qualitativa e quantitativa conjuntamente, para sua interpretação.

A interpretação de uma imagem pode ser definida como o exame de imagens com o propósito de identificar objetos e avaliar o seu significado (PHILIPSON, 1997 apud JENSEN, 2009).

Como preconizado por Lillesand (1994), as técnicas de interpretações visuais fazem uso da excelente habilidade da inteligência humana de qualificar e avaliar padrões espaciais em uma imagem. O cérebro humano é capaz de interpolar e balancear não apenas informações visíveis nas imagens, mas também incorporar informações intrínsecas aos fenômenos em estudo que não são visíveis nas imagens, para aprimoramento da interpretação.

Para exemplificar uma análise integrada dos dados quantitativos e qualitativos, conjuntamente com reconhecimento de campo e utilização de informações não-espaciais, foi realizada a extração da rede de drenagem nas proximidades do município de São Jorge do Ivaí – PR, da mesma imagem utilizada nos exemplos anteriores. Na Figura 5.a é apresentada a rede de drenagem extraída e na Figura 5.b a imagem orbital da área experimental:

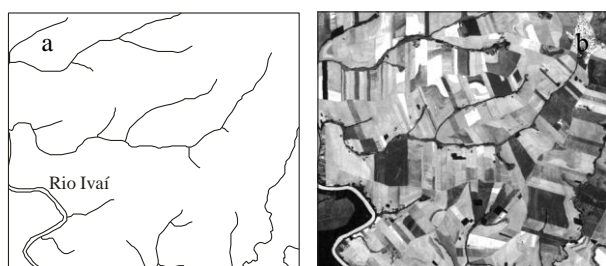


Figura 5: a) rede de drenagem extraída a partir da interpretação integrada da imagem; b) Imagem orbital utilizada para interpretação (Banda 3).

A partir da Figura 5.b, podemos observar a área rural do município de São Jorge do Ivaí, importante área produtora de grãos. Neste quadrante, o único canal fluvial com extensão superior à resolução espacial de 30 m, oferecida pelo sensor, é o Rio Ivaí com aproximadamente 180 m de largura, desta forma, sua delimitação é simples, por meio da vetorização. Contudo, há diversos canais de baixa ordem neste quadrante, que raramente excedem 10 m de largura e, normalmente, estão encobertos por vegetação, não oferecendo resposta ao sensor. Desta forma, como é possível extrair a rede de drenagem se não é possível visualizá-la?

É necessário agrupar e interpretar diversas informações. A imagem é do final do mês de fevereiro e a maioria dos lotes com plantio de soja já foram colhidos, estando encobertos por palha. Este material responde em tons claros na banda utilizada (banda 3). Já as áreas que estão encobertas por vegetação apresentam-se em tons mais escuros, de forma que quanto mais densa for a vegetação, mais escuros são os tons de cinza. Mas esta informação auxilia no reconhecimento da distribuição da cobertura vegetal e das áreas de

culturas temporárias, ainda não demonstra a localização das drenagens.

Pela Lei n° 4.771 (BRASIL, 1965), cursos d'água de até 10 m de largura devem possuir 30 m de vegetação em cada margem. Pela fiscalização existente nesta área, esta vegetação existe no entorno das drenagens. Desta forma, é possível observar feições lineares de vegetação densa entre as culturas temporárias. Estas feições correspondem à vegetação protegida por lei, e indicam a localização dos cursos d'água. Outra informação pertinente é a estrutura de divisão dos lotes, que tem seu limite entre a estrada no divisor de águas e as drenagens, de forma que auxiliam no reconhecimento destes objetos.

Como pode ser observado, foi necessário integrar diferentes tipos de dados para extração da rede de drenagem desta área experimental. Dados quantitativos acerca das diferentes coberturas foram necessários para extrapolação da interpretação em áreas não-reconhecidas em campo.

Também foram necessárias informações locais sobre a estrutura dos lotes, e informações não-espaciais sobre a legislação brasileira em relação à proteção de reservas legais, que podem ser reconhecidas na imagem, mas que não estão explícitas. A geração de modelos matemáticos para reconhecimento destas feições seria de alto grau de dificuldade e, normalmente, implica um nível de erro maior do que a interpretação baseada nas informações disponíveis e reconhecimento de campo.

4.1 A Interpretação de Imagens Multiespectrais e a Utilização do Software *Google Earth*.

A interpretação de qualquer imagem orbital deve ser o último passo a ser realizado pelo intérprete, e envolve experiência de campo e gabinete. Isto pode parecer contraditório, considerando que pessoas sem nenhum conhecimento teórico interpretam imagens disponibilizadas pelo *Google Earth* e conseguem reconhecer alvos e fenômenos. Porém, sua extensa utilização requer algumas discussões.

As imagens disponibilizadas por este software possuem alta resolução espacial, o que facilita a identificação dos objetos, mas encontram-se como composições coloridas verdadeiras, ou seja, encontram-se na faixa espectral do visível, sem a possibilidade de utilizarmos outras bandas espectrais, ou outras composições coloridas. Dessa forma, as aplicações de sensoriamento remoto em imagens multiespectrais permanecem incompletas, pois a faixa espectral do visível não é a mais adequada para todas as aplicações possíveis.

A fina resolução espacial e a faixa espectral que abarcam tornam as imagens disponibilizadas pelo *Google Earth* uma boa ferramenta de treinamento para leigos e iniciantes em interpretação visual, porém, para muitas aplicações não é a ferramenta mais adequada. Esta fonte de dados possui variabilidade temporal indeterminada e não permite testes com outras composições coloridas, ou bandas espectrais que não sejam as do espectro visível.

A partir do discutido, voltamos a afirmar que para um intérprete identificar um alvo com o menor erro possível, ele deve ter em mente a teoria sobre o comportamento espectral desse alvo, conhecer as características do sensor utilizado e obter conhecimento de campo em relação ao alvo de interesse.

5 O OBJETO E OBJETIVO DE ESTUDO E A ABORDAGEM METODOLÓGICA

A partir da discussão exposta, observa-se que imagens multiespectrais podem oferecer muitas informações científicas, desde que trabalhadas com coerência.

O principal problema vinculado à utilização de imagens multiespectrais em estudos geográficos, é que alguns intérpretes realizam suas funções sem sistematização de suas atividades. A abordagem metodológica de uma imagem varia segundo o objetivo da pesquisa, porém, em qualquer situação é necessário o conhecimento prévio do comportamento espectral dos alvos estudados.

A adoção de uma ou outra abordagem metodológica varia segundo o objetivo de

trabalho, o objeto de interesse e o tipo de informação que é necessário. Para responder questões relacionadas à variação de uma característica do objeto em estudo, a abordagem quantitativa torna-se fundamental, como por exemplo: este solo possui maior umidade superficial do que este outro? Quanto? Ou, esta vegetação é mais densa do que outra? Quanto?

Entretanto, questões ligadas à origem destas variações (e dos diversos fenômenos analisados) devem ser analisadas qualitativamente, a partir dos elementos de interpretação de imagens, como por exemplo: este solo possui maior umidade superficial porque está próximo a uma área de inundação (aspecto identificado por meio da própria imagem).

Para exemplificar como são utilizadas as abordagens de imagens multiespectrais em relação ao objeto de estudo, serão relacionados os exemplos apresentados nos itens 3.1 e 3.2.

No exemplo apresentado no item 3.1 o alvo de interesse foram classes de vegetação. Uma pesquisa hipotética visa testar a correlação entre densidade de vegetação e os tipos de solos existentes em uma área, de forma que a premissa é que, quanto mais fértil é o solo, mais densa é a vegetação. Mas como a área é muito grande, a pesquisa em campo torna-se inviável, e a adoção de imagens orbitais é realizada. Para cruzar a densidade de vegetação com uma carta de solos, é necessário quantificar esta densidade, por meio de valores físicos de reflectância ou radiância, para então comprovar a hipótese.

Neste caso, a abordagem quantitativa da imagem é muito mais significativa do que a qualitativa. Porém, no mesmo objeto de estudo, o objetivo de outra pesquisa seria identificar os alvos, reconhecer o que é mata natural e o que é pastagem. Neste caso, baseando-se nos elementos de interpretação de imagens, informações quantitativas e reconhecimento de campo, a abordagem qualitativa é a mais adequada em relação ao objetivo de trabalho.

A situação hipotética sobre a análise limnológica de um reservatório apresentada no item 3.2 requer uma abordagem mais voltada

aos aspectos quantitativos quando o objetivo é comparar os valores do próprio objeto (variações de sedimentos em suspensão e clorofila, por exemplo), sendo necessário realizar todos os procedimentos apresentados no item 2. Após o tratamento das imagens, os valores físicos podem ser correlacionados às variações dos parâmetros limnológicos.

A abordagem qualitativa desta mesma imagem e situação refere-se, por exemplo, à interpretação das prováveis direções de fluxo do canal e a investigação sobre as áreas fornecedoras do material em suspensão, pela lógica do pesquisador. Esta análise pode ser realizada por modelos matemáticos e geoestatísticos, mas são normalmente utilizados como apoio ou comprovação das hipóteses levantadas, não substituindo o pesquisador.

6 CONCLUSÕES

Os avanços tecnológicos recentes em softwares que trabalham com informação espacial e processamento digital de imagens orbitais, e seu acesso gratuito vêm favorecendo avanços científicos no campo de pesquisa geográfico. Porém, também vem formando uma geração de pesquisadores despreparados, que trabalham com a tecnologia e os dados disponíveis sem qualquer revisão bibliográfica ou consideração quanto aos conceitos de sensoriamento remoto. Esta situação causa prejuízos, principalmente, em abordagens quantitativas dos dados, pois esta demanda aprendizagem das técnicas de correção e conhecimento do comportamento espectral dos alvos.

A escolha de apenas uma abordagem, quantitativa ou qualitativa, em relação às imagens multiespectrais é contraditória, pois as duas estão vinculadas. Imagens multiespectrais devem ser analisadas de forma sistemática e integrada, conectando informações qualitativas e quantitativas, qualquer que seja o objetivo de trabalho. Porém, em situações diversas, um ou outro aspecto seja mais relevante, como observado pelos exemplos deste trabalho.

A análise fragmentada da imagem multiespectral empobrece a qualidade da informação gerada e, normalmente, não responde às questões geográficas que tem competência. Aos que desejam trabalhar com imagens multiespectrais em estudos geográficos, aconselha-se revisar os conceitos de sensoriamento remoto, aplicado aos objetos e objetivos de interesse da pesquisa, pois, como demonstrado pelos exemplos deste trabalho, a pseudointerpretação da imagem multiespectral não fundamentada em seus dados quantitativos e qualitativos, não fornece conhecimento científico e não é adequada às questões de análise dos fenômenos geográficos.

REFERÊNCIAS

BEROUTCHACHVILI, N.; BERTRAND, G. Le Géosystème ou “système territorial naturel”. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, Toulouse, v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial**. Brasília, DF, 1965. Disponível em <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Acesso em 18 nov. 2009.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, no. 11, p. 2674-2677, 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSI, A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 4, no. 3, p. 490-494, jul. 2007.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors.

Remote sensing of environment, New York, v. 113, no. 5, p. 893–903, 2009.

HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote sensing of environment**, New York, v. 35, no. 1, p. 11-27, 1991.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION. **Principles of remote sensing**: Munich, 2004.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphânio...[et al]. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LILLESAND, T. M.; KIEFER R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperature. **EOSAT landsat technical notes**, Lanham, no. 1, p. 8, ago. 1986.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1988.

NOVO, E. M. L. de M. Comportamento espectral da água. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETO, J. da S. (Org.). **Sensoriamento remoto**: reflectância de alvos naturais. Brasília, DF: UNB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p. 203-224.

PEREIRA, G.; OLIVEIRA, L. G. L.; PONZONI, F. J.; ADAMI, M.; MORAES, E. C.; ARCOVERDE, G. F. B. **Comparação temporal de medidas radiométricas**: uma abordagem metodológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis, 2007, p. 6375-6381. Disponível

em: <

<http://marTE.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.17.23.25/doc/6375-6381.pdf>>

Acesso em: 15 nov. 2009.

PHILIPSON, W. **Manual of photogrammetry**. 5. ed. Bethesda: ASP&RS, 1997.

POLIDÓRIO, A. M.; FRANCO, C.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M. de L. B. T. **Correção radiométrica de imagens multiespectrais CBERS e Landsat ETM usando atributos de reflectância e de cor**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: 2005. p. 4241-4248. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIISBSR/171_Corr.pdf> Acesso em: 03 nov. 2009.

PONZONI, F. J.; ZULLU JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais**. São José dos Campos: Edições A. Silva Vieira, 2007a.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Edições A. Silva Vieira, 2007b.

Data de submissão: 12.03.2010

Data de aceite: 06.09.2010