

Processamento e análise de imagens hiperespectrais no sistema R: uma abordagem comparativa

Talita Perciano Costa Leite ¹
Alejandro César Frery ²
Nelson Delfino d'Ávila Mascarenhas ¹
Marcelo Almirón ³
Adrián Muract ³

¹ Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR
Rodovia Washington Luis (SP-310) km 235, 13565-905 São Carlos - SP, Brasil
{talita_leite,nelson}@dc.ufscar.br

² Universidade Federal de Alagoas - UFAL
BR-104 Norte km 97 - 57072-970 Maceió - AL, Brasil
acfrery@pesquisador.cnpq.br

³ Universidad Nacional de Río Cuarto - UNRC
Ruta 36 Km 601 - X5804ZAB Río Cuarto - Córdoba, Argentina
almiron.marcelo@gmail.com, amuract@dc.exa.unrc.edu.ar

Abstract. R is a widespread software for graphics and statistical computing. It is available for the most known computer platforms, is a free open-source flexible and extensible platform. However, it does not have enough resources for image processing and analysis. Some of the most used platforms for image processing do not provide good numerical qualities, while R is numerically very reliable. Besides that, we show that by using R users can perform a very good analysis, mainly of hyperspectral images, if compared to other paid softwares. This paper presents a new package of functionalities that allows the use of R for monospectral, multispectral and hyperspectral data analysis. In this paper we compare numerically and functionally R and other widely known platform, ENVI / IDL, presenting examples of the use of R for hyperspectral statistical data analysis.

Palavras-chave: R system, ENVI platform, image processing and analysis, hyperspectral images, numerical precision, sistema R, plataforma ENVI, processamento e análise de imagens, imagens hiperespectrais, precisão numérica.

1. Introdução

As imagens hiperespectrais estão dentre as que fornecem mais informações a respeito da cena captada e, por conseguinte, são formadas por uma enorme quantidade de dados. Assim, existem diversas dificuldades que surgem no momento do estudo estatístico destas imagens, sendo o principal delas a obtenção de informações úteis dentro desta grande massa de dados. Por este motivo, há um constante estudo de novas e mais aprimoradas técnicas para analisar este tipo de imagem. Como mostrado por Madhok e Landgrebe (2002), ferramentas e modelos estatísticos estão presentes em todas as fases de projetos de análise de dados de sensoriamento remoto. Os modelos estatísticos estão explicitamente presentes na análise de dados hiperespectrais, como pode ser visto em Chang e Du (1999); Haertel e Landgrebe (1999); Jia e Richards (1999); Jimenez e Landgrebe (1999).

A maioria das ferramentas utilizadas pela comunidade está presente em softwares pagos, o que impede seu uso por uma considerável quantidade de usuários. Além da restrição econômica, essas plataformas são, na sua maioria, pacotes fechados que oferecem poucas informações detalhadas sobre a sua construção.

Neste trabalho mostramos o desenvolvimento de uma plataforma em software livre, utilizando como infra-estrutura o R, Venables e Ripley (2002), que é um ambiente para estatística computacional e produção de gráficos de qualidade. A distribuição atual de R não oferece recursos suficientes para lidar com processamento e análise de imagens. Este artigo apresenta uma biblioteca que expande as capacidades de R nesse sentido, e permite usá-lo na análise estatística de imagens.

A vantagem da utilização do sistema R é que, por ser um software estatístico, as técnicas de processamento e análise de imagens implementadas nele usufruem de suas excelentes qualidades numéricas, característica essencial para realizar análises de dados confiáveis.

Na seção que segue são apresentados resultados do estudo numérico do sistema R, comparando-os com os de outra plataforma bastante conhecida: o ENVI / IDL.

2. Análise Numérica do Sistema R

Bustos e Frery (2005) mostraram que a plataforma IDL (<http://www.rsinc.com>) apresenta falhas numéricas que podem gerar dúvidas no resultado do cômputo de estatísticas descritivas simples como média, desvio padrão e coeficientes de autocorrelação. IDL é a linguagem base para o ENVI, uma plataforma amplamente utilizada para processamento e análise de imagens; esta última pode, portanto, ser afetada por estas falhas.

Comparamos a seguir os resultados ao analisar nas duas plataformas alguns dos conjuntos de dados disponíveis em National Institute of Standards and Technology (2000): em IDL (usando precisões simples e dupla) e em R. Para a comparação dos resultados apresentamos o número de dígitos corretos, $-\lceil \log_{10}(|x - c| / |c|) \rceil$, onde $c \neq 0$ é o valor certo (certificado) e x é o valor computado.

A **Tabela 1** apresenta os resultados para o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de autocorrelação de primeira ordem, enquanto a **Tabela 2** mostra os resultados para a análise da variância (ANOVA) nas duas plataformas.

Tabela 1: Dígitos corretos no cômputo da média, do desvio padrão e do coeficiente de autocorrelação de primeira ordem

Conjuntos	IDL						R		
	Simples			Dupla			Dupla		
	\bar{x}	s	$\hat{\rho}_1$	\bar{x}	s	$\hat{\rho}_1$	x	s	$\hat{\rho}_1$
lew	∞	6	3	∞	8	3	∞	15	11
lottery	6	6	2	8	8	2	15	15	10
mavro	6	5	2	∞	8	2	∞	13	14
michelson	6	5	4	∞	9	4	16	14	13
numacc1	7	∞	0	∞	∞	0	∞	∞	∞
pidigits	∞	6	4	∞	8	4	∞	15	7
numacc2	5	6	3	∞	∞	3	∞	∞	∞
numacc3	7	1	–	∞	∞	3	15	9	11
numacc4	6	–	–	8	∞	3	∞	8	∞

Tabela 2: Análise de variância: número de dígitos corretos da estatística F

Conjuntos	IDL		R
	Simples	Dupla	Dupla
AtmWtAg	NA	8	9
SiRstv	NA	3	13
SmLs01	7	14	∞
SmLs02	7	13	∞
SmLs03	7	12	15
SmLs04	NA	8	10
SmLs05	NA	8	10
SmLs06	NA	6	10
SmLs07	NA	2	4
SmLs08	NA	3	4
SmLs09	NA	–	4

O desempenho do sistema R é melhor do que o do IDL, pois o número de dígitos significativos informado pela primeira plataforma é consistentemente maior que o fornecido pela segunda. Na **Tabela 1**, por exemplo, no caso do conjunto de dados *mavro*, o número de dígitos significativos informado pelo IDL para os valores de média, mediana e desvio padrão são respectivamente ∞ , 8 e 2, enquanto que o sistema R informa ∞ , 13 e 14. Na **Tabela 2**, para o conjunto de dados *SiRstv*, o número de dígitos significativos fornecido pelo IDL é de 3 enquanto que o sistema R informa 13 dígitos. Nestes dois casos podemos observar uma diferença extrema dos resultados.

3. O Pacote RIPA – R Image Processing and Analysis

Apresentamos nesta seção as principais ferramentas fornecidas pelo pacote proposto e a comparação das mesmas com as providas pelo sistema ENVI, utilizando imagens AVIRIS. O AVIRIS é um sensor hiperespectral que fornece informações em 224 bandas. Cada imagem é tipicamente dividida em três ou quatro cenas, sendo todas de 512 colunas e 614 (ou menos, na última cena) linhas.

3.1. Leitura de Imagens Hiperespectrais

A plataforma ENVI permite a leitura de imagens hiperespectrais. Através do arquivo de cabeçalho da imagem, o sistema disponibiliza as bandas para que o usuário realize as análises desejadas. O usuário pode visualizar uma banda em níveis de cinza, ou fazer uma composição RGB de três bandas da imagem. O pacote RIPA disponibiliza estas mesmas funcionalidades, com o recurso adicional de poder visualizar amostras de todas as bandas da imagem antes mesmo de carregá-las. A **Figura 1** apresenta as amostras das 224 bandas de uma imagem.

A partir das amostras o usuário cria, de forma interativa e intuitiva, Shneiderman e Plaisant (2004), uma lista de bandas ativas com que irá trabalhar. A **Figura 2** mostra a visualização em tons de cinza de uma banda e uma composição RGB da imagem.

3.2. Z-profile

Ao carregar uma imagem hiperespectral em ENVI é possível visualizar o Z-profile de um pixel da imagem, ou seja, o seu perfil espectral. O pacote RIPA oferece uma função para

visualizar este mesmo perfil, tal como mostrado na **Figura 3**, basta o usuário escolher com o cursor a posição desejada.

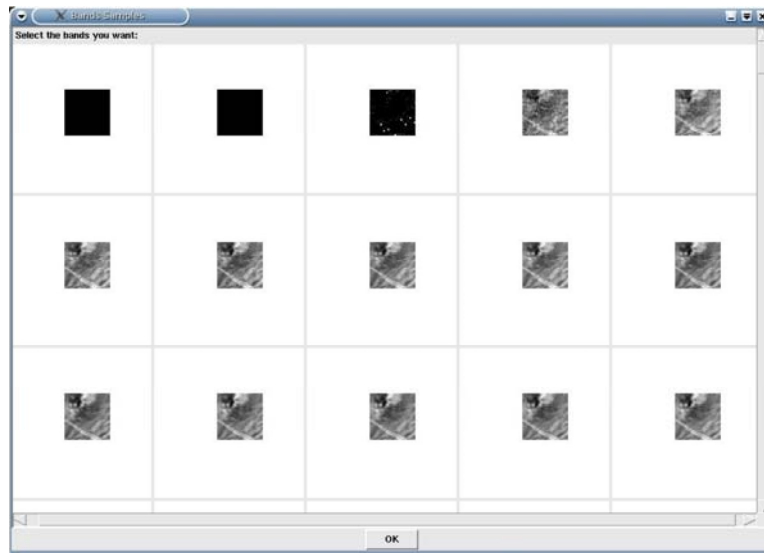


Figura 1: Amostras das bandas de uma imagem AVIRIS

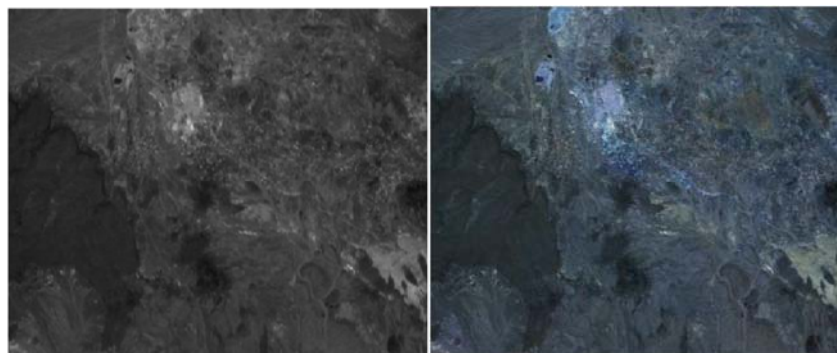


Figura 2: Banda em tons de cinza e composição RGB

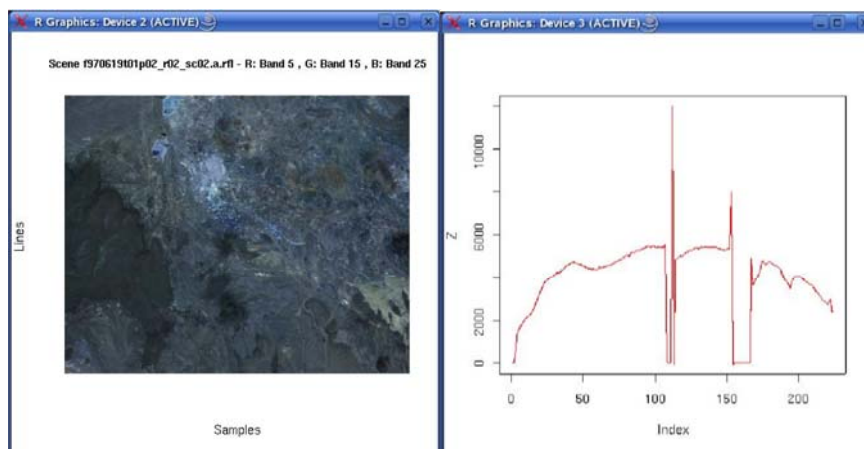


Figura 3: Composição RGB e Z-profile de um pixel

3.3. Regiões de Interesse

Em ENVI o usuário pode escolher regiões de interesse da imagem, ou seja, subconjuntos da imagem original. Estas regiões podem ser escolhidas através de retângulos, círculos, pontos e segmentos, entre outros. Podem ser feitas análises dos pixels das regiões escolhidas e ainda exibir alguns tipos de gráficos, como o *scatterplot*, por exemplo. Utilizando o pacote RIPA, pode-se escolher três formas de regiões de interesse: retangular, circular e por fecho convexo. A **Figura 4** apresenta duas regiões de interesse, uma circular e outra obtida através do fecho convexo de pontos escolhidos pelo usuário.

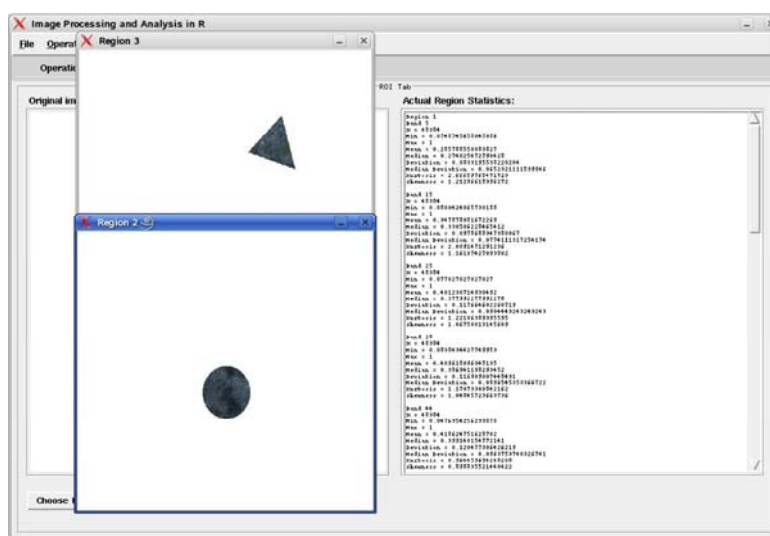


Figura 4: Regiões de interesse

Para cada banda de cada região escolhida é apresentado um resumo estatístico: mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão, entre outros. A matriz de covariância entre as bandas é também calculada na região e exibida. Ao contrário de ENVI, que oferece o *scatterplot* de duas bandas quaisquer da imagem ou de uma região, o pacote RIPA fornece o *brushplot* ou gráfico de dispersão de pares. Assim, não apenas duas, mas qualquer número de bandas determinado pelo usuário pode ser plotado no mesmo gráfico. Tem-se vários *scatterplots*, comparando mais de duas bandas, na mesma janela, como pode ser observado na **Figura 5**.

Outra funcionalidade inovadora do pacote é a de trabalhar com gráficos dinâmicos, ou seja, gráficos que permitem a interação do usuário. Este tipo de gráfico é muito importante em qualquer estudo estatístico, ver Henderson (2004) e Marchak e Whitney (1990). Para isso, o sistema GGobi, ver GGobi Data Visualization System (2003), está sendo utilizado. A **Figura 6** apresenta um exemplo deste tipo de gráfico, o de barras paralelas. Este gráfico mostra, para todas as regiões de interesse escolhidas pelo usuário, os valores da média para cada banda. Cada linha vermelha do gráfico representa uma região e cada ponto da linha apresenta o valor da média para a respectiva banda. Ou seja, se for escolhido um conjunto vertical de pontos, representado pelo retângulo branco no gráfico, teremos os valores da média para uma determinada banda em todas as regiões.

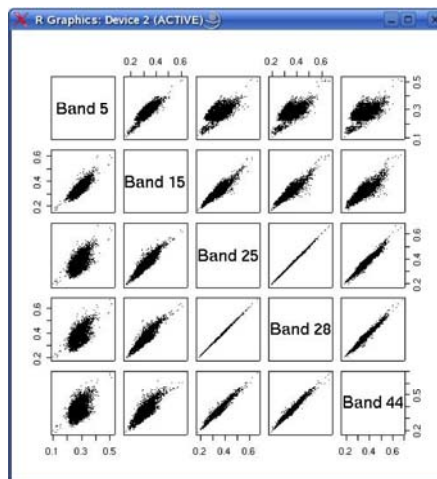


Figura 5: Exemplo de *brushplot*

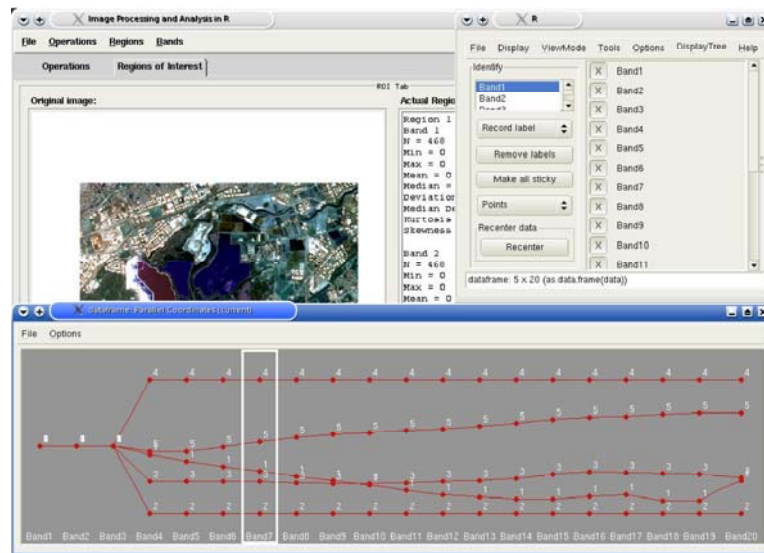


Figura 6: Gráfico de barras paralelas de cinco regiões de interesse

3.4. Análise de Componentes Principais

Outra funcionalidade bastante utilizada em processamento de imagens e que está presente na plataforma ENVI é a análise de componentes principais (*Principal Component Analysis – PCA*). A PCA é um conjunto de técnicas com diversas aplicações: redução da dimensão e identificação de padrões em dados de alta dimensionalidade, dentre outras. No pacote RIPA é possível calcular as componentes principais de uma imagem, com o poder adicional oferecido pelo R, que inclui o uso de diversos algoritmos, de estimadores robustos etc (ver **Figura 7**).

3.5. Modificação Linear de Contraste (*Stretch*)

A modificação linear do contraste pode ser usada para melhorar a visualização dos dados. ENVI e o nosso pacote oferecem este recurso, como pode ser visto na **Figura 8**.

3.6. Treinamento e Classificação

O pacote RIPA oferece recursos para que o usuário possa criar classes e escolher regiões da imagem para estimar os parâmetros que as caracterizam no contexto da classificação estatística, Duda et al. (2000). Na **Figura 9**, uma nova classe foi criada para representar

vegetação. As amostras desta classe estão representadas pela cor verde na figura. O usuário pode escolher tantas amostras quanto necessário.

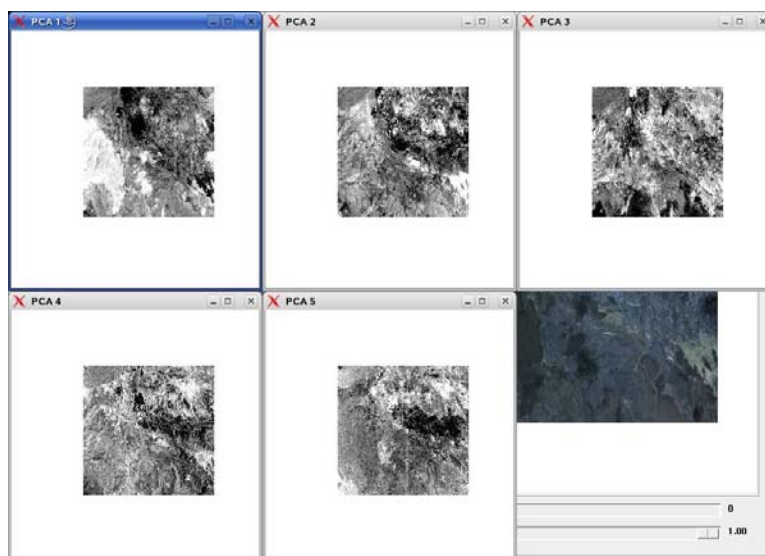


Figura 7: Cinco componentes principais de uma imagem AVIRIS

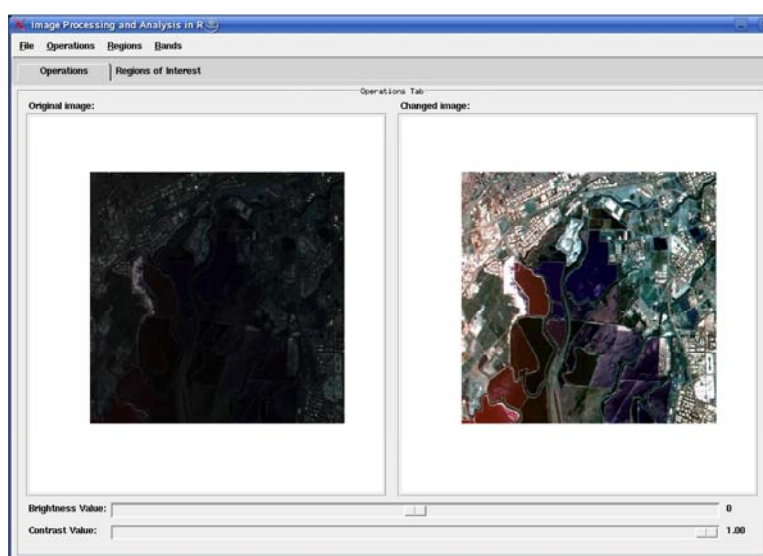


Figura 8: Imagem original (à esquerda) e imagem após aplicação da modificação linear de contraste (à direita)

Além das ferramentas apresentadas aqui, o pacote ainda oferece funções para: negativo, equalização, segmentação e filtros diversos.

4. Considerações Finais

Este artigo apresenta uma proposta de migração do uso de plataformas pagas para plataformas livres no que se diz respeito a processamento e análise de imagens de sensoriamento remoto. Para isto, foi desenvolvido um novo pacote para o sistema R que provê ferramentas para este tipo de análise. Mostramos as diversas vantagens em usar o sistema R, principalmente com relação à confiabilidade numérica, e apresentamos uma comparação de algumas das ferramentas implementadas no pacote com ferramentas similares presentes em uma

plataforma bastante disseminada, o ENVI. Desta forma, podemos afirmar que utilizar o R para processamento e análise de imagens não é apenas viável, mas também recomendável.

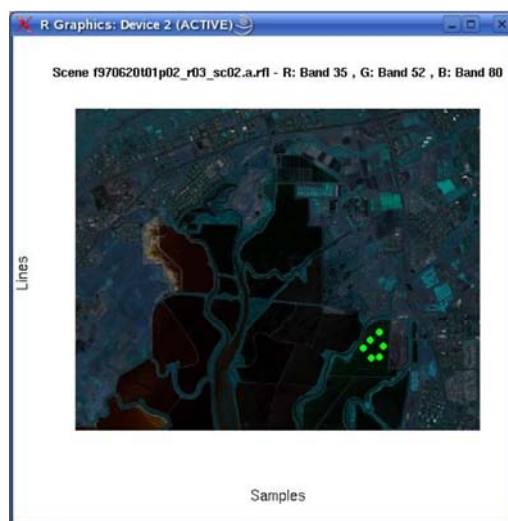


Figura 9: Treinamento de uma nova classe para uma futura classificação

Referências

- Bustos, O. H.; Frery, A. C. Statistical Functions and Procedures in IDL 5.6 and 6.0. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 50, n. 2, p. 301-310, 2005.
- Chang, C. I.; Du, Q. Interference and noise-adjusted principal components analysis. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 37, n. 5, p. 2387-2396, 1999.
- Duda, R. O.; Hart, P. E.; Stork, D. G. **Pattern Classification**. Wiley-Interscience, 2 edn, 2000.
- GGobi Data Visualization System. Disponível em: <<http://www.ggobi.org/>>. Acesso em: 09 nov. 2006.
- Haertel, V.; Landgrebe, D. A. On the classification of classes with nearly equal spectral response in remote sensing hyperspectral image data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 37, n. 5, p. 2374-2386, 1999.
- Henderson, H. V. Interactive and Dynamic Graphics in Statistical Consulting. **J. Agr. Biological Environmental Statistics**, vol. 9, p. 402-431, 2004.
- Jia, X.; Richards J. A. Segmented principal components transformation for efficient hyperspectral remote-sensing image display and classification. **IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing**, vol. 37, n. 1, p. 538-542, 1999.
- Jimenez, L. O.; Landgrebe, D. A. Hyperspectral data analysis and supervised feature reduction via projection pursuit. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 37, n. 6, p. 2653-2667, 1999.
- Madhok, V.; Landgrebe, D. A. A process model for remote sensing data analysis. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 40, n. 3, p. 680-686, 2002.
- Marchak, F. M.; Whitney, D. A. Dynamic Graphics in the Exploratory Analysis of Multivariate Data. **Behavior Research Methods Instruments & Computers**, vol. 22, 176-178. 1990
- National Institute of Standards and Technology. The statistical reference datasets. Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/div898/strd/>>. Acesso em: 09 nov. 2006.
- Shneiderman, B.; Plaisant, C. **Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction**. Addison Wesley, 4 edn, 2004.
- Venables, N. W.; Ripley, B. D. **Modern Applied Statistics with S**. New York: Springer, 4 edn, 2002.