

# Integração de métodos de classificação de imagens derivados da Teoria da Informação

Michael Douglas Lemes dos Santos  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos - SP, Brasil  
Email: michael.dlds@gmail.com

Sidnei João Siqueira Sant'Anna  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos - SP, Brasil  
Email: sidnei@dpi.inpe.br

Elcio Hideiti Shiguemori  
Instituto de Estudos Avançados  
São José dos Campos - SP, Brasil  
Email: elcio@ieav.cta.br

**Abstract**—Many sensors for image acquisition has been widely employed in remote sensing. With improvements on temporal, spatial, spectral, and radiometric resolutions of these satellite observations it has been possible to classify land surfaces more accurately and precisely. The availability of these data makes it important to offer users state-of-the-art techniques for classifying images from different sensors. One of the most used Geographic Information System is TerraView, a freely available geographic data viewer with resources that include database queries and data analysis. As TerraView has not yet incorporated some of the advances stemming from the Information Theory framework, in this work we present the current state of the development of a system which integrates such tools, in order to classify images.

**Resumo**—Diversos sensores para aquisição de imagens têm sido empregados em sensoriamento remoto. A evolução das resoluções temporal, espacial, espectral e radiométrica dessas observações por satélite tornou possível classificar a superfície terrestre com maior acurácia. A disponibilidade de tais dados tornou importante oferecer aos usuários técnicas do estado da arte para classificar imagens de diferentes sensores. Um dos Sistemas de Informação Geográfica mais utilizados é o TerraView, um visualizador de dados geográficos disponível gratuitamente com recursos que incluem bases de dados e análise de dados. Como o TerraView ainda não incorporou alguns dos avanços decorrentes da Teoria da Informação, neste trabalho é apresentado o estado atual do desenvolvimento de um sistema que integra essas ferramentas, com o intuito de classificar as imagens.

## I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a quantidade de sensores orbitais para obtenção de imagens da Terra, tais como satélites e as plataformas aéreas tripuladas e não tripuladas, têm coletado uma quantidade cada vez maior de dados. A disponibilização dos dados também tem tido um acréscimo considerável [1].

Cada sensor tem seus próprios limites no imageamento devido às características inerentes a cada um. Sensores ópticos e de micro-ondas, por exemplo, possuem características distintas no processo de formação de suas imagens e detectam informações diferentes [2].

Estudos, aplicações e a grande disponibilidade de dados de diferentes sensores tornam importante oferecer aos usuários técnicas do estado da arte para classificação de imagens. Uma das plataformas disponíveis é o TerraView [3], um Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito que permite visualizar e manipular dados vetoriais e raster em uma interface amigável, desenvolvido em cima da biblioteca geográfica TerraLib [4] e escrito em C++.

Apesar de ser um *software* completo, o TerraView ainda não incorporou os últimos avanços no processamento e análise de imagens decorrentes da Teoria da Informação. Neste trabalho é apresentado o estado atual do desenvolvimento de um sistema que integra essas ferramentas. O objetivo deste estudo é integrar duas abordagens de classificação de imagens derivadas da Teoria da Informação usando a TerraLib como plataforma de desenvolvimento, e dessa forma, disponibilizar gratuitamente a ferramenta como um *plug-in* no *software* livre TerraView.

## II. TEORIA DA INFORMAÇÃO E A CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

As definições de divergência e distância estocástica estão diretamente relacionadas com o desenvolvimento da Teoria da Informação. Divergências estatísticas são métricas utilizadas para indicar a separabilidade entre distribuições de probabilidade e determinar se são similares [5]. Quando a propriedade de simetria é acrescida às métricas de divergência estatística elas são consideradas distâncias estocásticas [6].

Diferentes contextos de aplicação de medidas de divergência e distância estocástica são encontrados na literatura, entre os quais está a classificação de imagens. Em [7] foi desenvolvido um classificador por regiões baseado em distâncias estocásticas e testes de hipótese, denominado *PolClass*. Em [2] foi proposto um método de classificação multifontes que utiliza os planos de informação intermediários de uma classificação monofonte específica. Esta metodologia de classificação multifontes utiliza o cálculo das distâncias (e respectivas estatísticas de teste) entre funções densidades de probabilidade (*f.d.p.*) multivariadas, em função das distâncias entre as *f.d.p.* marginais, relativas a cada um dos sensores. Vale ressaltar que o termo multifontes, usado neste trabalho, se refere a integração de dados de imagens provenientes de sensores distintos. O termo monofonte se refere a uma imagem de um único sensor.

As duas metodologias de classificação descritas acima foram desenvolvidas para processar imagens ópticas e de micro-ondas (especificamente de radares de abertura sintética - *Synthetic Aperture Radar* (SAR)). A implementação do *PolClass* em [7] foi construída com o ambiente de *software* proprietário ENVI/IDL [8]. O método de classificação proposto em [2] ainda não possui uma ferramenta computacional desenvolvida.

O sistema descrito neste trabalho incorpora essas duas abordagens de classificação. O foco do sistema consiste em: facilidade de uso, visto que, são herdadas ferramentas de interação do usuário bem testadas do TerraView; e completude, uma vez que são incorporadas técnicas do estado da arte de classificação de imagens, tanto monofonte quanto multifonte, e para dados ópticos e de micro-ondas.

### III. INTEGRAÇÃO DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO

O sistema é organizado conceitualmente em três partes operacionais principais, conforme é mostrado na Figura 1.

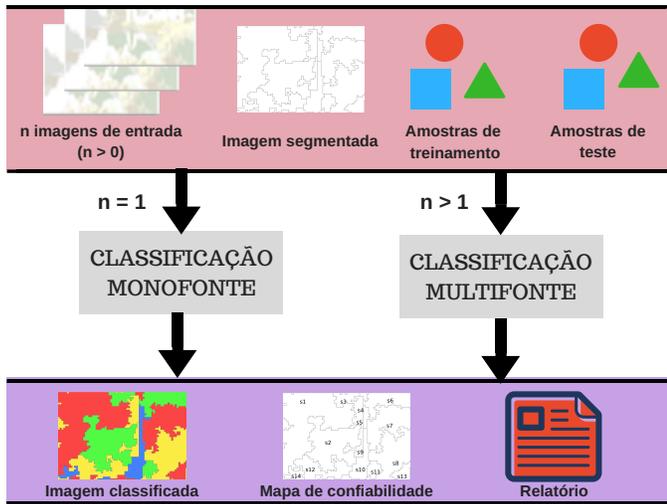


Fig. 1. Esquema ilustrativo do sistema.

O sistema possui um conjunto de rotinas para leitura e organização de vários tipos de formatos de entrada. Os dados de entrada são:  $n$  imagens ( $n \geq 1$ ), uma imagem segmentada em  $r$  regiões e amostras de treinamento e de teste das  $k$  classes de interesse. Para  $n > 1$ , a metodologia considera um conjunto formado por  $n$  diferentes imagens provenientes de  $n$  sensores distintos e supostamente independentes. As  $n$  imagens devem ser de uma mesma região da superfície terrestre e devem estar corregradas entre si. Uma segmentação única dessas imagens em  $r$  segmentos (regiões) é considerada. A coleta de amostras das  $k$  classes de interesse é necessária para o treinamento do classificador. A seleção de amostras de teste das mesmas classes é necessária para validar o resultado obtido de classificação.

O núcleo do sistema consiste nos procedimentos implementados necessários para a classificação, tais como estimação, cálculo de distâncias e teste de hipóteses. Também inclui a classificação propriamente dita e a extração de medidas de qualidade do classificador. Nesta parte do sistema são gerados os planos de informação que contêm os atributos necessários para construção da classificação. Estes atributos são a distância estocástica  $d_{i\ell}$ , estatística de teste  $s_{i\ell}$  e probabilidade (valor- $p$ )  $p_{i\ell}$  ( $1 \leq i \leq r$ ;  $1 \leq \ell \leq k$ ). O classificador permite especificar várias distâncias estocásticas, bem como medidas de dissimilaridade baseadas em entropias. Essas distâncias e entropias são das medidas estocásticas da família  $(h - \phi)$  [9]

e os usuários podem experimentar e comparar resultados. A abordagem de classificação monofonte ( $n = 1$ ) é descrita em [7].

Na classificação multifonte ( $n > 1$ ) é feita uma combinação entre os valores contidos nos planos de informação gerados para cada imagem. A combinação das informações provenientes de diferentes sensores se dá através do uso de operações matemáticas, tais como a soma entre as estatísticas de teste, o mínimo do produto entre as estatísticas de teste, o produto dos mínimos entre as estatísticas de teste ou outra combinação de funções matemáticas das estatísticas que seja diferente das apresentadas. A metodologia de classificação multifonte ( $n > 1$ ) é descrita em [2].

Tendo em vista as distâncias estocásticas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, a modelagem estatística dos dados pode ser feita através da distribuição Gaussiana multivariada (imagens ópticas e SAR multivariadas em amplitude com grande número de visadas), distribuição Wishart complexa escalonada (imagens SAR polarimétricas) e distribuição Par de Intensidades (imagens SAR de 2 polarizações distintas no formato intensidade).

Por fim, o sistema possui um conjunto de rotinas para salvar os dados de saída em formatos livremente disponíveis. As saídas do sistema são um mapa temático da classificação, um mapa de confiabilidade da classificação e um relatório (com matriz de confusão e índices de avaliação como o coeficiente  $Kappa$  e acurácia global).

Para a demonstração das duas metodologias de classificação utilizando o sistema em desenvolvimento neste trabalho, são utilizadas os dados de entrada apresentados na Figura 2 e utilizando a ferramenta em desenvolvimento neste trabalho. A área em estudo é uma unidade de conservação da natureza localizada na Amazônia brasileira às margens do Rio Tapajós, na região do estado do Pará. As cinco classes de interesse adotadas são Floresta Primária, Regeneração, Solo Exposto, Pasto e Soja. São utilizadas como entrada uma imagem segmentada (Figura 2a), amostras de treinamento (Figura 2b) e amostras de teste (Figura 2c).

Uma classificação monofonte (para uma imagem) de uma imagem óptica é apresentada na Figura 3. Além das entradas mostradas na Figura 2, é utilizada a imagem do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT5 (Figura 3a). Para o procedimento da classificação foi utilizada a modelagem Gaussiana, por se tratar de uma imagem óptica, e a distância estocástica de *Bhattacharyya*. As saídas são a imagem classificada (Figura 3b), o mapa de confiabilidade da classificação (Figura 3c) e o relatório com a matriz de confusão e índices de avaliação ( $Kappa$  e acurácia global) (Figura 3d). O mapa de confiabilidade é um indicativo da qualidade da classificação final e indica os segmentos para os quais a hipótese nula do teste não foi rejeitada ao nível de significância de 5%.

Da mesma forma, uma classificação multifonte utilizando uma imagem óptica e uma imagem SAR é apresentada na Figura 4. Além das entradas mostradas na Figura 2, são utilizadas a imagem óptica do sensor TM do satélite LANDSAT5 (Figura 4a) e a imagem SAR em amplitude do sensor *Phase*

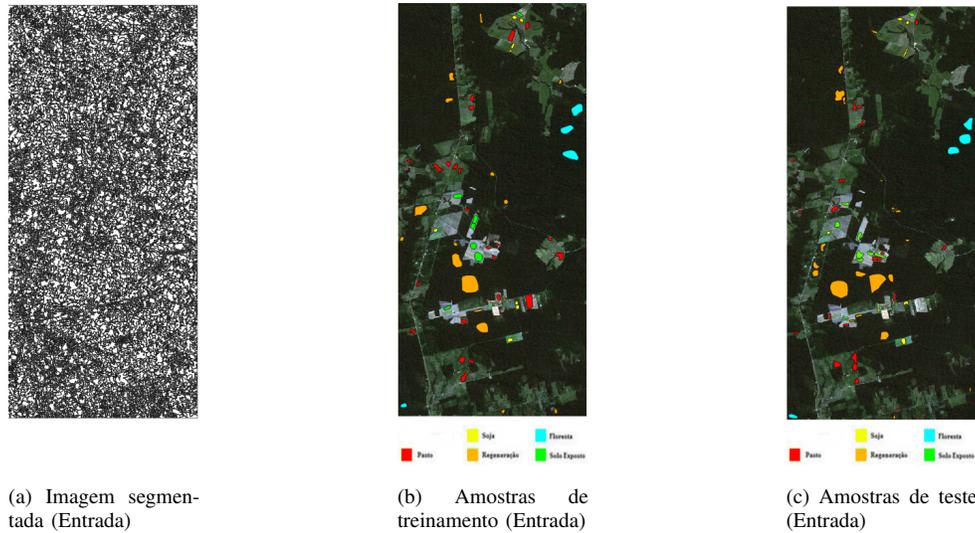


Fig. 2. Dados de entrada comuns às duas metodologias de classificação.

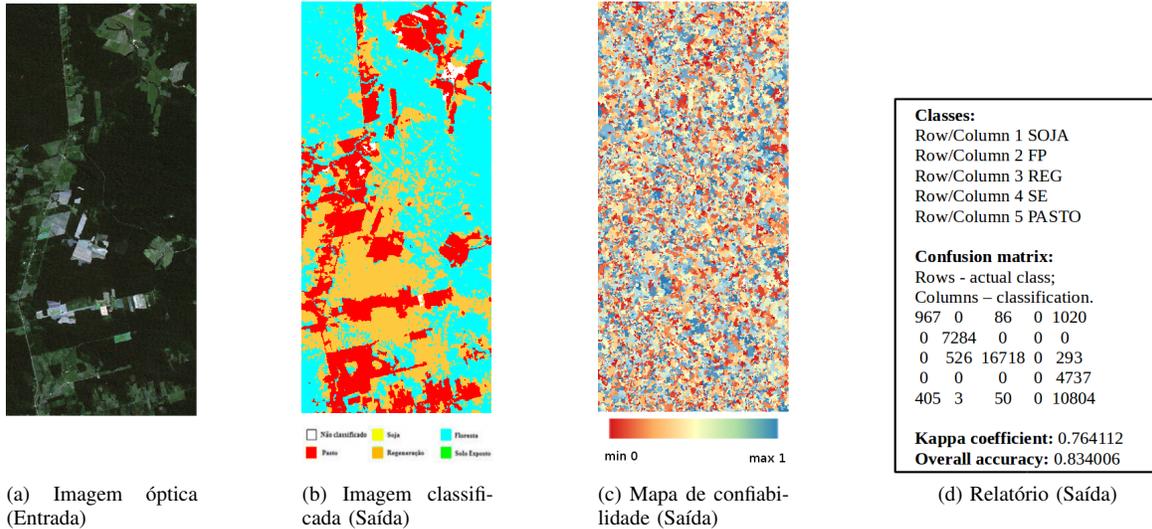


Fig. 3. Dados de entrada e saída da classificação monofonte.

Array *L-Band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) do satélite ALOS (Figura 4b). Para o procedimento da classificação foi utilizada a modelagem Gaussiana para ambas as imagens e a distância estocástica de *Bhattacharyya*. As saídas são a imagem classificada (Figura 4c), o mapa de confiabilidade da classificação (Figura 4d) e o relatório com a matriz de confusão e índices de avaliação (Figura 4e).

#### IV. CONCLUSÃO

Um sistema de classificação de imagens ópticas e SAR está sendo desenvolvido em C++ e na plataforma TerraLib, reunindo duas metodologias distintas. Tais metodologias têm em comum o uso de técnicas derivadas da Teoria da Informação, aplicadas ao processamento e análise de dados ópticos e de micro-ondas. O usuário é capaz de experimentar as muitas opções que esta abordagem fornece (classificação mono ou

multifonte, diferentes modelagens estatísticas e distâncias estocásticas distintas) de maneira amigável e em um *plug-in* do *software* gratuito TerraView.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Bruna Braga e Mariane Reis pelo apoio e dados disponibilizados e à CAPES pelo suporte financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. Pohl and J. V. Genderen, *Remote Sensing Image Fusion: A Practical Guide*. Boca Raton: Taylor And Francis Group, 2017.
- [2] B. C. Braga, "Distâncias estocásticas e testes de hipóteses associados aplicados à classificação de imagens provenientes de múltiplos sensores independentes," São José dos Campos, p. 2016. 167, 2016, sid.inpe.br/m21b/2016/07.04.21.38-TDI.
- [3] "Terraview 5.2.1," São José dos Campos, SP: INPE, 2017. [Online]. Available: [http://www.dpi.inpe.br/terralib5/help/help\\_5.2.1/terraview/](http://www.dpi.inpe.br/terralib5/help/help_5.2.1/terraview/)

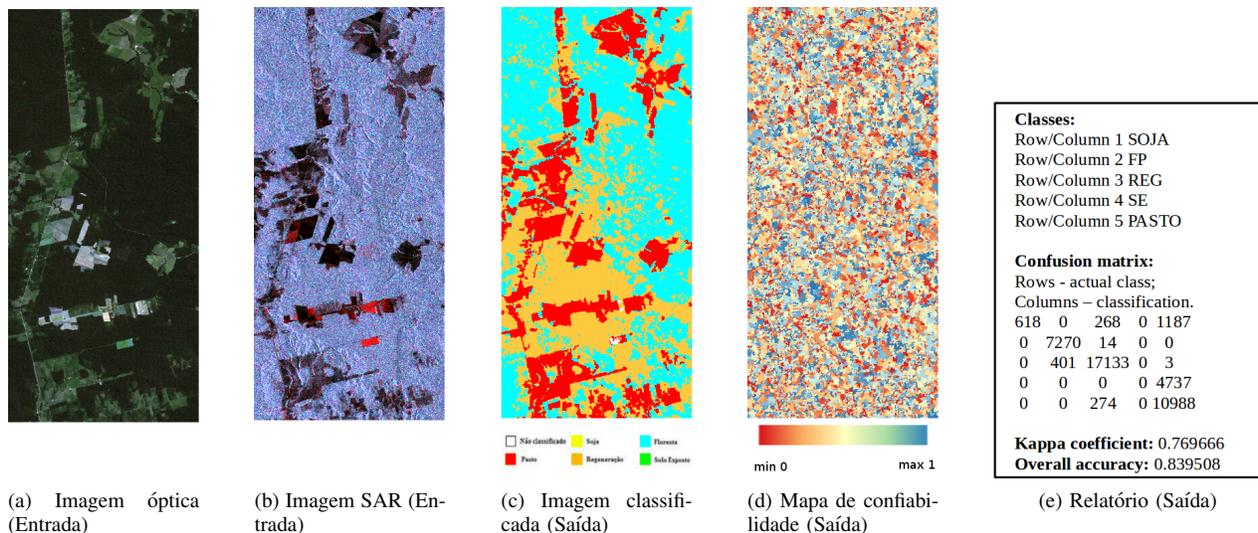


Fig. 4. Dados de entrada e saída da classificação multifonte.

- [4] TerraLib, 2016. [Online]. Available: (<http://www.dpi.inpe.br/terralib/php/about.php?body=AboutTL>)
- [5] M. Salicrú, D. Morales, M. L. Menendez, and L. Pardo, "On the applications of divergence type measures in testing statistical hypotheses," *Journal of Multivariate Analysis*, vol. 51, no. 2, pp. 372–391, 1994.
- [6] A. D. C. Nascimento, R. J. Cintra, and A. Frery, "Hypothesis testing in speckled data with stochastic distances," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no. 1, pp. 373–385, 2010.
- [7] W. B. Silva, "Classificação de regiões de imagens utilizando testes de hipóteses baseados em distâncias estocásticas: aplicações a dados polarimétricos," São José dos Campos, p. 143, 2013, (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/02.20.16-TDI).
- [8] "Exelis," Visual Information Solutions, 2013. [Online]. Available: (<http://www.exelisvis.com/>)
- [9] A. C. Frery, A. D. C. Nascimento, and R. J. Cintra, "Analytic expressions for stochastic distances between relaxed complex wishart distributions," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, no. 2, pp. 1213–1226, 2014.