

# A ESTIMATIVA DO PARÂMETRO KAPPA (K) DA ANÁLISE MULTIVARIADA DISCRETA NO CONTEXTO DE UM SIG

**Flávio Jorge Ponzoni**

**Eugênio Sper de Almeida**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Avenida dos Astronautas, 1758

12227 - 010 São José dos Campos SP

e-mail: flavio@ltd.inpe.br

eugenio@dpi.inpe.br

**Abstract:** A computer program has been developed in order to estimate the Kappa (k) multivariate analysis parameter, applied in the comparison between thematic maps. It is possible to consider the entire study area or sample areas. Details of its processing are presented, including the main aspects that have to be considered in order to achieve correct results. There are four options in the main menu: *Gera matriz*, *Estatística Kappa*, *Ambos e Saída*. The first one is related to the error matrix calculation. In the second one, the calculation of k, the significance of the confiability interval test and the contrast between error matrixes are determined. In the *Ambos* option, both procedures are carried out together. The *Saída* option interrupts the program processing. Some application examples are also presented.

**Key words:** Kappa statistic, Mapping accuracy

## 1 Introdução

A elaboração de mapas temáticos, incluindo mapas de vegetação, a partir de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens orbitais, principalmente) tem se tornado uma atividade rotineira em todo o mundo. Trabalhos como os de Hord e Brooner (1976) e Genderen e Lock (1977) salientaram as vantagens de utilização destes produtos com o objetivo de confeccionar mapas temáticos, incluindo a necessidade do estabelecimento de procedimentos estatísticos destinados ao fornecimento de estimativas de suas respectivas exatidões.

A exatidão de mapas temáticos tem sido determinada a partir das chamadas matrizes de erros ou de contingência, as quais são constituídas por igual número de linhas e de colunas, e representam o confronto entre o resultado da classificação (visual ou digital) de um produto de sensoriamento remoto (mapa temático) e a verdade terrestre ou outra informação considerada como referência. Este confronto é realizado através de um procedimento amostral no qual um certo número de pontos ou pixels pertencentes à uma dada classe (tema) são verificados em campo ou em outro mapa, considerado como referência, no sentido de comprovar ou não a atribuição correta destes à classe em questão.

Uma vez tendo à disposição uma matriz de erros, são várias as possibilidades para a estimativa da exatidão de um mapa temático. Dentre elas destaca-se a estimativa do parâmetro KAPPA (k), fundamentado em critérios da análise multivariada discreta, que é utilizado como medida de concordância entre o mapa e a

referência que se tem adotado para a estimativa da exatidão. Assim, considerando esta referência como sendo a verdade terrestre (por exemplo), o valor de k expressaria a concordância entre a interpretação ou classificação dos dados contidos nos produtos de sensoriamento remoto considerados e a realidade de campo. Para o caso desta referência ser outro mapa temático, o valor de k expressaria então o grau de concordância entre dois mapas temáticos.

Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), mapas temáticos, produtos de sensoriamento remoto, e dados na forma tabular puderam ser manipulados num mesmo ambiente, incluindo as compatibilizações de escalas e de resoluções. Estas facilidades, por sua vez, abriram novas possibilidades para a elaboração de matrizes de erros e conseqüentemente para a estimativa da exatidão de mapas temáticos.

O objetivo deste trabalho é discutir algumas destas possibilidades através de um programa computacional especialmente elaborado para a determinação do parâmetro k a partir de matrizes de erros elaboradas dentro de um SIG.

## 2 Técnicas destinadas à estimativa de mapas temáticos

Inicialmente as técnicas destinadas à estimativa da exatidão de mapas temáticos eram fundamentadas na estatística paramétrica, assumindo que os dados seguiam uma distribuição normal (Congalton *et al.*, 1983). Card (1982), mencionou que a forma mais comum para representar a exatidão de mapas elaborados

a partir de imagens MSS Landsat era através de matrizes de erros. Através destas matrizes é possível avaliar os erros de inclusão e omissão efetuados na fase de classificação, como também permitem determinar o desempenho da classificação para cada um dos itens da legenda (tema) e da classificação como um todo (todos os temas). Os autores ressaltaram ainda que a situação ideal seria aquela na qual todos os elementos da matriz fora da diagonal fossem iguais a zero, indicando que não fora cometido algum erro na fase de classificação.

Congalton *et al.*, (1983) mencionaram que existem dois tipos de técnicas que têm sido utilizadas para a estimativa da exatidão de mapas temáticos: a análise de variância e a análise multivariada discreta. A análise de variância faz uso dos elementos da diagonal da matriz. A principal limitação desta técnica reside no fato de que os dados devem seguir uma distribuição normal, o que não acontece com os dados utilizados na classificação que são discretos, seguindo uma distribuição binomial.

Outra pressuposição inerente às técnicas de análise de variância é que as classes ou categorias (temas) presentes numa matriz de erros devem ser independentes, o que nem sempre acontece quando a fonte de dados para a classificação são produtos de sensoriamento remoto. São comuns as confusões entre estas classes.

O uso das técnicas de análise multivariada discreta na estimativa da exatidão de mapas confeccionados a partir de produtos de sensoriamento remoto foi apresentado por Congalton *et al.* (1983) e posteriormente ampliado por Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), Hudson e Ramm (1987) e outros. Graças à esses autores, a importância das matrizes de erros tem sido reconhecida tanto pela informação que delas pode ser extraída, quanto por constituírem dados de entrada de procedimentos estatísticos mais avançados (STORY e Congalton, 1986).

As técnicas de análise multivariada discreta valem-se destas matrizes de erros para estimar esta exatidão, bem como para estimar o grau de similaridade entre diferentes métodos de elaboração destes mapas. Congalton *et al.* (1983) mencionaram três métodos principais inseridos nas técnicas de análise multivariada discreta destinados à estimativa da exatidão de mapas. O primeiro método implica na chamada "normalização" das matrizes de erros, de forma a permitir a comparação direta entre elas. O segundo método implica no cálculo de um parâmetro cujo valor representa o nível de similaridade entre matrizes de erro que pode ser usado para testar se as matrizes são ou não significativamente diferentes. E finalmente, o terceiro método, permite um exame simultâneo de todos os fatores que afetaram a fase de classificação.

Dos três métodos mencionados, o segundo método vem sendo utilizado com bastante frequência tanto em trabalhos puramente de aplicação quanto em trabalhos de cunho acadêmico (pesquisa). Neste contexto destacam-se os trabalhos de Medeiros (1987), Costa (1990), Ortiz (1995), Damião (1994) e Caldeira (1994), alguns dos quais serão descritos resumidamente ao final deste trabalho. Trata-se do método que se vale do parâmetro KAPPA ( $k$ ) como medida de similaridade entre matrizes de erros.

O parâmetro  $k$  é uma medida de concordância geral, calculado para cada matriz e é baseado na diferença entre a concordância real da classificação e a concordância por puro acaso. A concordância real corresponde à concordância entre os dados da classificação efetuada e os dados de referência ou de verdade terrestre, sendo indicada pelos elementos da diagonal. A concordância por puro acaso é dada pelo produto dos valores marginais das linhas e colunas (Congalton *et al.*, 1983). O parâmetro  $k$  é um coeficiente de concordância que considera toda a matriz de erro.

Antes do advento dos chamados Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), as matrizes em questão eram essencialmente elaboradas a partir de dados coletados em campo através de algum esquema de amostragem que incluía um número pré-estabelecido de pontos a serem visitados, dos quais verificava-se o erro ou acerto da atribuição de uma classe ou categoria a um ponto no mapa (pixel). Atualmente este procedimento é ainda utilizado, constituindo-se em um tópico de grande importância na etapa de classificação (mapeamento) de uma dada área geográfica mediante o uso de produtos de sensoriamento remoto. Contudo, com o advento dos SIGs, surgiram novas possibilidades dadas as facilidades de manipulação de dados permitidas por estes sistemas.

Dentre estas facilidades destacam-se aquelas referentes ao cruzamento entre mapas temáticos dispostos, então, na forma digital. Assim, tomando-se um mapa como referência, outros mapas podem ser agora superpostos a ele, seguindo-se a verificação pixel-a-pixel ou em amostras da concordância entre as classes ou categorias presentes nos mapas. Ainda podem ser citadas as facilidades relativas à escolha e à alteração de esquemas de amostragem, quando o interesse for a estimativa da exatidão de mapas.

### **3 Sensoriamento remoto x elaboração de mapas temáticos**

Dentre os métodos de extração de informações oriundas de produtos de sensoriamento remoto, destacam-se a interpretação visual e o processamento digital de imagens. Na interpretação visual de imagens,

são considerados os elementos clássicos da fotointerpretação na identificação dos temas de interesse, sendo estes relacionados aos recursos naturais. Estes elementos são: cor, tonalidade, textura, sombra, tamanho relativo, etc. Já no processamento digital de imagens, são utilizados os aplicativos computacionais especialmente desenvolvidos para este fim. Dentre os aplicativos atualmente disponíveis no Brasil, destaca-se o SITIM (Sistema Interativo de Tratamento de Imagens Digitais), cujo desenvolvimento iniciou-se no INPE a partir de 1983 e tinha como objetivo fornecer ferramentas para o processamento de imagens de satélites. Esse sistema atualmente utiliza microcomputadores, placa gráfica (SITIM-150 ou 340), monitor gráfico e um software de processamento de imagens.

O sistema SITIM possui ferramentas para manipulação de imagens e estão dispostas em doze grupos: Transferência de Imagens; Manipulação de Imagens em fita; Manipulação de Imagens em cartucho; Tratamento de Imagens; Filtragem Espacial; Classificação por Máxima Verossimilhança (MAXVER); Classificação determinística; Classificação Outros; Registro de rotação espectral; Operações no visualizador; e Utilitários;

Mapas temáticos podem também ser elaborados a partir do processamento digital de imagens, os quais são corriqueiramente denominados de "imagens classificadas".

Tanto os mapas temáticos produzidos através da interpretação visual, quanto aqueles elaborados a partir do processamento digital de imagens, podem ser introduzidos num Sistema de Informações Geográficas (SIG) para as mais variadas formas de processamento visando a obtenção de novas informações.

Utilizando-se o "hardware" desenvolvido para o SITIM, foi desenvolvido, também pelo INPE, um SIG (denominado SGI), o qual permite aplicações nas áreas da cartografia automatizada, da análise e do monitoramento e levantamento de recursos naturais, etc. As funções existentes no SGI estão reunidas em cinco grupos: **Definição de dados** - permite definir projetos, planos de informação e controlar diversos parâmetros dos dados; **Entrada** - fornece opções para a entrada de dados nos Planos de Informação, utilizando funções diferentes para cada categoria (imagem, modelo numérico de Terreno (MNT) e mapas temáticos); **Conversão** - utiliza opções para conversão entre formatos, troca de projeção e outros parâmetros; **Manipulação** - funções de análise de dados e geração de dados derivados. Dentre estas funções podemos citar: reclassificar por classes, fatiar MNT, reclassificação por polígono, operações entre PIs, geração de mapas de distâncias e declividade, cálculo

de área de classes e volume de MNT. Dentre as funções de manipulação está incluída a estimativa do parâmetro Kappa; **Saída** - possui funções para geração e plotagem de cartas, visualização em 3D, geração de imagem sintética, tabulação cruzada e relatórios.

#### 4 Descrição do programa Kappa

O programa Kappa foi desenvolvido dentro de um ambiente de um SIG com o objetivo de permitir a rápida comparação entre mapas e/ou procedimentos considerados na elaboração destes mapas, segundo os conceitos preconizados por Congalton *et al.* (1983). Dentro de um SIG, os mapas são considerados como Planos de Informação (PI's), os quais são passíveis das mais variadas formas de manipulação. Especificamente para as comparações pretendidas entre mapas e mapas, e/ou mapas e dados de campo via os valores do estimador de k, as funções presentes num SIG permitem a rápida elaboração de matrizes de erros segundo os mais variados procedimentos que incluem a averiguação pixel à pixel dos mapas, ou até mesmo a coleta de dados mediante a seleção de amostras sobre o mapa em análise.

Antes da inicialização do programa Kappa, o usuário deve se certificar de que os mapas introduzidos no sistema apresentam-se perfeitamente "superpostos" entre si (registrados) e na forma "rasterizada" ou matricial (imagem) com mesma resolução espacial (mesmos tamanho e forma do pixel). Quando a opção for a seleção de amostras, os mapas podem não possuir o mesmo tamanho, mas devem obrigatoriamente estar registrados entre si. A inicialização do programa Kappa atualmente disponível no SIG desenvolvido pelo INPE se dá com a apresentação de um menu ao usuário composto por quatro opções: a) Elaboração de matrizes de erros; b) Estatística Kappa; c) Ambos os procedimentos anteriores; d) Sair para o sistema operacional.

Na opção a), o usuário deverá informar o número de mapas (ou PIs) que pretende comparar e ainda qual o PI que será considerado como a referência. Este PI referência deve ser considerado pelo usuário como o mapa padrão, com o qual todos os demais serão comparados. Importante salientar que todos os mapas temáticos a serem comparados, inclusive aquele que constituirá a referência, devem ter a mesma legenda, incluindo o número de classes. Ainda, pixels que não tenham sido classificados (possuindo valor "0"), quando no caso da elaboração de mapas temáticos a partir de processamento digital de imagens orbitais, não serão levados em consideração na elaboração das matrizes de erros. Esta característica do programa permite então que as estimativas dos valores de k e da exatidão de mapeamento sejam viabilizados para o caso

da existência de mapas temáticos que possuam “vazios” na área a qual se pretende realizar estas estimativas.

Em seguida são oferecidas ao usuário as opções de efetuar a elaboração das matrizes de erro em todo o mapa ou em amostras. Na segunda opção o usuário pode definir em toda a área abrangida pelos mapas, amostras das quais serão confrontados seus respectivos pixels com o mapa referência. O tamanho destas amostras, bem como sua localização sobre a área do mapa são definidos pelo usuário que passa a ter à sua disposição um cursor de tamanho, forma e localização variáveis. Caso a opção seja a elaboração das matrizes em toda a área abrangida pelos mapas, o programa realizará o confronto pixel-à-pixel ao longo de toda a área abrangida pelo mapa. Caso contrário, esta comparação será restrita à área compreendida pelo cursor.

Para o caso de mapas temáticos elaborados a partir de procedimentos de classificação supervisionados de imagens orbitais, o usuário deve tomar o cuidado de **não** selecionar amostras no mesmo posicionamento geográfico daquelas amostras utilizadas durante a etapa de treinamento do algoritmo de classificação. Este cuidado assegurará a não-tendenciosidade da amostragem na elaboração das matrizes de erros, e conseqüentemente, da estimativa de k.

Seja qual for a opção do usuário, a elaboração das matrizes de erro é fundamentada numa função do SGI do INPE denominada TABCRUZ (Tabulação cruzada), que foi desenvolvida primeiramente para calcular áreas comuns entre dois PIs. Esta função foi então adaptada para o processamento do programa Kappa, o que implicou em modificações de forma a apresentar o número de pixels referentes a intersecção entre as classes numa forma matricial. A Tabela 1 apresenta a distribuição matricial das classes, sendo que no exemplo em questão existem 75 pixels comuns à Classe 1 no PI Referência e em um PI x fictício a ser comparado. No PI x, 10 pixels foram identificados como pertencentes a classe 2, mas no PI Referência pertenciam a classe 1. Para mesma classe 2 do PI x foram identificados 20 pixels que no PI Referência 1 foram designados como pertencentes à classe 1. Desta forma, é possível avaliar a diferença entre dois planos de Informação.

Tabela 1 - Matriz relativa a intersecção de dois Planos de informação

		PI Referência			
		Clas. 1	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4
PI x	Clas. 1	75	10	30	25
	Clas. 2	20	80	30	30
	Clas. 3	5	10	90	30
	Clas. 4	15	10	30	70

Como resultado do final do processamento desta etapa a) do programa Kappa, é elaborado um arquivo em formato ASCII contendo todas as matrizes de erro, referentes à cada um dos mapas comparados. Na opção b) são realizados os cálculos propriamente ditos. O cálculo da estimativa do parâmetro k é feito segundo a seguinte expressão:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r x_{ij} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

onde: r = número de linhas e de colunas das matrizes de erros;

$X_{ij}$  = número de classes na linha i e coluna j;

$X_{i+}$  = total marginal da linha i;

$X_{+i}$  = total marginal da coluna i;

N = número total de observações.

Caso tenham sido elaboradas mais do que uma matriz de erro, o programa compara-as duas a duas, determinando o valor dos desvios entre os seus respectivos valores de k, de forma que se a diferença entre estes valores for significativa, entende-se que há pouca concordância entre os mapas ou procedimentos adotados em sua elaboração.

Considerando a distribuição normal dos valores dos estimadores de k, a significância estatística das diferenças entre eles é definida pelos valores de Z que são calculados segundo a seguinte expressão:

$$Z = \frac{k_1 - k_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

onde:  $k_1$  = valor do estimador de k para a matriz 1;

$k_2$  = valor do estimador de k para a matriz 2;

$\sigma_1^2$  = variância de k para a matriz 1;

$\sigma_2^2$  = variância de k para a matriz 2.

Como resultado desta etapa do processamento do programa, são apresentados na tela do monitor do computador os valores dos estimadores de k para cada uma das matrizes e seus respectivos intervalos de confiança, acompanhados ainda de um teste de significância para esse intervalo ao nível de 95% de probabilidade. Seguem-se também os valores de Z para as comparações entre os valores de k de duplas de matrizes para a verificação do nível de similaridade entre elas.

Nesta opção b), o usuário pode fornecer diretamente as matrizes de erro que podem ter sido elaboradas fora do ambiente SIG, bastando somente que o “layout” do arquivo ASCII que as contenha seja o mesmo daquele definido pelo programa. Estes

resultados podem ser também gravados na forma de arquivos ASCII para posterior impressão em papel. Na opção c) os dois procedimentos descritos em a) e em b) são conduzidos seguidamente sem interrupção.

### 5. Exemplos de aplicação

Ortiz (no prelo) utilizou o programa Kappa na comparação de mapas temáticos referentes à culturas agrícolas irrigadas de inverno, elaborados a partir da classificação digital MAXVER de imagens TM/Landsat de diferentes datas, e por 6 diferentes intérpretes. Três destes intérpretes tiveram acesso à um banco de dados referente à essas culturas agrícolas, enquanto que os demais intérpretes serviram-se somente da imagem e nenhuma outra informação adicional para a seleção de amostras. O autor optou pelo cálculo do parâmetro k tomando como base toda a área abrangida pelos mapas, ou seja, pela comparação pixel à pixel, uma vez que toda essa área era composta por fragmentos de áreas cultivadas dispostas em pivôs centrais. As demais porções dos mapas eram compostos por valores "0". Seus resultados indicaram a superioridade do desempenho alcançado pelos intérpretes que se serviram do banco de dados, em comparação com aqueles que não o utilizaram.

Caldeira (1994) utilizou técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na classificação de uso da terra e cobertura vegetal em áreas litorâneas. O autor serviu-se de classificadores supervisionados, não-supervisionados e híbridos na geração de mapas temáticos. As precisões das classificações elaboradas foram avaliadas mediante a estimativa do parâmetro k, assumindo como dados de referência aqueles extraídos da fotointerpretação que foram dispostos na forma cartográfica e introduzidos no SGI do INPE.

Damião (1994) comparou dois conjuntos de imagens de sistemas sensores diferentes, obtidas em estações climáticas também diferentes. Foram consideradas duas abordagens, sendo a primeira de cunho qualitativo e a outra de cunho quantitativo, tendo sido, nesta última, utilizado o estimador do parâmetro k. O autor determinou em seu trabalho os valores de k para toda a área do mapa, considerando todas as classes e para cada uma delas individualmente.

### Referências

Card, D.H. Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(3): 431-439, 1982.

Caldeira, H. S. Classificação temática de áreas litorâneas: uma contribuição metodológica. São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais, 133 p., 1994. (INPE-5586-TDI/548).

Congalton, R.G.; Oderwald, R.G.; Mead, R.G. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(12): 1671-1678, 1983.

Costa, S.M.F. Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens TM/Landsat aplicadas na delimitação de áreas urbanas. São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais., 125 p., 1990. (INPE-5071-TDL/410).

Damião, D.P. Análise comparativa de imagens multisensores (TM/Landsat e SAR/ERS-1) e multitemporais, na região de Guaiá, SP. São José dos Campos. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 107 p., 1994.

Genderen, J.L.; Lock, B.F. Testing Land-use map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(9): 1135-1137, 1977.

Hord, R. M.; Brooner, W. Land-use map accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(5): 671-677, 1976.

Hudson, W.D.; Ramm, C.W. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(4): 421-422, 1987.

Medeiros, J.S. Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações na cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS Landsat. São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 127 p., 1987. (INPE-4123-TDL/262).

Ortiz, M.J. Integração de sensoriamento remoto multitemporal, sistema de informações geográficas e banco de dados, na identificação de culturas agrícolas irrigadas de inverno. São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (no prelo).

Rosenfield, G.H.; Fitzpatrick-Lins, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(2): 223-227, 1986.

Story, M.; Congalton, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3): 397-399, 1986.