

AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE POVOAMENTOS FLORESTAIS EM IMAGENS DE SATÉLITE ATRAVÉS DE ÍNDICES DE ACURÁCIA¹

Édson Luis Bolfe², Rudiney Soares Pereira³, Pedro Roberto de Azambuja Madruga³ e Eliana Lima da Fonseca⁴

RESUMO - A utilização de matéria-prima de origem florestal aumentou significativamente nas últimas décadas. A busca por alta produtividade concretizou-se com a introdução de espécies exóticas, principalmente *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. Neste trabalho avaliou-se a precisão da classificação digital obtida no levantamento de povoamentos florestais implantados e naturais da área da carta de Cachoeira do Sul - RS, utilizando técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, SIG (sistema de informação geográfica) e GPS (sistema de posicionamento global). Verificou-se que a área é ocupada por vegetação natural (35,54%), *Pinus* sp. (1,89%) e *Eucalyptus* sp. (0,77%), cuja precisão na classificação supervisionada digital foi: Exatidão global (85,23%), Kappa (84,90%) e Tau (77,74%). Concluiu-se que os três índices de acurácia podem ser utilizados, apesar de os índices Kappa e Tau mostrarem-se mais consistentes.

Palavras-chave: Geoprocessamento, índices de concordância e mapeamento de florestas.

DIGITAL CLASSIFICATION ASSESSMENT OF FOREST STANDS IN SATELLITE IMAGES USING ACCURACY INDICES

ABSTRACT - The use of forest raw products has increased significantly in the last decades. The search for high productivity has led to the introduction of exotic species, mainly *Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp. This work evaluated the precision of classification obtained from surveying forest implemented and natural stands in the region of the map area of Cachoeira do Sul - RS, using geoprocessing techniques, remote sensing, GIS (geographic information system) and GPS (global positioning system). It was verified that the area is occupied by natural vegetation (35.54%), *Pinus* sp. (1.89%) and *Eucalyptus* sp. (0.77%), with the following values precision in the supervised digital classification: Global precision (85.23%), Kappa (84.90%) and Tau (77.74%). It was concluded that the three accuracy indexes can be used, although Kappa and Tau were more consistent.

Key words: Geoprocessing, accuracy indexes, and forest surveys.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por produtos de origem florestal aumentou sensivelmente nas últimas décadas, levando a silvicultura a buscar alternativas que pressupõem alta produtividade, concretizando-se com a introdução de espécies exóticas, principalmente *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.

Tradicionalmente, o levantamento do potencial de recursos florestais não é efetivo, pois demanda elevado fluxo de informações, que são difíceis de alocar, interpretar e armazenar, de tal forma que garantam confiável banco de dados. Neste sentido, buscou-se, no presente trabalho, sistematizar informações de povoamentos florestais através da utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

¹ Recebido para publicação em 24.4.2002 e aceito para publicação em 17.2.2004.

² Pesquisador, M.S. em Sensoriamento Remoto, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 49025-040 Aracaju-SE, Fone: (79) 226-1339, Fax: (79) 226-1017, <bolfe@cpac.embrapa.br>. ³ Professor Titular, Dr. em Manejo Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, DER, 97105-900 Santa Maria-RS. ⁴ Pesquisadora, M.S. em Agrometeorologia, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

Segundo Silva et al. (1998), geoprocessamento é um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados, executam análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais, tornando-se utilizáveis em um sistema de processamento automático. Novo (1992) definiu sensoriamento remoto como sendo a tecnologia da utilização conjunta de sensores remotos, equipamentos de processamento e transmissão de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através de registro e análise das interações eletromagnéticas com elementos componentes do planeta Terra, em suas mais diferentes manifestações.

Dessa forma, foram feitos levantamentos dos povoaamentos florestais a partir de técnicas de classificação digital supervisionada em seu método de máxima verossimilhança, no qual, segundo Pereira et al. (1995), o algoritmo de classificação consiste em um princípio estatístico paramétrico, considerando as classes envolvidas em uma função densidade de probabilidade gaussiana.

Ao trabalhar com mapas e informações provenientes de imagens de satélite, objetivou-se avaliar a precisão da classificação digital dos temas abordados. Essa análise é de fundamental importância sob o ponto de vista técnico e de subsídio a instrumentos de fomento governamental. Conforme Story & Congalton (1986), a maneira mais comum para expressar a precisão, tanto de imagens quanto de mapas, está na declaração da porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou “verdade de campo”, denominada Exatidão Global. Esta declaração normalmente é derivada de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados, e expressa na forma de matriz de erro, algumas vezes denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência. Jensen (1986) sugeriu que a análise comparativa da precisão específica local, através da matriz de erro, pode fornecer métodos mais eficientes para comparar a precisão de mapeamentos de uso da terra que uma simples comparação de precisão através de uma estimativa global.

Entretanto, Gong & Howarth (1990) utilizaram o índice Kappa (K) como uma medida de precisão importante a ser associada à matriz de erro, por representá-la inteiramente, isto é, considerando todos os elementos da matriz e não apenas aqueles que se situam na diagonal principal, como acontece com o índice de Exatidão Global.

Foody (1992) ressaltou que o grau de concordância por chance poderia estar sendo superestimado, pelo fato de incluir também a concordância real, e que por conta disso a magnitude de Kappa não refletiria a concordância presente na classificação, apenas descontada a casualidade. Tal fato gerou um outro índice para a medição da precisão de classificação, definido por Ma & Redmond (1995) como índice Tau (T).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os índices de acurácia Exatidão Global, Kappa e Tau nos dados obtidos sob a classificação digital supervisionada de povoaamentos florestais implantados e nativos da carta sistemática DSG/IBGE SH.22-Y-A/Cachoeira do Sul-RS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo situa-se na parte central do Estado do Rio Grande do Sul, correspondendo à carta sistemática DSG/IBGE - SH.22-Y-A, escala 1:250.000, referente à Cachoeira do Sul. Esta região abrange os municípios de Cachoeira do Sul, São Sepé, Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Encruzilhada do Sul, Santana da Boa Vista e Vila Nova do Sul. Possui dimensão de 16.124,20 km², representando 5,60% da área total do Estado. Localiza-se na transição das regiões fisiográficas do Escudo Rio-grandense e Depressão Central, fazendo parte da bacia hidrográfica do rio Jacuí. De acordo com RADAMBRASIL (1986), os solos predominantes na região são os Podzólicos e, em seguida, o Brunizén, além dos Planossolos nas planícies aluviais. A topografia apresenta-se de duas formas: ao norte da região encontram-se altitudes em torno de 50 a 150 m, com declividades não superior a 15°, enquanto ao sul encontram-se altitudes variando entre 150 e 300 m, ocorrendo declividades de até 25°. A economia da região é baseada no setor primário, onde se destacam a agricultura irrigada (arroz) e de sequeiro (soja e milho), as áreas de reflorestamento, a pecuária extensiva e a extração mineral (calcário).

Os materiais cartográficos utilizados no trabalho foram imagens TM/Landsat-5 de 1995, carta topográfica SH 22-Y-A na escala 1:250.000 e carta de solos na escala 1:750.000. O processamento e a análise foram feitos em microcomputadores, mesa digitalizadora, empregando o sistema de informações geográficas Idrisi for Windows. Nos trabalhos de campo utilizou-se GPS (sistema de posicionamento global por satélite).

A metodologia empregada foi subdividida nas seguintes etapas: a) processamento digital das imagens, b) georreferenciamento, c) classificação temática, d) quantificação do uso da terra e e) aferição da acurácia temática.

No processamento digital das imagens TM foram utilizadas as bandas espectrais 3, 4 e 5, de intervalo espectral 0,63-0,69 μm , 0,76-0,90 μm e 1,55-1,75 μm . Estas foram processadas de forma a elaborar a composição colorida, associando as bandas 3, 4 e 5 aos canais azul, verde e vermelho, respectivamente.

Na etapa de georreferenciamento, objetivou-se referenciar as imagens geograficamente ao terreno por meio de sua localização espacial, utilizando o sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*). Foram alocadas coordenadas de pontos visíveis na imagem e na carta sistemática, de forma a estabelecer 22 pontos de controle. Conforme Eastman (1994), o erro admitido no processo de georreferenciamento para elaboração de mapeamentos digitais é de metade da resolução da imagem reamostrada.

Na etapa de classificação temática de uso da terra foi aplicada a classificação digital supervisionada, desenvolvida em função do conhecimento prévio de áreas amostrais obtidas no trabalho de campo, o que permitiu a seleção de áreas de treinamento confiáveis, definindo-se que o algoritmo classificador pelo método de máxima verossimilhança operasse com base na distribuição de probabilidade de cada classe. As classes temáticas foram estabelecidas em função dos temas de interesse: florestas implantadas de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e florestas nativas (florestas primárias, florestas secundárias, matas de galeria e capoeiras).

A quantificação do uso da terra constituiu em determinar as áreas das diferentes classes obtidas através da função de cálculo de áreas, sendo este efetuado a partir da contagem do número de pixels classificados em cada um dos temas (classes de uso da terra), considerando a resolução espacial de 30 m.

Na última etapa aferiu-se a acurácia temática dos resultados obtidos na classificação digital dos povoamentos florestais, submetidos a um sistema de grade, proporcionando uma amostragem sistemática. Determinou-se um arquivo raster de 2.500 x 2.500 m para os povoamentos de florestas implantadas e de 10.000 x 10.000 m nos povoamentos de florestas nativas, no qual foram alocadas áreas-controle em cada um dos pontos

de cruzamento das linhas raster. Primeiramente foram identificadas, através do SIG, as coordenadas referenciadas desses pontos, posteriormente inseridas no GPS, que serviram de orientação para sua localização.

As informações de “veracidade de campo” foram inseridas e analisadas dentro dos índices de acurácia descritos por BRITES et al. (1996): Exatidão Global ($G = [\sum_{i=1}^M n_{ii}] / N$), Kappa ($K = [Po - Pc] / [1 - Pc]$) e Tau ($T = [Po - 1/M] / [1 - 1/M]$), em que $\sum_{i=1}^M n_{ii}$ = somatório dos pontos corretamente classificados dentro de cada classe; N = número total de pontos contemplados na matriz; Po = proporção de unidades que concordam plenamente; Pc = proporção de unidades que concordam por casualidade; e M = número de categorias na classificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processamento digital das imagens observou-se a faixa de diferenciação da resposta espectral dos temas abordados através do número digital (ND), calculado a partir da redução das componentes RGB para valores de 256 padrões. As classes de florestas nativas com ND entre 150 e 162, de dimensões relativamente reduzidas, estão distribuídas principalmente ao longo da rede de drenagem e encostas. As classes de florestas implantadas de *Eucalyptus* sp. (ND 158 a 168) e *Pinus* sp. (ND 155 a 167), com dimensões variáveis e formato regular, estão relativamente bem distribuídas na área de estudo, pois as empresas florestais existentes formaram-se principalmente a partir de recursos oriundos dos incentivos fiscais das décadas de 70 e 80, estabelecendo uma estrutura fundiária dispersa na região. Verificou-se que, apesar de existir diferenças referentes à reflectância das florestas implantadas, essa diferenciação ficou prejudicada pelo ND, pois a região apresenta-se com áreas heterogêneas de reflorestamento, onde se encontram talhões de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. alternados por vegetação de mata ciliar.

No processo de georreferência, foram obtidos 22 pontos de controle, sendo o cálculo do número de linhas e colunas da imagem, respectivamente, 6541 e 5125, com o erro médio quadrático de 0,002419 unidade de imagem, ou seja, 13,70 m, cujo valor está dentro do padrão admitido (metade da resolução do pixel) de 30 m estabelecido por Eastman (1994).

Na quantificação do uso da terra dos povoamentos florestais, constata-se (Figura 1) que o maior porcentual encontrado foi de florestas nativas, com 5.300,94 km²,

perfazendo 32,88% da área de estudo. Os povoamentos de floresta de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. apresentaram 305,34 e 124,16 km², representando 1,89 e 0,77%, respectivamente.

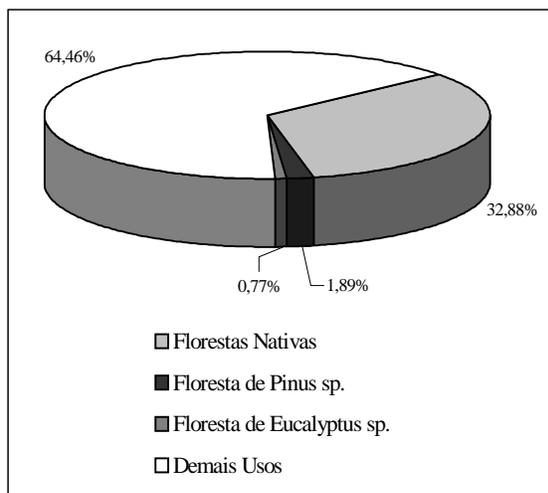


Figura 1 – Percentual de uso do solo na área de estudo.
Figure 1 – Percentage of land use in the study area.

A cobertura florestal na área de estudo totalizou 35,54%, o que pode ser visualizado na Figura 2. Os demais usos do solo (agricultura irrigada, agricultura de sequeiro, solo exposto, pastagem, corpos d'água e áreas urbanizadas) totalizaram 64,46% da cobertura da área de estudo.

No cruzamento das linhas “raster” foram obtidos 45 pontos de controle para as florestas nativas, 27 para a floresta de *Pinus* sp. e 16 para a floresta de *Eucalyptus* sp., totalizando 88 pontos de controle. O resultado do cruzamento dos pontos de controle da imagem-referência com a imagem classificada digitalmente está expressa na matriz de erros para a área de estudo (Quadro 1).

Pode-se observar na tendência da distribuição dos erros ou confusões na classificação digital das classes temáticas propostas que a maior confusão ocorreu quando amostrada a classe floresta de *Pinus* sp., onde foram classificados seis pontos como sendo de floresta nativa e três pontos como sendo de floresta de *Eucalyptus* sp., o que foi provavelmente ocasionado por dois fatores: o primeiro pela presença de mata galeria no interior de

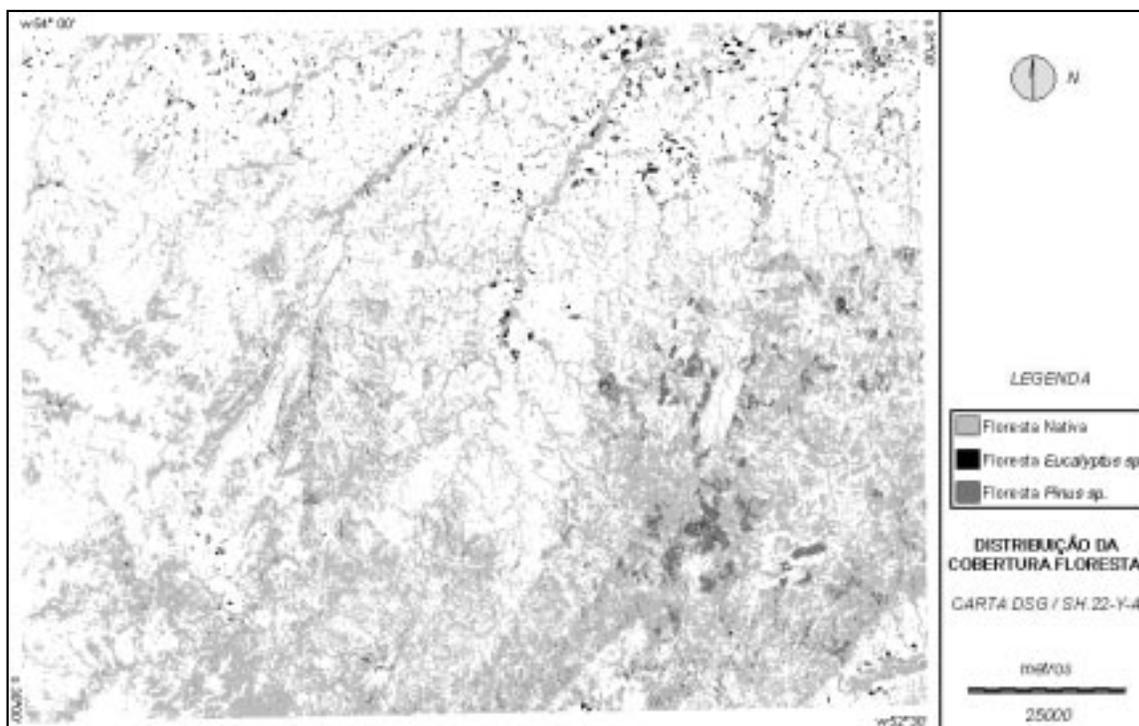


Figura 2 – Distribuição da cobertura florestal na área de estudo.
Figure 2 – Forest covering distribution in the study area.

povoamentos implantados de *Pinus* sp. e o segundo em função dos limiares da classificação digital, onde as respostas espectrais da floresta nativa (ND 150 a 162) e da floresta de *Eucalyptus* sp. (ND 158 a 168) atingem uma faixa de valores semelhantes à resposta espectral dos povoamentos de *Pinus* sp. (ND 155 a 167).

Quadro 1 – Matriz de erros para análise da acurácia obtida na classificação digital

Table 1 – Array of errors for accuracy assessment in the digital classification

Área de Controle	Floresta Nativa	Floresta de <i>Pinus</i> sp.	Floresta de <i>Eucalyptus</i> sp.	Σ_{x+i}
Flor. Nativa	43	0	2	45
Flor. de <i>Pinus</i> sp.	6	18	3	27
Flor. de <i>Eucalyptus</i> sp.	0	2	14	16
Σ_{xi+}	49	20	19	75

As classes que não sofreram confusão foram as de floresta de *Pinus* sp. e floresta de *Eucalyptus* sp., quando amostrada a classe floresta nativa, e as classes floresta nativa e floresta de *Pinus* sp., quando amostrada a classe floresta de *Eucalyptus* sp. Foram obtidos, assim, 75 pontos de controle corretamente classificados dos 88 pontos avaliados.

Os valores obtidos da acurácia para três diferentes índices estão apresentados na Figura 3.

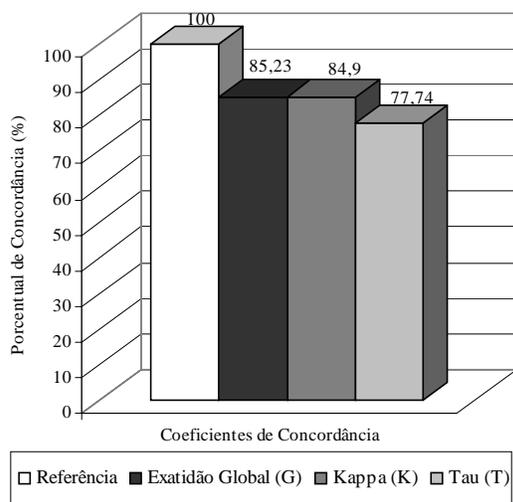


Figura 3 – Índices de acurácia na classificação digital, em porcentagem.

Figure 3 – Accuracy indexes in the digital classification in %.

A Exatidão Global da classificação digital, expressa pela razão entre os pontos corretamente classificados e o total de pontos de referência, calculado em 85,23%, está dentro do patamar estabelecido por Jensen (1986), de 85%.

O valor do coeficiente Kappa obtido de 84,90%, menor do que a Exatidão Global, justifica-se pelo fato de o índice Kappa considerar todas as células da matriz de erros; o mesmo ocorre com o índice Tau, com valor de 77,74%.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

O processo de georreferenciamento, utilizando polinômio cúbico, apresentou precisão dentro da escala trabalhada, sendo de 13,70 m.

O local de estudo possui expressivo índice de cobertura florestal, atingindo 35,54% de cobertura da área.

Os índices de Exatidão Global (85,23%), Kappa (84,90%) e Tau (77,74%) podem ser utilizados na aferição de acurácia da classificação digital.

Embora a Exatidão Global apresente um valor mais alto, os índices Kappa e Tau possuem mais consistência por envolver no valor final todas as células da matriz de erros.

A determinação da matriz de erros permite verificar e analisar as confusões ocorridas entre as classes temáticas levantadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Verificação da exatidão em classificação de uma imagem orbital mediante a utilização de três índices. **Revista Árvore**, v. 20, n. 3, p. 415-424, 1996.

EASTMAN, J. R. **Idrisi: exercícios tutoriais**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. 109 p.

FOODY, G. M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment.

Photogrametric Engineering and Remote Sensing, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.

GONG, P.; HOWARTH, P. J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 5, p. 597-603, 1990.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**. Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 1986. 51 p.

MA, Z.; REDMOND, R. L. Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 4, p. 435-439, 1995.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 1992. 308 p.

PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A.; HASENACK, H. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais**. Santa Maria: UFSM/DER/FATEC, 1995. 40 p.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1986. p. 313-581.

SILVA, E. M. et al. **A pesquisa operacional: programação linear, simulação**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1998. 184 p.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.