

Avaliação de classificação digital em imagens de vídeo multiespectral utilizando matriz confusão

Luciano Farinha Watzlawick

Departamento de Engenharia Florestal - UNICENTRO/Irati
84500-000 Irati (PR)
farinha@irati.unicentro.br

Flávio Felipe Kirchner

Centro de Ciências Florestais e da Madeira - Setor de Ciências Agrárias - UFPR
80210-170 Curitiba (PR)

Pedro Roberto de Azambuja Madruga

Centro de Ciências Rurais - Departamento de Engenharia Florestal - UFSM
97105-900 Santa Maria (RS)

(Recebido: 22 de março de 2002)

Resumo: Neste trabalho, o objetivo foi realizar classificações digitais e avaliar os resultados utilizando o método da matriz confusão ou matriz erro em imagem de vídeo multiespectral. A classificação digital utilizando o método de mínima distância resultou numa precisão global de 81,15 %, enquanto que o método do paralelepípedo, uma precisão global de 24,30 %. Considerando os índices alcançados com a classificação do método da mínima distância, a utilização de câmaras de vídeo como sensor não convencional é viável por apresentar baixo custo, bem como a aquisição e análise das imagens geradas em tempo real.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; levantamento de talhões florestais; imagens digitais

Abstract: In this work the objective to accomplish digital classifications and to evaluate the results using the confusion matrix method or matrix error from multispectral video images. Results of digital image classification using minimum distance included a global accuracy of 81.15 % , while using parallelepiped method the global accuracy was 24.30 %. Although results indicted accuracy rates with the classification algoritith applied, the use of multispectral

videography data was considered viable due to low cost and due to the acquisition and analysis of images almost in real time.

Key words: *remote sensing; survey of stands; digital image*

1 Introdução

A videografia é um sistema sensor não convencional, aerotransportado, com a finalidade de aquisição e interpretação de imagens utilizando câmaras de vídeo. Possuem aplicações em monitoramento de recursos naturais nas mais variadas áreas, estudos de comunidades vegetais ribeirinhas, verificações no índice de pastagem (forragem), avaliações na dinâmica da vegetação, avaliações de locais de poluição, avaliações anuais das mudanças de infestação de ervas daninhas e insetos, dentre muitas outras aplicações que possam ser realizadas.

Ao utilizar imagens de vídeo multiespectral nos comprimentos de onda do verde, vermelho e infravermelho próximo, com finalidade de delinear sub-grupos e diferentes tipos de vegetação ribeirinha, SHOEMAKER *et al.* (1993), concluíram que a videografia multiespectral é uma ferramenta que possibilita a identificação desta vegetação. Ressaltam também que na realização de inventário deste ecossistema, associar os trabalhos com as imagens reduz muito o tempo dos trabalhos de campo.

Para inventariar os danos causados nas florestas pelo furacão ANDREW (1992, EUA), JACOBS e EGGEN-MCINTOSH (1993), utilizaram-se câmera de vídeo S-VHS equipada com lente de 55 mm. A avaliação foi realizada através da interpretação visual utilizando dois tipos de dados: volume da copa e forma, indicando árvores mortas, árvores prováveis de morrer e danos em árvores vivas. Concluíram que a videografia aerotransportada permite uma rápida avaliação dos danos, reduzindo a necessidade de levantamentos no campo da área afetada.

Por outro lado, FRYAR e CLERKE (1988) *apud* DISPERATI e DRAGO (1996), avaliaram a utilização de fotografias aéreas 35 mm e de imagens aéreas multiespectrais de vídeo para estimar a densidade de folhas em povoamento de *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engel de uma floresta dos Estados Unidos. Os resultados indicaram que a percentagem de erro com as imagens de vídeo se limitou a 12% em 5 dos 19 talhões analisados. Comparada com dados terrestres, esta percentagem foi exatamente o dobro do erro proveniente das fotografias aéreas, em 10 dos 19 talhões.

Conforme afirmam DISPERATI e DRAGO (1996), as imagens de vídeo têm sido uma ferramenta auxiliar nos trabalhos florestais, não sendo estas consideradas substitutivas das fotografias aéreas, mas devendo-se usar complementarmente. Afirmam também haver uma evolução tecnológica das câmeras de vídeo e sistemas multiespectrais, sendo perfeitamente adaptável às condições brasileiras, com aplicações consideráveis na Engenharia Florestal.

Os processos de classificação digital de imagens estão sendo utilizados, porém a avaliação dos resultados gerados pelas classificações, muitas vezes, não têm sido realizados. Existem diversos métodos para avaliar os resultados, sendo a matriz confusão um dos métodos aplicados em sensoriamento remoto. O presente trabalho

possui como objetivo realizar classificações digitais e utilizar o método da matriz confusão para avaliar os resultados provenientes de classificações digitais geradas em imagens de vídeo multiespectral.

2 Matriz de confusão ou matriz erro

Ao trabalhar-se utilizando mapas provenientes de dados de sensoriamento remoto, deve-se avaliar a precisão dos mesmos. Esta avaliação, ou comparação entre os dados obtidos, deve existir entre os dados gerados provenientes do sensoriamento remoto e dados obtidos a partir da verdade terrestre (RICHARDS, 1986).

De acordo com JENSEN (1986), os dados de ambos os mapas devem estar quase perfeitamente registrados e possuir o mesmo esquema de classificação de escala nominal, ou seja, códigos que representem as classes de uso da terra na mesma localização de *pixel*.

Conforme STORY e 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”.

Esta informação normalmente é derivada de uma contra-parte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados e expressa na forma de uma matriz de erro. Pode-se visualizar um exemplo da matriz confusão através da Figura 1, onde observam-se três classes de uso do solo X, Y e Z , confrontados seus dados de referência e seus dados de classificação.

		Dados de referência			
		X	Y	Z	total de linhas
dados de classificação	X	15	2	4	21
	Y	3	12	2	17
	Z	1	3	14	18
	total das colunas	19	17	20	56

Figura 1. Exemplo de matriz confusão.

Fonte: STORY e CONGALTON (1986).

A partir da elaboração da matriz de confusão, pode-se estabelecer o primeiro parâmetro de avaliação da precisão do classificador; chamado *exatidão ou precisão global*. O seu valor é calculado pela divisão das somas das entradas que formam a diagonal principal da matriz, ou seja, o número de classificações corretas pelo número total de amostras utilizadas.

De acordo com STORY e CONGALTON (1986), esse valor representa a precisão de todo o produto, não indicando como a precisão é distribuída através das classes individuais, pois as categorias podem, e freqüentemente acontece, exibir diferenças drásticas de precisões.

Uma maneira mais confiável, segundo LILLESAND e KIEFER (1994), seria comparar a classificação de cobertura do solo a todo o *pixel* em uma imagem com fonte de referência. Entretanto, tais comparações *pixel a pixel*, embora tenham valor em situações de pesquisa, deve reunir informações de referência de cobertura do solo para uma área de projeto inteira, o que é caro e frustra o propósito de executar uma classificação baseada no sensoriamento remoto.

Os mesmos autores relatam, ainda, que a utilização de áreas de treinamento ajuda no processo de refinamento do grupo de treinamento, mas indica pouco sobre como o classificador trabalha em outros lugares de uma cena. Afirmam que a solução seria fundamentar a análise da precisão sobre áreas testes, entendendo-se por estas como sendo áreas de representativa e uniforme cobertura de solo, diferenciadas e consideravelmente mais extensas que as áreas de treinamento.

Para RICHARDS (1986), uma maior significância estatística pode ser conseguida pela introdução de áreas de teste aleatórias, evitando o correlacionamento com o vizinho mais próximo. Chama-se a atenção para o fato de que a simples amostragem aleatória não considera o peso de cada uma das áreas, ou seja, classes grandes tendem a ser representadas por um número maior de pontos de amostragem que as classes menores, prejudicando a avaliação destas últimas. Para solucionar este problema, deve-se considerar a adoção de uma amostragem aleatória estratificada, onde o usuário deve, então, proceder, em primeiro lugar, a uma divisão da imagem em grupos de extratos, correspondentes às próprias classes reais, e proceder a amostragem aleatória dentro de cada estrato.

Quando um usuário utilizasse a amostragem aleatória estratificada por classe, qual seria a quantidade de *pixels* a serem escolhidos dentro de cada classe? Além disso, qual a porcentagem de classificação correta é uma estimativa fidedigna da real precisão do mapa temático? O autor ilustra este ponto sugerindo que se imagine a classificação de um único *pixel* em determinada classe. Neste caso, sua precisão seria de 0% ou 100%, dependendo de onde foi fundamentada sua verdade de campo ou imagem referência.

No método, a porcentagem resultante indica a probabilidade de que uma amostra de referência (verdade de campo) seja corretamente classificada. O que está sendo realmente medido neste método são os chamados *erros de omissão*, ou seja, amostras que não foram corretamente classificadas como categoria *X*, sendo *omitidas* da categoria correta. Esse valor de precisão também pode ser chamado de *precisão dos produtores*, porque a *produção* de uma imagem/mapa de classificação é tão interessante quanto melhor for a sua precisão no mapeamento de uma área específica da terra. Salienta-se que um erro de não classificação não é somente uma omissão da categoria correta, mas também uma introdução dentro de outra categoria.

De acordo com STORY e CONGALTON (1986), é freqüente a informação de apenas uma medição de precisão, a qual pode fornecer resultados incorretos dependendo da utilização a ser feita das informações fornecidas pelo mapa/imagem.

3 Material e métodos

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no morro do Cerrito, município de Santa Maria, centro geográfico do estado do Rio Grande do Sul, a 29°41'25" de latitude sul e 53°48'42" de longitude oeste, com uma altitude aproximada de 138 metros.

O solo pertence à Unidade de Mapeamento Ciríaco, não constituindo uma unidade simples, estando sempre associado aos solos Charrua, formando, assim, a Associação Ciríaco-Charrua, conforme nos relata LEMOS *et al.* (1973). Possuem profundidade em torno de 80 a 120 cm, moderadamente drenado, com coloração bruno-avermelhada escura, textura argilosa e desenvolve-se a partir de rochas basálticas.

O clima da região é do tipo Cfa de Köppen, caracterizando-se como subtropical, apresentando os verões quentes e os invernos frios. A temperatura máxima variável nos meses de verão é superior a 28°C nos meses mais frios oscila entre 3°C e 18°C. Apresenta também uma grande formação de nevoeiros (SARTORI, 1979).

A vegetação natural, segundo classificação do IBGE (1992), pertence à Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia), caracterizando-se por apresentar duas estações climáticas bem demarcadas, sendo uma chuvosa seguida de um longo período biologicamente seco. Ocorre na forma de disjunções florestais, apresentando o estrato dominante predominantemente caducifólio, com mais de 50 % dos indivíduos despidos de folhagem no período desfavorável.

3.2 Aquisição das imagens de vídeo

As imagens utilizadas no presente trabalho foram provenientes de vôo realizado utilizando câmera de vídeo SONY CAMCORDER Handycam (8 mm), que possui CCD retangular com 27 × 21 mm, equipada com filtros verde (0,55 μm), vermelho (0,65 μm) e infravermelho próximo (0,72 μm), conforme espectro determinado por WATZLAWICK (2000). Para realização do sobrevôo, a câmera foi montada longitudinalmente em um suporte metálico e este fixado no assoalho da aeronave.

Para o planejamento da realização do vôo, utilizaram-se critérios básicos: velocidade da aeronave (110 km/h), distância focal da câmera (44 mm), escala da imagem gerada (1:11.400), altura do vôo (700 m nível médio do mar) acima do plano de referência. O recobrimento na linha de vôo (longitudinal) não é necessário devido, ao fato de a câmera de vídeo estar continuamente coletando informações (a cada segundo, 30 quadros), gerando múltiplas imagens de um mesmo alvo. O recobrimento lateral foi de 40 % e, a partir deste recobrimento, calculou-se o número de faixas necessárias para o total recobrimento da área.

3.3 Conversão dos dados/montagem de mosaico

Os dados das imagens geradas foram armazenados na forma analógica. Para a criação dos arquivos contendo as imagens em formato digital (raster), fez-se necessária a utilização de uma placa de vídeo e *software* específico; levando-se em

conta que as imagens são armazenadas continuamente, necessita-se também selecionar as mesmas. Utilizou-se o *software* ADOBE PREMIERE LE 1.1 e a placa de vídeo (Vídeo Blaster RT 300).

Com as imagens selecionadas, procedeu-se à montagem de mosaico semi-controlado para cada imagem correspondente a cada filtro. Nesta operação, foi utilizado o *software* ADOBE PHOTOSHOP. O processo é feito manualmente, selecionando duas imagens e recortando o centro das mesmas com a finalidade de diminuir as distorções geométricas. Após, realizou-se a identificação de *pixels* de controle comuns que sobreponham as duas imagens subseqüentes ao longo da linha de vôo e entre as linhas de vôo.

3.4 Correção geométrica e registro

Para correção geométrica e o registro, utilizaram-se pontos de controle obtidos diretamente no campo utilizando-se GPS com precisão topográfica (*Spectrum Packer* da SOKIA). Os pontos foram definidos e distribuídos homogeneamente por toda a área da imagem gerada utilizando o filtro infravermelho, devido à mesma apresentar melhor definição, facilitando a identificação dos pontos de controle.

A correção geométrica e o registro foram realizados no *software* IDRISI *for Windows*, versão 2.01, utilizando-se o método do vizinho mais próximo. Utilizaram-se na etapa de correção geométrica do mosaico produzido a partir da imagem gerada pelo filtro infravermelho 8 pontos de controle para a correção. O registro das três imagens (verde, vermelho e infravermelho) foi realizado utilizando-se para tanto 24 pontos de controle retirados da imagem infravermelha anteriormente corrigida geometricamente, utilizando para tanto as coordenadas UTM (m) da imagem corrigida e coordenadas de tela das imagens a serem registradas. O RMS obtido após o processo de registro da imagem verde foi de 1,138018 m, do vermelho 1,097896 m e, para o infravermelho, próximo de 1,005413 m. Este valor é considerado baixo, devido ao fato de ser bem próximo a um *pixel* na imagem (1 m).

3.5 Classificação digital

Utilizando-se a imagem gerada pelo filtro infravermelho, foram definidas e selecionadas cuidadosamente áreas de treinamento em função das diversas classes de uso da terra: floresta nativa, grama, arbusto-grama, capoeira, solo exposto, afloramento, área de lavoura, calçamento, edificações e área não classificada com sombras.

As classificações digitais foram realizadas utilizando-se os métodos da *máxima verossimilhança gaussiana*, *mínima distância* e *do paralelepípedo*; utilizou-se, para tanto, o conjunto de treinamento das classes de uso da terra previamente estabelecido.

3.6 Avaliação dos resultados da classificação

Para avaliar e comparar as classificações, foi utilizado o processo de *matriz de confusão* ou *matriz erro*. Deve-se considerar, portanto, a comparação entre os dados

obtidos através das classificações, que resultam num mapa temático e verdade de campo ou imagem referência.

Com a *matriz de confusão*, pode-se estabelecer o parâmetro de avaliação de *precisão global* (PG), sendo este calculado pela divisão das somas que formam a diagonal principal (CC = número total de *pixel* corretamente classificados), pelo (AU = número total de amostras utilizadas), multiplicado por 100, para ser expresso em percentagem.

$$PG = (n^{\circ} CC \div AU) \times 100$$

A *matriz de confusão* foi gerada no *software IDRISI for Windows*, versão 2.01, onde o registro dos dados de referência é representado pelas colunas da matriz, estes sendo comparados com os dados de cada uma das classificações, sob a forma de uma matriz $m \times m$, onde m é o número de classes. A *exatidão* ou *precisão global* é o primeiro parâmetro para avaliar a precisão do classificador, o qual é determinado pela divisão das somas das classificações corretas pelo número total de amostras utilizadas. Também foram avaliados neste método os *erros de omissão*, amostras que não foram corretamente classificadas, sendo omitidas da categoria correta.

Em função da não existência de mapa de campo “verdade de campo”, e este sendo necessário para realizar a avaliação da *precisão global*, foi utilizado como mapa de verdade de campo o resultado originado pela classificação digital pelo método MAXVER.

4 Resultados

Com a determinação das áreas de treinamento, tornou-se possível classificar a área de estudo, a qual possui 22,2250 ha. Foram determinadas 9 classes de uso da terra (floresta nativa, grama, arbusto-grama, capoeira, solo exposto, afloramento, lavoura, calçamento e edificações), sendo criada também uma classe com área representativa das sombras. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 1, a qual corresponde ao cálculo das áreas das diversas classes de uso da terra classificadas utilizando-se os métodos de *máxima verossimilhança gaussiana*, *mínima distância* e *paralelepípedo*.

Como pode-se observar na Tabela 1, os resultados encontrados foram bastante diferentes, para cada um dos métodos de classificação utilizados. A partir destas classificações geradas, utilizou-se a *matriz confusão* para verificar os resultados gerados pelas classificações. Ressalta-se que, em função da não existência de mapas com a verdade terrestre, utilizaram-se para tanto os resultados gerados pela classificação utilizando o método MAXVER (imagem referência).

Utilizando os conhecimentos de campo na área trabalhada e a similaridade das respostas espectrais, que apresentaram sombreamento em alguns temas de uso da terra compostos pela grama, grama/arbusto e capoeiras, pelo solo exposto e o afloramento, os temas calçamento e edificações foram agrupados e transformados em uma classe para cada grupo, utilizando-se as bandas do verde, vermelho e infravermelho. Estas classes foram agrupadas para fins de análise conforme a Tabela 2.

	Máxima verossimilhança gaussiana		mínima distância		paralelepípedo	
	ha	%	ha	%	ha	%
floresta nativa	5,1547	23,19	8,2245	37,00	12,0355	54,15
grama	0,4214	1,89	1,1975	5,38	0,0046	0,03
arbusto/grama	3,0603	13,77	4,8326	21,74	1,7837	8,02
capoeira	1,9687	8,86	0,7496	3,37	-	-
solo exposto	1,0367	4,66	0,2358	1,06	1,5541	6,99
afioramento	2,0262	9,12	1,0783	4,85	0,0037	0,02
lavoura	2,2142	9,96	0,2022	0,90	-	-
calçamento	1,5121	6,80	1,5719	7,07	0,2375	1,07
edificações	0,5158	2,32	0,6957	3,13	0,0648	0,29
sombras	4,3149	19,43	3,4371	15,50	6,5411	29,43
TOTAL	22,2250	100,00	22,2250	100,00	22,2250	100,00

Tabela 1. Cálculo das áreas das classificações.

Ao analisarem-se os temas de uso da terra individualizados, ou seja, pelo agrupamento que foi feito, observa-se que, dos temas de uso da terra classificados, com exceção das sombras, a floresta nativa apresentou os menores erros de omissão (8,85%), estando estes erros distribuídos nas classes de uso da terra composto pela grama/arbusto-grama/capoeira (4,33%), devido a uma similaridade espectral com a floresta nativa, e de indivíduos de estrutura arbóreas e subarbóreas estarem em transição com a floresta nativa. A confusão com o tema calçamento/edificações (4,17%) relaciona-se a uma confusão de *pixels* no treinamento. Ressalta-se que a floresta nativa possui uma percentagem de acertos de 91,15%.

A classe contendo a grama/arbusto-grama/capoeira apresentou um erro de omissão de 27,61%, estando este erro distribuído na floresta nativa 19,23%, devido à similaridade espectral entre as duas classes, e nas classes solo exposto/afioramento (5,35%) e calçamento/edificações (2,96%), devido ao componente solo e a confusão de *pixel* estarem presentes.

O solo exposto/afioramento apresentou uma percentagem de apenas 21,98% de acertos, omitindo 78,02% dos *pixels*, valor este considerado alto. Esta omissão de *pixels* não classificados como solo exposto/afioramento e classificados como floresta nativa (51,23%) e grama/arbusto-grama/capoeira (14,87%) está relacionada ao componente solo existir nos espaços existentes entre as copas das árvores, em clareiras e ao fato de o solo não estar completamente desnudo. A confusão com *pixels* da classe calçamento/edificações (11,83%) se deve ao fato de os mesmos possuírem um comportamento espectral bastante similar ao afioramento.

A classe calçamento/edificações possui uma omissão de 25,74%, apresentado 22,98% destes *pixels* na classe floresta nativa, em função de existir uma mistura

da resposta espectral, sendo que o método de mínima distância atribui à classe cuja média é mais próxima a ele.

A classe aqui denominada de lavoura apresentou o maior erro de omissão (90,87%), apresentando confusão com classe de grama/arbusto-grama/capoeira (78,15%), em função da lavoura estar com cultura que possui similaridade espectral parecida com a classe em confusão. Possui também confusão com o solo exposto/afioramento (12,71%) devido ao tipo de cultivo realizado e cultura plantada, os quais deixam o solo exposto entre as fileiras, permitindo, assim, que o mesmo contribua na resposta espectral da área com lavoura.

As sombras apresentaram o menor índice de erro de omissão 1,99%, confundindo-se com a classe da grama/arbusto-grama/capoeira (1,57%) e floresta nativa (0,41%), devido às sombras causadas pelos temas, gerando uma certa transição entre os mesmos, ou por erros no momento de escolha e tomada das áreas de treinamento.

Utilizou-se também para a classificação gerada pelo *método do paralelepípedo*, o agrupamento das mesmas classes para fins de análise, conforme Tabela 3. Ressalta-se que neste método de classificação dois temas de uso da terra não foram classificados, sendo eles a capoeira e a lavoura; os mesmos foram mantidos na tabela para fins de análise.

Pode-se observar que ao se utilizar o *método do paralelepípedo*, os valores para todos os temas foram elevados.

A floresta nativa foi o tema que apresentou menores erros de omissão (38,56%), ou seja, teve uma percentagem de acertos de 61,44%; o mesmo também apresentou o maior índice de *pixels* não classificados 40,04%.

O erro de omissão para a classe composta pela grama/arbusto-grama/capoeira foi de 69,22%, sendo que esta classe apresentou grande confusão com a floresta nativa (56,21%), ocorrendo esta confusão devido à similaridade espectral entre as duas classes. A confusão ocorrida com o solo exposto/afioramento (2,22%) é considerada baixa e ocorreu em função do fator solo e percentagem de *pixels* excluídos 3417 (6,18%), esta associada à não classificação da capoeira.

Observa-se que as classes de solo exposto/afioramento e calçamento/edificações apresentam erros de omissão de 66,73% e 91,05%, respectivamente. A classe com lavoura não foi classificada pelo algoritmo pelo *método do paralelepípedo*. Para as três classes tratadas, ambas possuem valores altos de confusão associados à classe de floresta nativa; a classe solo exposto/afioramento possui um valor de 63,59%; o calçamento/edificações 83,62% e a lavoura (não classificada) 84,81%.

A sombra apresentou um erro de omissão de 84,50%, valor este elevado devido ao grande número de *pixels* (87,47%) do total de *pixels* que não foram classificados e atribuídos pelo classificador a cada classe.

Os resultados obtidos na classificação do uso da terra utilizando o algoritmo de classificação pelo *método de mínima distância* a partir de imagens de vídeo multi-espectrais resultou em um índice de *precisão global* de 81,15%. Já a classificação utilizando o *método do paralelepípedo* teve como índice de *precisão global* de 24,30%. Estes resultados não estão dentro da precisão esperada e apresentada pela literatura existente, a qual é de 85% (JENSEN, 1986).

O baixo índice de *precisão global* bem como os problemas de confusão ocorridos na classificação utilizando-se o *método do paralelepípedo* são explicados em função da existência de correlação entre as bandas, causando uma distribuição alongada ao longo do eixo de 45° do espaço de atributos e os limites de decisão definidos por um retângulo ou quadrado vão sempre abranger alguns *pixels* não pertencentes à classe. Outro problema ocorre na utilização do *método do paralelepípedo*: a imagem trabalhada possui milhares de *pixels* e a maioria deles vai provavelmente cair fora dos limites de decisão das classes, por mais classes que se defina.

Trabalho semelhante utilizando a *matriz confusão* foi realizado por TODT (1998), porém o referido autor utilizou como verdade terrestre *imagettes* (pequenas áreas ou imagens, sob as quais foi realizada a interpretação visual com base em observações de campo). As classificações digitais foram realizadas pelos métodos da *rede neural multinível* com *backpropagation* e *máxima verossimilhança gaussiana*. Obtiveram-se como resultados de acurácia valores superiores a 80%, para a *rede neural multinível* com *backpropagation*, e valores inferiores a 80%, para o método de *máxima verossimilhança gaussiana*. Ressalta-se que neste trabalho foram consideradas seis classes de uso da terra (floresta natural, reflorestamentos de *eucalyptus* e *acácia*, pastagem, solo exposto e água).

Os resultados de acurácia obtidos ao considerar as classes de uso da terra separadas foram mais elevados quando da utilização da *rede neural multinível* com *backpropagation*, devido à mesma possuir a capacidade de generalizar o seu conhecimento de maneira a identificar corretamente determinados *pixels*, mesmo que estes apresentem variações espectrais em função de fatores externos.

5 Conclusões

A utilização da *matriz confusão* como método para avaliar a acurácia de resultados de classificações digitais prestou-se ao trabalho proposto. Em função dos resultados obtidos e apresentados, ressalta-se a importância da utilização de testes utilizando-se outros métodos de classificação de imagem, bem como da utilização de mapas de verdade terrestre (campo), possibilitando-se, assim, melhores avaliações de diferentes classificadores.

Com relação ao comportamento espectral dos temas de uso da terra, os quais possuem uma certa sobreposição nas três bandas trabalhadas (verde, vermelho e infravermelho), sobreposição esta que dificultou a separação na classificação, recomenda-se testar filtros que possuam resolução espectral bem diferenciada.

O trabalho indica a possibilidade da utilização de videografia multiespectral para a produção de mapas temáticos de uso e cobertura da terra a partir da classificação digital.

Referências

- DISPERATI, A. A.; DRAGO, D. *Videografia aplicada à engenharia florestal*. In: Anais do 2º GIS BRASIL, Curitiba: 1996, p. 252-258.
- IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Diretoria de Geociências. Manual técnico da vegetação brasileira, No 1. Rio de Janeiro: DEDIT/CDDI, 1992.
- JACOBS, D. M.; EGGEN-MCINTOSH, S. *Forest resource damage assessment of hurricane andrew in southern Louisiana using airborne videography*. In: Proceedings of the 14th Biennial Workshop on Color Aerial Photography and Videography for Resource Monitoring. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Logan, Utah: May 1993, p. 115-124.
- JENSEN, J. R. *Introductory Digital Image Processing*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey: 1986.
- LEMOS, R. C., AZOLIN, M. A. D., ADRAÃO, P. V. R., SANTOS, N. C. L. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife: Ministério da Agricultura - Departamento de Pesquisas Agropecuárias - Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. (Boletim Técnico, n. 30).
- RICHARDS, J. A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 1986.
- SARTORI, M. G. B. *O clima de Santa Maria, do rural ao urbano*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 1979.
- SHOEMAKER, J. A.; HARDY, T. B.; NEALE, C. M. U. *Jurisdictional delineation of wetlands with multispectral aerial videography*. In: Proceedings of the 14th Biennial Workshop on Color Aerial Photography and Videography for Resource Monitoring. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Logan, Utah: May 1993, p. 48-57.
- STORY, M., CONGALTON, R. G. *Accuracy Assessment: A User's Perspective*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. s/1, v. 52, n. 3, 1986, p. 397-399.
- TODT, V. *Avaliação do desempenho de classificadores neurais para aplicações em sensoriamento remoto*. (Dissertação de Mestrado) CEPSSRM - UFRGS. 1998.
- WATZLAWICK, L. F., 2000. *Avaliação de classificadores a partir de dados coletados através de videografia multiespectral*. (Dissertação de Mestrado) CEPSSRM - UFRGS. 2002.