

## COMPARAÇÃO DE CLASSIFICADORES DE IMAGENS DIGITAIS NA DETERMINAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO<sup>1</sup>

ELEANDRO S. CRUZ<sup>2</sup>, DANIEL F. CARVALHO<sup>3</sup>, CARLOS A. A. VARELLA<sup>4</sup>,  
LEONARDO D. B. SILVA<sup>4</sup>, WANDERLEY J. SOUZA<sup>5</sup>, FRANCISCO A. C. PINTO<sup>6</sup>

**RESUMO:** Com o objetivo de comparar dois classificadores de imagens para a estimativa da cobertura vegetal do solo, foram avaliadas as coberturas proporcionadas pela semeadura de leguminosas e de gramíneas, sob diferentes espaçamentos, preparo do solo e condições de céu com e sem nuvens. O experimento foi conduzido em quatro parcelas experimentais de perda de solo, com 22 m x 3,5 m, instaladas em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os tratamentos consistiram: a) mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*) em nível; b) crotalária (*Crotalaria juncea*) em sulcos dispostos em nível; c) milho (*Zea mays* L.) em sulcos dispostos em nível, e d) milho semeado no sentido do declive. Foram tomadas fotografias das parcelas dos 15 aos 85 dias após a semeadura para posterior análise, utilizando o Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (SIARCS) e um algoritmo baseado na emissividade das bandas do verde e do vermelho (SEROBIN). A maior cobertura do solo foi obtida na parcela cultivada com crotalária (85,8%), a qual também foi alcançada em menor tempo (56 dias após semeadura). Por outro lado, as menores coberturas foram proporcionadas pelos tratamentos milho em nível e milho morro abaixo (38,6 e 35,2%, respectivamente). As exatidões globais foram de 0,96 e 0,92, para as classificações realizadas com os programas SIARCS e SEROBIN, respectivamente, não havendo, no entanto, diferença estatística entre os dois classificadores utilizados, de acordo com o teste Z aplicado, a 5% de probabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** erosão do solo, plantas de cobertura, manejo do solo, processamento de imagens.

## COMPARISON OF DIGITAL IMAGE CLASSIFIERS FOR SOIL COVER DETERMINATION

**ABSTRACT:** In order to compare two image classifiers for soil cover estimation under both clear sky conditions and sky with clouds, it was evaluated the soil cover by grass and bean crops cultivated in different densities and tillage systems. The experiment was conducted in four soil loss experimental plots of 22.0 m by 3.5 m, in a Red-yellow argil soil. The four treatments consisted of sowing the velvet bean (*Mucuna pruriens*), sun hemp (*Crotalaria juncea*) and corn (*Zea mays* L.), all three following the contour lines, and corn following the slope line. The plot images were acquired from 15 to 85 days after sowing. The soil cover was estimated by off-shelf software (SIARCS) and a proposed algorithm based on green and red band reflectance (SEROBIN). The highest soil cover was obtained in the sun hemp plot (85.8%), which was also obtained sooner (56 days after sowing). On the other hand, the lowest soil covers were obtained in both corn plots, following the contour lines and the slope line (38.6 and 35.2%, respectively). The overall classification accuracies were 0.96 for SIARCS and 0.92 for SEROBIN. There was no statistical difference between the classifiers using the Z test at the 5% significance level.

**KEYWORDS:** soil erosion, soil cover, soil management, digital image processing.

<sup>1</sup> Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup> Mestre em Ciência do Solo, INCRA, Rua 8, Quadra 15, Cuiabá - MT, Fone: (0XX65) 3644.1104, eleandro.cruz@cba.incra.gov.br.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia, UFRRJ, BR 465, km 7, Seropédica - RJ, carvalho@ufrj.br. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia, UFRRJ, Seropédica - RJ.

<sup>5</sup> Estudante de Engenharia Agrícola, UFRRJ. Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/UFRRJ/CNPq.

<sup>6</sup> Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, facpinto@ufv.br. Bolsista do CNPq.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 11-9-2006

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 26-5-2008

## INTRODUÇÃO

Devido à importância do solo no sistema produtivo, sua conservação é de fundamental importância na garantia da sustentabilidade na agricultura. Diversas práticas de manejo favorecem essa condição, destacando-se, por exemplo, a manutenção de cobertura sobre a superfície do terreno, o que proporciona menor variação de temperatura e maior retenção da água no perfil do solo. No caso de cobertura vegetal, há, ainda, a ciclagem de nutrientes e a utilização dessa como adubo verde, além de contribuir para a redução do impacto das gotas de chuva sobre o solo, minimizando, dessa forma, os efeitos do processo erosivo (PERIN et al., 2004).

Existem diferentes técnicas de avaliação da cobertura do solo baseadas em inspeções visuais que apresentam a vantagem de serem práticas e de baixo custo. Porém, segundo TOFETI et al. (2002), geralmente essas técnicas se mostram menos confiáveis em relação à utilização de imagens. Somando a isso, diversas rotinas computacionais têm sido propostas para a estimativa da taxa de cobertura do solo, e muitas delas utilizam imagens digitais, face à popularização das câmeras fotográficas digitais.

As diferenças entre os métodos de estimativa da taxa de cobertura do solo, em alguns casos, residem exatamente na forma de separação entre o solo e a planta. Como a taxa de cobertura do solo também pode ser definida como a relação entre a área de solo coberta por plantas e a sua área total, algumas técnicas de avaliação apresentam erros de interpretação, principalmente aquelas baseadas em interpretações de campo. O acompanhamento do crescimento de plantas, até a cobertura total do solo, pode ser feito por meio de fotografias digitais processadas com auxílio do programa computacional SIARCS 3.0, conforme descrito por JORGE & CRESTANA (1996). No entanto, uma limitação desse método pode estar na impossibilidade de avaliar a taxa de cobertura do solo em situações nas quais a superfície apresente baixa refletância, como, por exemplo, na cobertura proporcionada pela palha em decomposição em um solo com alto teor de matéria orgânica (DALMOLIN, 2002).

DALMOLIN et al. (2005) comentam que a baixa refletância proporcionada nessas condições está associada à presença de ácidos húmicos e fúlvicos que, por sua vez, interfere na cor do solo, proporcionando efeito de máscara e diminuindo as feições de absorção de outros constituintes do solo.

Devido às diferentes metodologias existentes para a determinação da cobertura do solo (STOCKING, 1994; JORGE & CRESTANA, 1996; VARELLA et al., 2002), o método a ser utilizado para tal deve ser definido de acordo com o propósito do estudo, bem como pelo grau de exatidão requerido.

Vários são os tipos de imagens utilizadas para estudar o ambiente terrestre, dependendo da finalidade para qual cada tipo melhor se adapte. Para que as imagens sejam interpretadas com confiabilidade, lança-se mão de algoritmos classificadores, que consistem em equações estatísticas implementadas em programas específicos, cuja finalidade é reduzir os erros de interpretação, que são influenciados por fatores relacionados à falta de qualidade das imagens, principalmente quando há distribuição dos valores numéricos dos *pixels* de classes distintas.

Uma das formas de avaliar a exatidão de um classificador é a montagem da matriz de erros ou de confusão, na qual, partindo-se da amostra de validação, os resultados da classificação são organizados em matriz quadrada de dimensão igual ao número de classes (CONGALTON, 1991). COHEN (1960) desenvolveu um coeficiente de concordância denominado “Kappa” que, segundo CONGALTON & MEAD (1983), constitui uma técnica de análise estatística multivariada discreta, que pode ser utilizada pelo fato de os dados em uma matriz de erros serem discretos e apresentarem distribuição multinomial. De acordo com os autores, esse coeficiente vem sendo utilizado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e os resultados obtidos a partir de classificadores. A grande vantagem desse coeficiente é que inclui todos os elementos da matriz de erro e não somente

os valores da diagonal principal, como é o caso da exatidão geral (ROSENFELD & FITZPATRICK-LINS, 1986).

VARELLA et al. (2002) desenvolveram programa computacional utilizando redes neurais para estimar a cobertura do solo a partir de imagens digitais. Nesse programa, a separação entre planta e solo é realizada utilizando a razão entre os valores numéricos das bandas do verde e do vermelho, assumindo que plantas refletem mais verde do que vermelho. Baseado nos coeficientes Kappa, os autores concluíram que o classificador desenvolvido apresentou desempenho satisfatório para separar solo de plantas.

Com base no exposto, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de comparar as taxas de cobertura do solo obtidas a partir de imagens digitais, utilizando um algoritmo implementado no programa computacional MATLAB (MATHWORKS, 2000), denominado SEROBIN, e o programa computacional SIARCS (JORGE & CRESTANA, 1996), para diferentes tipos de vegetação, preparo do solo e condições de céu com e sem nuvens.

## MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação dos classificadores citados foi realizada a partir de dados obtidos em experimento com parcelas experimentais de perda de solo, conduzido no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, localizado no Município de Seropédica - RJ, sobre um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999). Foram utilizadas quatro parcelas experimentais de perda de solo com dimensões de 22,0 m x 3,5 m, que ocupavam o terço médio de uma encosta, com declividade de 0,09 m m<sup>-1</sup>.

Em cada parcela, foram adquiridas imagens digitais de áreas delimitadas, sendo cada parcela ocupada com as seguintes espécies e espaçamentos: mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*) semeada em sulcos dispostos em nível, com espaçamento de 0,5 m entre si, com espaçamento entre plantas de 0,2 m (mucuna); crotalária (*Crotalaria juncea*) semeada em sulcos dispostos em nível, com espaçamento de 0,5 m e densidade de semeadura de 20 plantas por metro (crotalária); milho (*Zea mays* L.) semeado em nível, com espaçamento de 0,2 m entre plantas e 1,0 m entre sulcos de plantio (milho em nível), e, assim como no tratamento anterior, porém com os sulcos de semeadura dispostos no sentido do declive ou de morro abaixo (milho morro abaixo).

A fim de avaliar as taxa de cobertura do solo, em cada parcela, foram adquiridas imagens digitais aos 15; 25; 29; 33; 41; 44; 51; 56; 62; 68; 72; 76; 79 e 85 dias após a semeadura (DAS), utilizando câmera digital da marca FUJI, modelo FINEPIX A-330. Durante o período analisado, a coleta das imagens era sempre realizada entre 7 h e 9 h, de uma altura de 2,9 m da superfície do solo, focando-se uma área útil de 2,0 m<sup>2</sup>, delimitada por um quadro de madeira acomodado na superfície do solo.

Dentro das parcelas, foram definidas áreas de referência nos terços superior, médio e inferior de cada uma, garantindo assim, que, durante o ciclo de crescimento das plantas, as imagens fossem adquiridas sempre no mesmo local. Portanto, a cada dia de coleta, eram obtidas três fotografias por parcela. Além do tipo de cobertura, DAS e posição dentro das parcelas, as imagens também foram agrupadas quanto à presença ou não de sombreamento. Esse procedimento foi realizado de forma empírica (visual), tendo em vista as condições climáticas do dia de cada coleta.

Para estimar a taxa de cobertura do solo, foram utilizados os programas computacionais SIARCS (JORGE & CRESTANA, 1996) e SEROBIN. O programa SEROBIN foi desenvolvido conforme metodologia proposta por VARELLA et al. (2002) e baseia-se na função discriminante linear de Fisher, que apresenta a propriedade de minimizar probabilidades de má classificação, quando as populações são normalmente distribuídas (JOHNSON & WICHERN, 1999).

Para fins de avaliação das classificações realizadas, foram amostrados dez pontos representativos do atributo planta e dez pontos do atributo solo, em todas as fotografias obtidas em campo. Da mesma forma, observando a localização dos pontos amostrados nas imagens obtidas em

campo, foram extraídas das imagens classificadas informações referentes ao resultado das classificações, computando-se como erro de classificação quando o resultado divergia da constatação feita previamente, conforme a descrição anterior.

De posse das amostras para avaliação e dos resultados da classificação, foi montada a matriz de erros ou de confusão (CONGALTON, 1991). Nessa matriz, os resultados da classificação são colocados nas colunas, estando na diagonal principal os números de observações que tiveram classificação de acordo com sua referência. No restante da coluna, está o número de observações omitidas e classificadas como outras classes, o qual é denominado erro de omissão ou exclusão. Ao dividir esse erro pelo total de observações daquela classe, ou seja, pelo total da coluna, tem-se o erro de omissão por classe. A soma desses erros dividida pelo total de amostras constitui-se o erro global, que foi calculado conforme metodologia apresentada por KHOURY JÚNIOR (2004).

Além do erro global, a avaliação da classificação das imagens foi também realizada utilizando o coeficiente Kappa ( $\hat{K}$ ), conforme eq.(1), proposta por HUDSON & RAMM (1987).

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i\oplus} x_{\oplus i}} \quad (1)$$

em que,

$x_{ii}$  - valor na linha i e coluna i da matriz de erros;

$x_{i\oplus}$  - total da linha i;

$x_{\oplus i}$  - total da coluna i;

n - número total da amostra, e

c - número total de classes.

De acordo com COHEN (1960), valor de Kappa igual a zero significa que os acertos do classificador foram por acaso; valor de Kappa positivo significa que os acertos não foram por acaso; valor de Kappa negativo significa que os acertos do classificador são piores do que a classificação por acaso, e valor de Kappa igual à unidade significa classificação perfeita.

Para testar a significância entre dois coeficientes Kappa independentes, a um determinado nível de significância, foi utilizada a eq.(2), sugerida por CONGALTON & MEAD (1983):

$$Z = \frac{\hat{K}_1 - \hat{K}_2}{\sqrt{\hat{\sigma}_{k1} + \hat{\sigma}_{k2}}} \quad (2)$$

em que,

Z - valor Z calculado;

$\hat{K}_1$  - estimativa do coeficiente Kappa para o classificador SEROBIN;

$\hat{K}_2$  - estimativa do coeficiente Kappa para o classificador SIARCS;

$\hat{\sigma}_{k1}$  - estimativa da variância do coeficiente Kappa para o classificador SEROBIN, e

$\hat{\sigma}_{k2}$  - estimativa da variância do coeficiente Kappa para o classificador SIARCS.

A variância de Kappa foi estimada segundo BISHOP et al. (1975), citados por HUDSON & RAMM (1987), utilizando-se da eq.(3):

$$\hat{\sigma}_k = \frac{1}{n} \left[ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \quad (3)$$

em que,

$$\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c x_{ii} ;$$

$$\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^c x_{i \oplus} x_{\oplus i} ;$$

$$\theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^c x_{ii} (x_{i \oplus} + x_{\oplus i}) , e$$

$$\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c x_{ij} (x_{j \oplus} + x_{\oplus j})^2 .$$

Após realizadas as análises, o valor Z calculado para o teste foi comparado com o valor Z tabelado, a 5% de probabilidade (Z tabelado = 1,96), possibilitando concluir se os dois classificadores apresentavam diferenças significativas ou não. Também para fins de comparação, foram realizadas análises para grupos de imagens com e sem sombreamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, apresenta-se a variação da percentagem de cobertura do solo ao longo do tempo, estimada pelos classificadores SIARCS e SEROBIN. É possível verificar que a percentagem de cobertura final proporcionada pelos tratamentos mucuna e crotalária foi superior a 80%, o que praticamente corresponde ao dobro das coberturas finais proporcionadas pelos tratamentos milho em nível e milho morro abaixo. As maiores taxas de cobertura do solo foram observadas no tratamento crotalária (85,8%), contrastando com o tratamento milho morro abaixo (35,2%), evidenciando a vantagem do uso dessa planta para minimizar o processo erosivo dos solos. De modo geral, percebe-se que os dois classificadores capturaram a variação da cobertura independentemente do tratamento utilizado.

Na Tabela 1, está apresentada a análise resultante da classificação de todas as imagens coletadas durante a execução do experimento. Utilizando o programa SIARCS, dos 1.444 pontos amostrados do atributo solo, 1.406 foram classificados corretamente como solo, e do mesmo número de observações do atributo planta, 1.371 foram classificadas corretamente como planta. É possível notar, na Tabela 1, que, durante o processo de classificação das imagens utilizando o SIARCS, foram cometidos erros de omissão de 2,6 e 5,1%, respectivamente, para solo e planta. Esses erros estão relacionados com a exatidão do classificador, estando, portanto, associados à confiabilidade do resultado da classificação.

Com relação ao SEROBIN, dos 1.440 pontos amostrados do atributo solo, 1.408 foram classificados corretamente como solo, e do mesmo número de observações do atributo planta, 1.236 foram classificados corretamente como planta, correspondendo a erros de omissão de 2,2 e 14,2%, respectivamente.

A exatidão global, caracterizada como o complemento do erro global, foi de 96,2% para o programa SIARCS e de 91,8% para o SEROBIN, indicando a boa qualidade desses classificadores e a possibilidade de os mesmos serem utilizados na determinação da cobertura do solo. Esses resultados são superiores aos obtidos por BOLFE et al. (2004), que avaliaram a acurácia da classificação digital de povoamentos florestais nativos, de *Pinus sp.* e de *Eucalyptus sp.*, feita a partir de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, e obtiveram exatidão global de 85,23%.

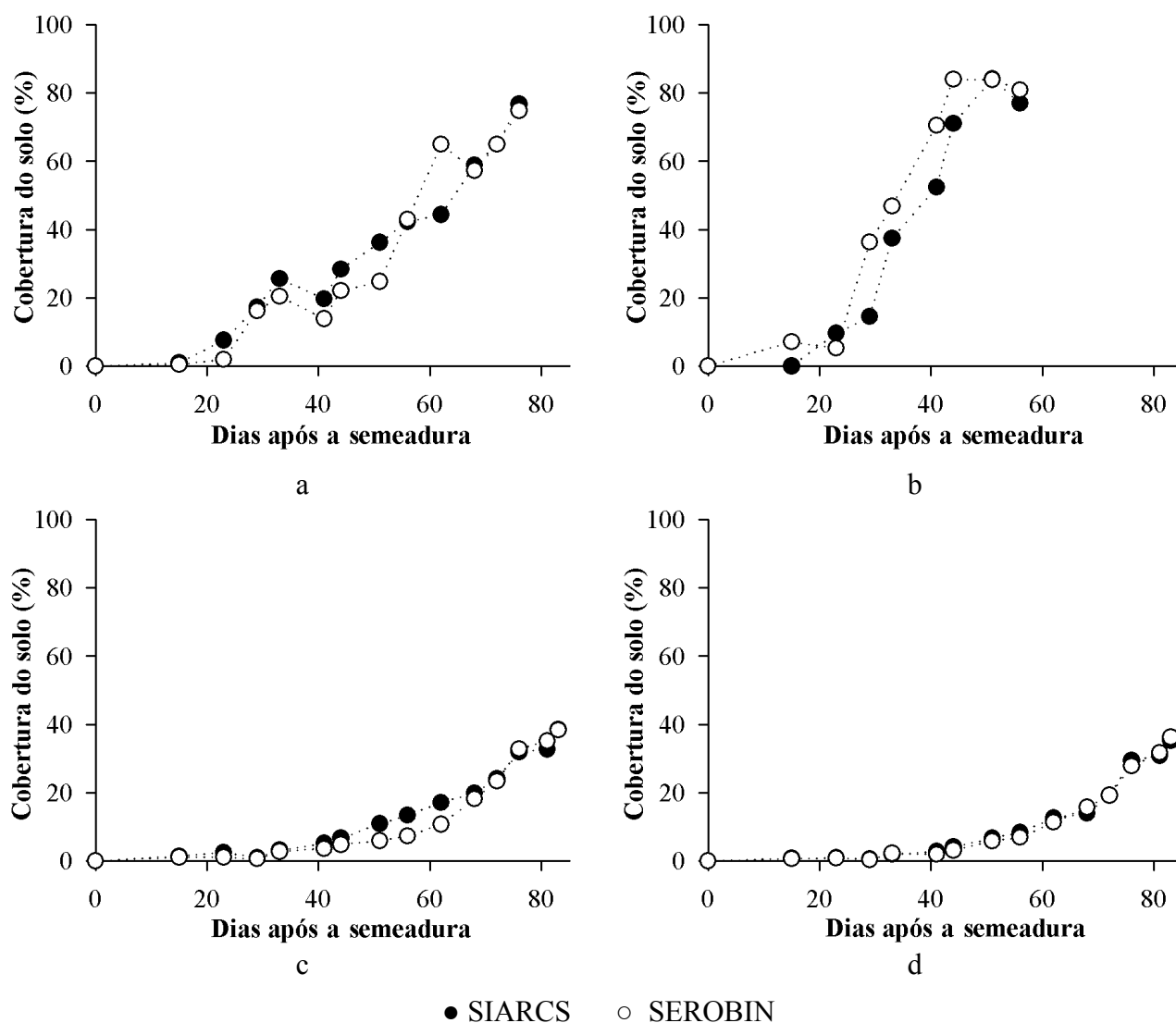


FIGURA 1. Cobertura do solo para os tratamentos mucuna (a), crotalária (b), milho em nível (c) e milho morro abaixo (d), obtida utilizando-se dos programas computacionais SIARCS e SEROBIN. **Soil coverage for the (a) mucuna, (b) sunnhemp, (c) corn in level and (d) corn down hill treatments, which is obtained by using the SIARCS and SEROBIN computer programs.**

TABELA 1. Valores resultantes da classificação das imagens, utilizando os programas computacionais SIARCS e SEROBIN. **Values resulting from the image classification by the SIARCS and SEROBIN computer programs.**

Atributo	SIARCS		SEROBIN	
	Solo	Planta	Solo	Planta
Solo	1.406	73	1.408	204
Planta	38	1.371	32	1.236
Total amostrado	1.444	1.444	1.440	1.440
Erro de omissão (%)	2,6	5,1	2,2	14,2
Erro global (%)	3,8		8,2	
Exatidão global (%)	96,2		91,8	

Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes Kappa e os resultados do teste Z, obtidos na classificação das imagens realizados pelos programas SIARCS e SEROBIN, para imagens sem e

com sombreamento. Observa-se que ambos os programas apresentaram maiores coeficientes Kappa para imagens sem sombreamento.

TABELA 2. Valores do coeficiente Kappa obtidos na classificação de imagens sem e com sombreamento utilizando os programas computacionais SIARCS e SEROBIN. **Kappa coefficient values obtained in the image classification with and without shading used in the SIARCS and SEROBIN computer programs.**

Tratamentos	Sem Sombreamento		$Z_{calc}$	Com Sombreamento		$Z_{calc}$
	SIARCS	SEROBIN		SIARCS	SEROBIN	
Mucuna	0,948	0,810		0,867	0,640	
Milho em Nível	0,971	0,929	0,59 <sup>ns</sup>	0,894	0,739	1,52 <sup>ns</sup>
Milho Morro Abaixo	0,925	0,933		0,913	0,861	
Crotalária	0,983	0,975		0,858	0,708	

ns = não-significativo a 5% de probabilidade.

O teste Z apresentou resultado não-significativo, tanto para imagens sem sombreamento como para imagens com sombreamento, indicando que os programas apresentaram o mesmo desempenho na determinação da cobertura do solo. Apesar do resultado estatisticamente semelhante, a utilização do programa SIARCS é mais trabalhosa e menos prática, uma vez que as imagens devem inicialmente ser convertidas para um padrão de resolução preestabelecido. Por outro lado, o programa SEROBIN não necessita de edições prévias nas imagens, tornando-o menos sujeito à subjetividade humana, uma vez que a interferência do operador ocorre apenas durante o processo de amostragem dos atributos que serão utilizados na classificação. O restante do processo ocorre sem interferência humana, o que aumenta a velocidade de processamento e possibilita sua aplicação em sistemas automatizados, visando à estimativa de cobertura do solo em tempo real. Ainda analisando os dados apresentados na Tabela 2, fica evidente a robustez de ambos os classificadores para separar os atributos planta e solo em imagens digitais, em diferentes tipos de coberturas e condições de sombreamento.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que não houve diferença entre os resultados obtidos pelos programas SIARCS e SEROBIN, com relação à evolução da percentagem de cobertura do solo, e que o programa SEROBIN demonstrou ser adequado para separar solo de planta a partir de características obtidas em imagens digitais, independentemente do tipo de planta utilizada como cobertura do solo.

## REFERÊNCIAS

- BISHOP, Y.M.; FEINBERG, S.E.; HOLLAND, P.W. *Discrete multivariate analysis: theory and practice*. Cambridge: Mit Press, 1975. 357 p.
- BOLFE, E.L.; PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R.A.; FONSECA, E.L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.1, p.85-90, 2004.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Journal of Educational and Measurement*, Washington, v.20, n.1, p.37-46, 1960.
- CONGALTON, R.G.; MEAD R.A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Maryland, v.49, n.1, p.69-74, 1983.
- CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environmen*, New York, v.44, n.37 p.35-46, 1991.

DALMOLIN, R.S.D. *Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes*. 2002. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.2, p.481-9, 2005.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, 1999. 412 p.

HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Maryland, v.53, n.4, p.421-2, 1987.

IPPOLITI-RAMILO, G.A. *Uso de imagens multitemporais TM/Landsat da época de pré-plantio para a estimativa da área de cultura de verão*. 1998. 150 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. *Applied multivariate statistical analysis*. 4<sup>th</sup>ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1999. 815 p.

JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. *SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a Ciência do Solo*. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. *Anais...* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

KHOURY JÚNIOR, J.K. *Desenvolvimento e avaliação de um sistema de visão artificial para classificação de madeira serrada de eucalipto*. 2004. 101 f. Tese (Doutorado em Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MATHWORKS. *Image Processing Toolbox for use with MATLAB Release 12*. Image Processing Toolbox User's Guide Revised for Version 2.2.2, 2000. 511 p.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.1, p.207-13, 2004.

ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Maryland, v.52, n.2, p.223-7, 1986.

STOCKING, M.A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. (Ed.) *Soil erosion research methods*. Delray Beach: Soil and Water Conservation Society, 1994. 340 p.

TOFETI, A.R.; CARDOSO, A.N.; CARVALHO, A.M.; SOUSA JÚNIOR, J.G.A. Avaliação da cobertura do solo proporcionada por espécies vegetais na região do cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. *Resumos expandidos...* Cuiabá: UFMT, 2002. 1 CD-ROM.

VARELLA, C.A.A.; PINTO, F.A.C.; QUEIROZ, D.M.; SENA JÚNIOR, D.G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.225-9, 2002.