

## CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE FOTOGRAFIAS VERTICAIS PARA ESTIMATIVA DA COBERTURA DO SOLO

GABRIELA IPPOLITI<sup>1</sup>  
MARCELO RESCHUTZEGGER GAGGERO<sup>1</sup>  
LIOVANDO MARCIANO DA COSTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNEMAT - Universidade Estadual de Mato Grosso  
Campus Alta Floresta – Rodovia MT 208 – Km 146  
Caixa Posta 324 – 78580-000 – Alta Floresta – MT, Brasil  
{gippoliti, mgaggero}@unemat.br

<sup>2</sup>UFV - Universidade Federal de Viçosa  
Departamento de Solos e Nutrição de Plantas  
CEP: 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil  
liovando@solos.ufv.br

**Abstract.** Ground cover quantification is a relevant factor for vegetation evaluation and natural resources degradation studies. This work presents a method for cover estimation in pastures condition. Vertical pictures of 1 square meter was obtained on the surface and classified using digital supervised techniques. The method presented a wide agreement degree with the visual estimates and it allowed to separate 3 types of coverings: "green vegetation"; "dry vegetation" and "exposed soil". Main confusions of the classifier were observed among areas with exposed soil and areas with dry vegetation. In some cover classifications was observed shade by the position of the camera with regard to the sun; this was not an unsolvable task because the values of the "shaded pixels" were well characterized and the cover calculation in each quadrant was accomplished by only consideration of "non shaded pixels".

**Keywords:** digital classifier, ground cover estimation, pastures, remote sensing.

### 1. Introdução

A cobertura do solo, definida como a projeção vertical da vegetação na superfície, destaca-se como uma característica quantitativa de interesse para a avaliação dos pastos, que além de ser uma das variáveis utilizadas para a definição da produtividade, constitui um fator fundamental para a determinação do estado da vegetação e da degradação da paisagem. O estudo e reconhecimento das técnicas mais adequadas para a avaliação quantitativa da cobertura do solo em regiões de pastos apresenta importância para a geração de modelos que relacionem os dados de campo com os valores de reflectância registrados pelos sensores remotos (Senseman et al., 1996; Zhou et al., 1998).

Para estimativa da cobertura do solo são utilizados vários métodos entre os que se destacam: (a) observação direta da superfície; (b) geração de "cartas da cobertura"; (c) interceptação de uma linha transecta; (d) interceptação de pontos. O método de geração de "cartas da cobertura" é um procedimento detalhado que possibilita a representação da distribuição e da área ocupada pela vegetação em uma unidade de amostragem (Brown, 1954). As principais desvantagens desse método se encontram relacionadas ao grande esforço e tempo necessário para a geração das estimativas, associado à interpretação visual das amostras. Essas limitações podem ser levantadas com o auxílio de técnicas de processamento de imagens, que permitem realizar de uma maneira automática ou semi-automática o agrupamento em classes, dos elementos ("pixels") com resposta espectral semelhante (i.e. vegetação em estado vegetativo ou seca, resíduos e solo exposto).

Este trabalho descreve um método para a elaboração de "cartas da cobertura", por meio da classificação digital de fotografias verticais em áreas de pastos da região de "Mar de Morros" (Município de Viçosa, MG). Objetivou-se a avaliação da exatidão do procedimento quando comparado às estimativas visuais, a sua facilidade de implementação e o tempo necessário para as

operações. Especificamente, o trabalho serviu de base metodológica para estudos posteriores de modelagem da cobertura do solo com base em dados orbitais.

## 2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido na área correspondente à microbacia do Córrego Ipiúna localizada no Município de Viçosa (MG) entre as coordenadas 20°41'12" a 20°44'57" S e 42°55'28" a 42°58'54" WGr, que abrange uma superfície de 1796 ha. Os pastos constituem a cobertura dominante, ocupando mais da metade da superfície da bacia (59,5 %); a outra fração encontra-se ocupada por mata (22,3 %) e capoeira (18,2 %) (Ippoliti, 2002). A composição predominante dos pastos é a associação de "capim gordura" (*Melinis minutiflora* Paul de Beauv.) e "grama batatais" (*Paspalum notatum* L.), com manchas de "sapé" (*Imperata brasiliensis* Trin.). A agricultura é descontínua e pouco significativa e concentra-se nas áreas de leito maior e terraço.

A amostragem da cobertura do solo foi realizada nas unidades biofísicas representadas por pastos localizados em encostas onduladas e fortemente onduladas (côncavas e convexas), discriminadas utilizando técnicas de geoprocessamento (Ippoliti, 2002). Os pontos de amostragem foram localizados de maneira aleatória por meio do sorteio das coordenadas planas de um dos seus vértices usando o programa Microsoft Excel 2000 (Microsoft, 2000). As áreas sorteadas foram analisadas visualmente no campo e amostradas de acordo com a sua acessibilidade desde as estradas existentes na região. Finalmente, foram selecionados 20 locais de amostragem aonde se obtiveram fotografias verticais da cobertura superficial no formato digital que serviram de base para as avaliações metodológicas. O trabalho baseou-se na análise de 100 fotografias verticais da cobertura obtidas nos diferentes locais de amostragem selecionados.

Em cada ponto de amostragem foi colocado um quadrante de 1m<sup>2</sup> de superfície que serviu como marco de referência para a obtenção das imagens. As fotografias foram obtidas com uma câmara fotográfica digital, que capturou a resposta espectral em três bandas do espectro visível (vermelho - 0,63-0,69 µm; verde - 0,52-0,60 µm; azul - 0,45 -0,52 µm), disposta na posição vertical sobre o quadrante por meio de suspensão manual a uma altura aproximada de 1,50 m.

As fotografias digitais obtidas no campo foram classificadas para a obtenção das "cartas da cobertura"; para os fins de classificação foi utilizado o algoritmo de distribuição gaussiana por máxima verossimilhança (MAXVER) (Mather, 1993; Richards, 1995) implementado no "software" ERDAS Imagine versão 8.4 (Erdas, 1999).

A separabilidade espectral das diferentes classes foi avaliada por meio da análise dos gráficos de respostas espectrais das amostras de treinamento das imagens (agrupadas por classes), análise das estatísticas descritivas de cada classe e, pelo cálculo do valor da divergência espectral entre as classes (Richards, 1995). A medida da divergência tem sido muito empregada nos trabalhos de classificação de imagens, pois estabelece um critério quantitativo que permite avaliar a possibilidade de discriminação das diferentes classes (Chuvieco, 1990). Baseia-se nos valores do vetor de médias e matriz de variância-covariância entre pares de classes consideradas na classificação.

Finalmente, o resultado da técnica de classificação semi-automática foi avaliado por meio da comparação com os resultados da interpretação visual (matriz de confusão) e posterior cálculo da exatidão das classes e da estatística Kappa (*K*), utilizada por vários autores para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e os resultados obtidos a partir das classificações (Cohen, 1960; Rosenfield e Fitzpatrick-Lins, 1986; Foody, 1992). Foi utilizada a formulação proposta por Jensen (1986), citado por Mather (1993) para cálculo do limite de confiabilidade inferior associado com o valor de exatidão geral da classificação.

Calculou-se pela Equação 1 a estimativa de Kappa (Congalton, 1991), onde  $m$  representa a dimensão da matriz quadrada;  $n_{ii}$  representa o número de observações na linha  $i$ , coluna  $i$  (diagonal da matriz);  $n_{i+}$  e  $n_{+i}$  são os totais marginais da linha  $i$  e da coluna  $i$  respectivamente, enquanto que  $N$  refere-se ao número total de observações.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^m n_{ii} - \sum_{i=1}^m (n_{i+} n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^m (n_{i+} n_{+i})}$$

(Equação 1)

O valor de  $\hat{K}$  refere-se ao nível de concordância observado entre os dados da classificação e a realidade interpretada visualmente nas fotografias digitais, com respeito à concordância esperada quando as amostras de referência forem distribuídas ao acaso em cada uma das categorias da classificação.

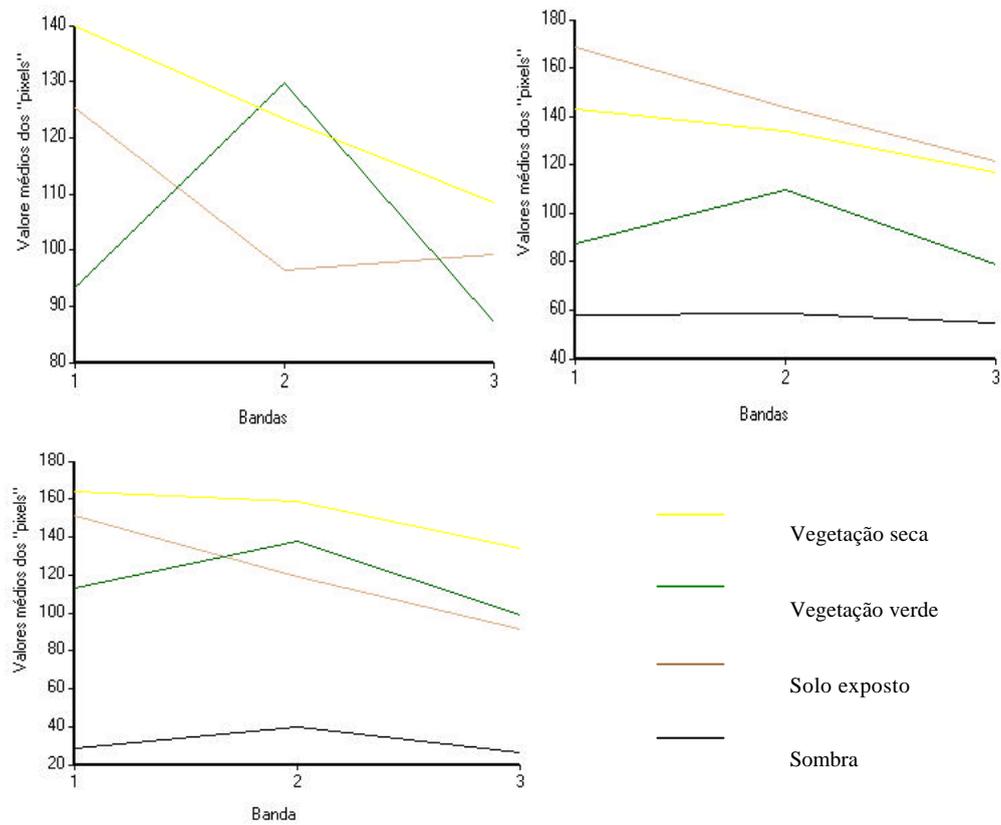
As amostras de referência usadas na avaliação da classificação foram independentes das amostras de treinamento e escolhidas ao acaso em cada fotografia, por meio do uso de uma rotina de amostragem espacial aleatória existente no software ERDAS 8.4.

### 3. Resultados

Na classificação semi-automática foram consideradas as classes: “vegetação verde” (pastos em estado vegetativo); “vegetação seca” (pastos secos ou áreas com resíduos vegetais secos); “solo exposto” (solo desprovido de vegetação) e “sombra”.

Em algumas fotografias foi originado sombreamento pela posição da câmara fotográfica em relação ao sol, condição influenciada pelo acidentado relevo local; por isto, a classe “sombra” foi incluída na legenda da classificação. Avaliou-se “a priori” que a inclusão dessas áreas em alguma das outras classes não conduziria a resultados adequados na classificação, pois os seus valores não se encontraram relacionados com um tipo específico de cobertura. O sombreamento foi atribuído ao posicionamento manual da câmara (sem uso de tripé) para obtenção das fotografias verticais. Porém, a falta de uso de um tripé resultou vantajosa enquanto à eficiência, pois permitiu maior rapidez na obtenção dos dados no campo.

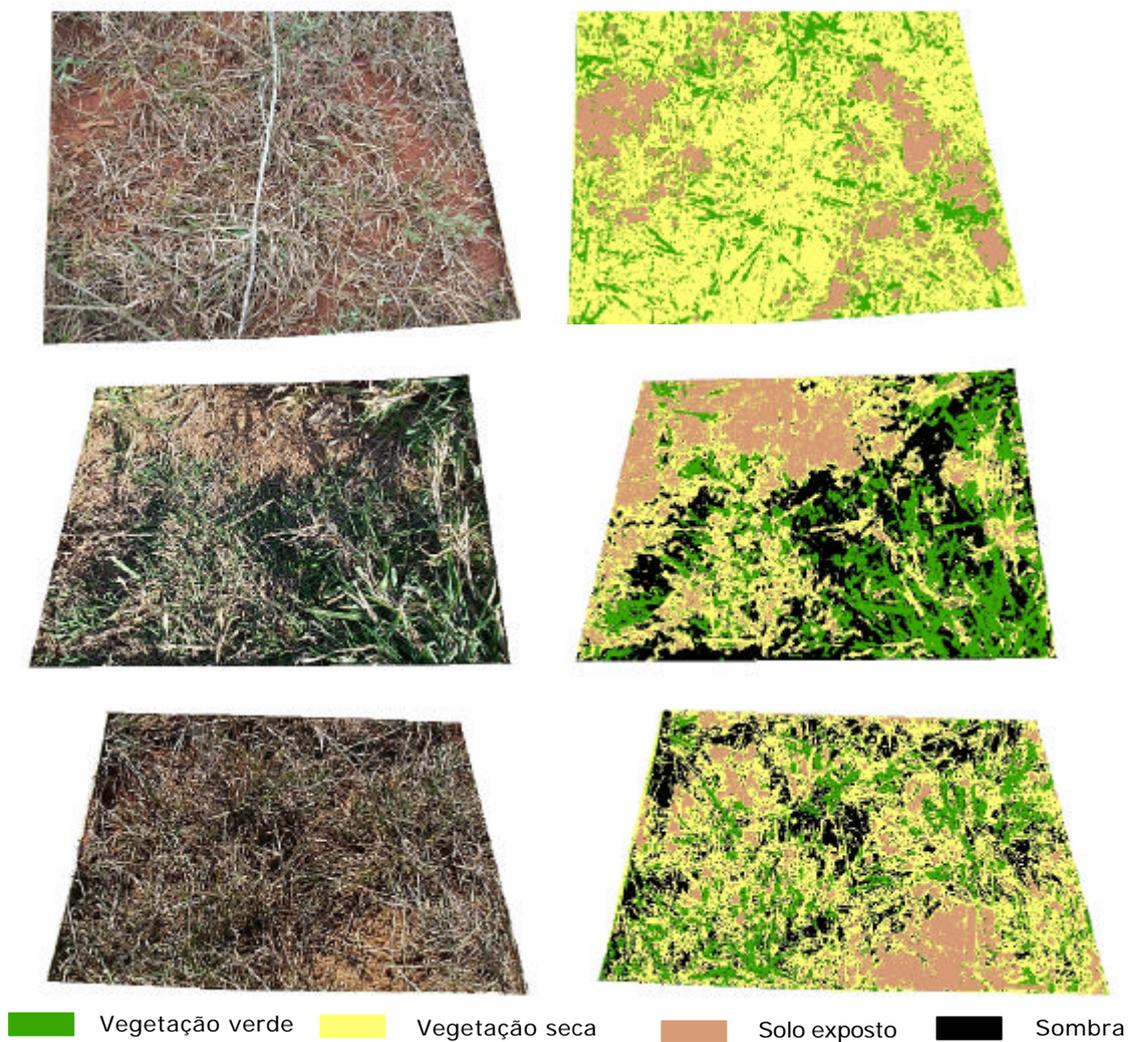
Na **Figura 1** apresentam-se os gráficos das respostas espectrais médias das amostras de treinamento extraídas em três fotografias, que representam a tendência geral do comportamento das classes.



**Figura 1.** Respostas espectrais médias das classes de cobertura para três fotografias. Bandas 1:Vermelho (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ); 2:Verde (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ); 3:Azul (0,45 -0,52  $\mu\text{m}$ ).

Nos gráficos da **Figura 1** pode ser observado que a resposta da vegetação apresenta uma quebra na ascensão (valor de brilho associado á reflectância) entre as bandas do azul (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ) e do vermelho (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ), com um pequeno pico de reflexão na banda correspondente ao comprimento de onda associado à cor verde (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ), dando um aspecto de convexidade nesse trecho da curva espectral. As curvas correspondentes às amostras de solo exposto apresentaram em geral um comportamento ascendente desde a banda do azul até a banda do vermelho. A tendência no comportamento das áreas com vegetação seca ou com resíduos foi espectralmente similar ao de áreas de solo exposto, com valores de brilho maior ou menor àqueles, dependendo da umidade e classe de solo. Essa tendência concorda com o observado em vários trabalhos nos que as diferenças na refletância entre solos expostos e solos com resíduos ou vegetação seca apresentaram-se muito sutis, fundamentalmente na região visível do espectro (Gausman et al., 1977; Stoner et al., 1980; Wanjura e Bilbro, 1986; McMurtrey et al., 1993; Daughtry et al., 1995). A resposta espectral nas áreas de sombra foi caracterizada por valores muito baixos em quaisquer das bandas. Na **Figura 2** pode ser observado o resultado da classificação semi-automática para as três fotografias correspondentes às amostras da **Figura 1**.

O relacionamento entre respostas espectrais das classes foi também avaliado pelo valor da divergência espectral. Em todos os casos este valor foi elevado quando se consideraram os pares de classes: vegetação verde e vegetação seca, ou vegetação verde e solo exposto, indicando melhor separabilidade espectral entre essas classes (valores variáveis entre 50 e 100). Porém, para os pares de classes solo exposto e vegetação seca esse valor foi inferior (valores inferiores a 20) denotando sobreposição de respostas espectrais.



**Figura 2.** Cartas da cobertura obtidas pela classificação digital de três fotografias verticais.

No **Tabela 1** apresentam-se os resultados obtidos na avaliação da classificação digital, quando comparada com a classificação de referência (interpretação visual das fotografias), a partir da amostragem de 585 pontos casualmente distribuídos nas 100 fotografias analisadas.

**Tabela 1.** Resultados da avaliação da classificação digital.

Classe	i	ii	iii	iv	v
Vegetação verde	126	132	95	6	12
Vegetação seca	315	285	81	60	30
Solo exposto	36	72	67	12	48
Sombra	108	96	78	24	12
Total	585	585		102	102

i: Número de amostras da classe, provenientes dos dados de referência;

ii: Número de amostras classificadas em cada uma das classes;

iii: Exatidão geral de cada classe (%);

iv: Número de amostras da classe *i* nos dados de referência que foram incorretamente classificadas como pertencentes a outras classes;

v: Número de amostras da classe *i* nos dados da classificação, pertencentes a outras classes de acordo com os dados de referência.

O valor da exatidão geral da classificação foi de 82,6%, indicando que de cada 100 amostras escolhidas ao acaso, mais de 82 se encontraram corretamente classificadas. O limite menor de confiabilidade associado com esse valor de exatidão para 95% das amostras foi de 78,7%. Esse resultado indicou que 95% das amostras consideradas para a avaliação da classificação, apresentaram exatidão verdadeira de 78,7% ou maior. Nas classes individuais, a maior exatidão foi observada para a vegetação verde, na qual grande parte dos pontos amostrados se encontraram corretamente classificados, não apresentando confusão com as classes de solo exposto ou vegetação seca.

Por outra parte, a menor exatidão individual foi observada para a classe de solo exposto, que apresentou várias amostras de referência classificadas como vegetação seca, resultado concordante com a avaliação de separabilidade realizada com a análise das curvas e com o valor da divergência espectral.

O valor obtido para a estatística Kappa foi de 0,73; de acordo com Landis e Koch (1977) a qualidade da classificação associada a esse valor é “muito boa” e significa que a classificação é 73% melhor do que se esperaria se as amostras de referência tivessem sido aleatoriamente atribuídas às distintas classes da classificação. Por outra parte, deve ser destacado que nas cartas da cobertura observou-se um detalhamento minucioso da distribuição das diferentes classes de cobertura, informação que por interpretação visual e desenho manual requereria muito tempo para ser obtida.

#### 4. Conclusões

Foi descrito um método semi-automático para a elaboração de “cartas da cobertura” e estimativa da cobertura do solo no nível de parcela que utiliza o classificador MAXVER.

O método de classificação semi-automática das fotografias verticais da superfície apresentou um alto grau de concordância com a avaliação visual em termos gerais (exatidão geral: 82,6%; Kappa: 0,73) e para cada classe individual.

As maiores confusões do classificador foram originadas entre as classes vegetação seca e solo exposto.

Nas “cartas da cobertura” observou-se um detalhamento minucioso da distribuição das diferentes classes de cobertura, informação que por interpretação visual e desenho manual requereria muito tempo para ser obtida.

O método de posicionamento manual da câmera introduziu sombreamento nas fotografias; porém permitiu a obtenção eficiente dos dados no campo. A forma de cálculo da cobertura do solo (total e por classe) foi realizada em relação ao número total de “pixels” não sombreados.

## 5. Referências

- Brown, D. *Methods of surveying and measuring vegetation*. Inglaterra: Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, 1954. 223 p.
- Chuvieco, E. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Rialp, 1990. 451 p.
- Cohen, J.A. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.
- Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.
- Daughtry, C.S.; McMurtrey, J.E.; Chapelle, E.W.; Dulaney, W.P.; Irons, J.R.; Salterwhite, M.B. Potential for discriminating crop residues from soil by reflectance and fluorescence. *Agronomy Journal*, v. 87, n. 2, p. 165-171, 1995.
- Erdas. *ERDAS IMAGINE v. 8.4*. [Programa de computador]. Atlanta: ERDAS, 1999.
- Foody, G.M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 58, n. 10, p. 1459-1460, 1992.
- Gausman, H.W.; Leamer, R.W.; Noriega, J.R.; Rodriguez, R.R.; Wiegand, C.L. Field measured spectroradiometric reflectances of disked and non disked soil with and without wheat straw. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.41, n.4, p. 793-796, 1977.
- Ippoliti, G. *Uso de geoprocessamento para análise da distribuição de unidades biofísicas da microbacia do córrego ipiúna (MG)*. Viçosa, M.G.: UFV, 2002. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- Landis, J.R.; Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- Mather, P.M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1993. 352 p.
- McMurtrey, J.E.; Chapelle, E.W.; Daughtry, C.S.T.; Kim, M.S. Fluorescence and reflectance of crop residue and soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 48, n. 3, p. 207-213, 1993.
- Microsoft Corporation. *Microsoft Excel 2000*. [Programa de computador]. EUA: Microsoft, 2000.
- Richards, J.A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 340 p.
- Rosenfield, G.H.; Fitzpatrick-Lins, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 2, p. 223-227, 1986.
- Senseman, G.M.; Bagley, C.F.; Tweddale, S.A. Correlation of rangeland cover measures to satellite-imagery-derived vegetation indices. *Geocarto International*, v.11, n. 3, p. 29-38, 1996.

Stoner, E.R.; Baumgardner, M.F.; Weismiller, R.A.; Biehl, L.L.; Robinson, B.F. Extension of laboratory –measured soil spectra to field conditions. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 3, p. 572-574, 1980.

Wanjura, F.; Bilbro Jr., J.D. Ground cover and weathering effects on reflectance of three crop residues. *Agronomy Journal*, v. 78, n. 4, p. 694-698, 1986.

Zhou, Q.; Robson, M.; Pilesjö, P. On the ground estimation of vegetation cover in Australian rangelands. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 9, p. 1815-1820, 1998.