

Análise de anisotropia da gramínea *Axonopus Compressus*

Rennan Andres Paloschi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
rennan.paloschi@inpe.br

Abstract: The bidirectional reflectance factor has been widely used and the lack of care to obtain the index can provide substantial amendments thereto mainly due to changes in acquisition geometry. This study investigated the anisotropy of *Axonopus Compressus* grassy canopy, frequently used as a permanent pasture, vegetation cover and lawn on humid soils with low fertility, and investigates its impact on the generation of indices commonly used as indices composed of ratios between red and near infra-red (NIR) bands like the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). For such an experiment was conducted in the LARAD laboratory by changing the view angles between nadir, 10, 20 and 30° opposite of the lighting and 10, 20 and 30° likewise lighting. Data were calibrated with a standard board by the spectral calibration factor (K_λ) and the anisotropy was calculated by Anisotropy Factor (ANIF), the interference of anisotropy in the band ratios was investigated by simulating the NDVI index by RED and NIR response bands of the MSI/Sentinel-2A and OLI/Landsat-8 sensors to each view angle. Was found that anisotropy of *A. Compressus* grassy spectrally varies for each view angle and it caused significant differences in simulated NDVI indices for MSI/Sentinel-2A and OLI/Landsat-8 sensors, reaching 15% and 53% respectively.

Palavras-chave: remote sensing, anisotropy factor, spectral calibration factor, vegetation index, sensoriamento remoto, fator de anisotropia, fator de calibração espectral, índice de vegetação.

1. Introdução

Axonopus Compressus, também conhecida como grama-são-carlos ou ainda grama curitibana é uma gramínea de estação quente, frequentemente utilizada como um pasto permanente, cobertura vegetal e gramado, em solos úmidos e com pouca fertilidade. Diversos trabalhos utilizam essa espécie de gramínea como objeto de estudo por sua resistência e capacidade de crescer com igual ou até mesmo maior intensidade em ambientes parcialmente iluminados (HONGYING e SHOUQING, 2003). Sun e Liddle (1993) realizaram a caracterização morfológica da espécie bem como a análise de sua resistência ao pisoteamento, caracterizando-a como intermediária em relação a outras gramíneas, Sao et al. (2006) utilizaram a gramínea como alternativa para remoção de cádmium do solo, metal altamente tóxico, demonstrando a capacidade da gramínea em acumular o metal.

Estudos utilizam índices espectrais obtidos por meio do Fator de Reflectância Bidirecional – FRB para monitoramento da vegetação, assumindo que o FRB é equivalente a reflectância do alvo, isso é verdade se o alvo em questão tiver característica lambertiana, o que não é o caso de um dossel, o qual possui estruturas que podem gerar anisotropia e afetar significativamente índices bastante difundidos como NDVI e EVI. Huber et al (2014) encontraram diferenças entre 5 e 41% para os índices NDVI e SIWSI na savana semiárida no Senegal.

Neste contexto o presente trabalho tem por objetivo avaliar as influências do dossel da gramínea *A. Compressus* no FRB obtido em diferentes ângulos de visada, analisando assim a anisotropia da gramínea.

2. Metodologia de Trabalho

Para desenvolver e aprimorar o conhecimento sobre anisotropia e possíveis interferências da estrutura do dossel de uma vegetação viva no espectro de reflectância, a gramínea *Axonopus Compressus* foi selecionada e analisada por meio de um espectro-radiômetro. O experimento foi realizado em condições controladas no Laboratório de Radiometria - LARAD do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Uma placa da gramínea de aproximadamente um metro quadrado foi utilizada para cobrir com folga todo o GIFOV do sensor, evitando possíveis efeitos de borda. O sensor trata-se de um espectro-radiômetro FieldSpec com resolução espectral nanométrica, a qual se estende de 300 à 2500 nm, e a fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada alógena.

O experimento realizado foi configurado com distância Fonte-Alvo de 140 cm e distância Sensor-Alvo de 52 cm, mantendo-se a inclinação Fonte-Alvo de 25° e variando a visada do sensor em sete modos: ao nadir; 10, 21 e 30° na mesma direção em relação à fonte (retro espalhamento) e; 10, 21 e 30° de forma oposta ao ângulo de iluminação. Foram efetuadas 3 leituras para cada modo, inclusive para as placas padrão e de referência, realizando-se uma média.

Uma placa padrão com reflectância teoricamente ideal e uma placa de referência com reflectância alta, porém não ideal, foram utilizadas para simular o efeito de intercalibração de placa de campo, sendo medida primeiramente a placa de padrão e posteriormente a placa de referência, permitindo calcular o fator de calibração espectral K_λ (Equação 1) para ser utilizado no cálculo do fator de reflectância bidirecional (Equação 2).

$$K_\lambda = L'_{\lambda,p}/L'_{\lambda,r} \quad (1)$$

em que: K_λ é o fator de calibração espectral da placa; $L'_{\lambda,p}$ é a radiância espectral da placa padrão e; $L'_{\lambda,r}$ é a radiância espectral da placa padrão.

$$FR_y = L'_{\lambda,a}/(K_y * L'_{\lambda,r}) \quad (2)$$

em que: FR_y é o fator de reflectância espectral e; $L'_{\lambda,a}$ é a radiância espectral.

O fator de anisotropia (*Anisotropy Factor* - ANIF) pode ser definido como porção da radiação refletida em uma específica direção de visada em relação ao nadir (SANDMEIER et al, 1998):

$$ANIF(\lambda, \theta_s \varphi_s \theta_v \varphi_v) = \frac{\rho(\lambda, \theta_s \varphi_s \theta_v \varphi_v)}{\rho_0(\lambda, \theta_s \varphi_s \theta_v \varphi_v)} \quad (3)$$

em que: ρ é o fator de reflectância bi-direcional; ρ_0 é o fator de reflectância ao nadir; λ é o comprimento de onda; θ é o ângulo zenital; φ é o ângulo azimutal, s é a direção de iluminação e; v a direção de visada.

De forma a estimar o impacto da anisotropia desta gramínea em índices de vegetação, foram selecionados os sensores Operational Land Imager - OLI/Landsat 8 e MultiSpectral Instrument MSI/Sentinel-2A para avaliar o impacto no índice NDVI, utilizando as funções de resposta das bandas do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR) (Figura 1).

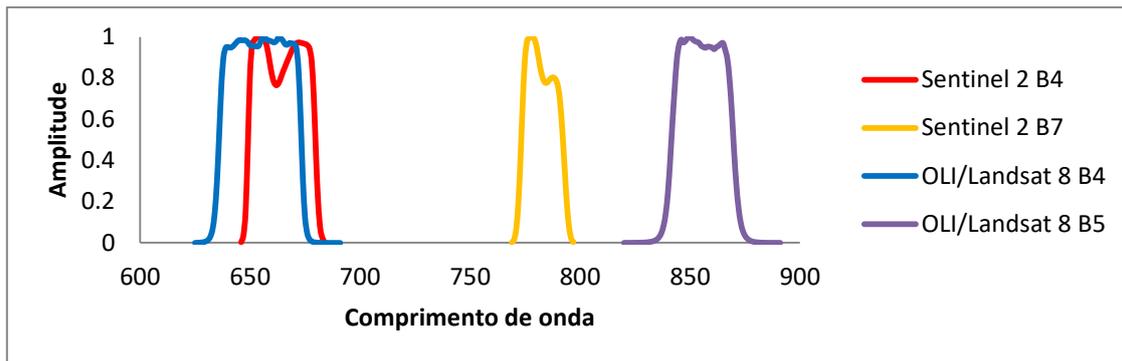


Figura 1 Funções de resposta espectral do OLI/Landsat 8 e MSI/Sentinel-2A para o RED e NIR.
Fonte: adaptado de ESA, 2016 e NASA, 2016.

Utilizando as bandas simuladas foi calculado o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) em cada ângulo de visada nos diferentes sensores. O NDVI é um bom estimador de biomassa, sendo o índice mais utilizado em pesquisas que são relacionadas à dinâmica da cobertura vegetal, tais como o acompanhamento e a avaliação de rendimento de culturas na agricultura de precisão (PONTES, 2005; JUNGES; ALVES; FONTANA, 2007). O NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), é dado pela Equação 13:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_v}{\rho_{IVP} + \rho_v} \quad (4)$$

em que: ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo e; ρ_v é a reflectância no vermelho.

3. Resultados e Discussão

Primeiramente foi efetuada a leitura da placa padrão e depois foi realizada a leitura da placa de referência, gerando o fator de calibração espectral (K_λ) para a placa de referência conforme ilustrado no gráfico da Figura 2. As leituras nos comprimentos de onda abaixo de 400nm e acima de 2400nm foram desconsideradas pelo baixo nível de sinal/ruído entre 300 à 400nm e entre 2200 à 2500nm.

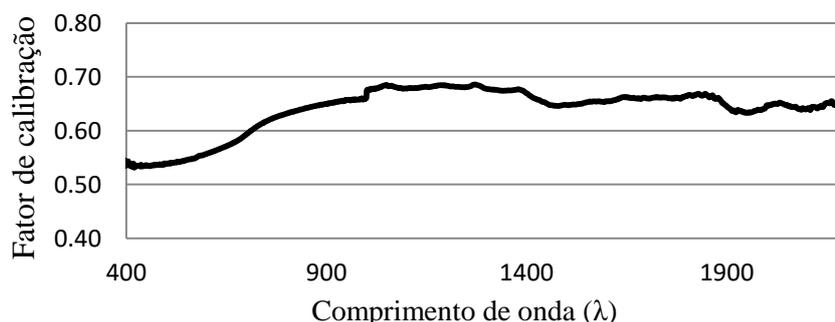


Figura 2 Fator de calibração espectral da placa de referência

A simulação efetuada mostra como uma placa, muitas vezes considerada lambertiana ideal (100% difusora), pode perder suas características induzindo ao erro do cálculo de fator de reflectância, essas impurezas podem ser visíveis a olho nu e identificadas facilmente, mas também podem ocorrer no infravermelho como as perturbações acima de 700 nm, ilustradas também na Figura 2, não sendo possível a identificação visual.

As medidas de radiância foram tomadas e os FRBs em cada modo foram calculados utilizando o fator de calibração, os FRBs podem ser observados na Figura 3.

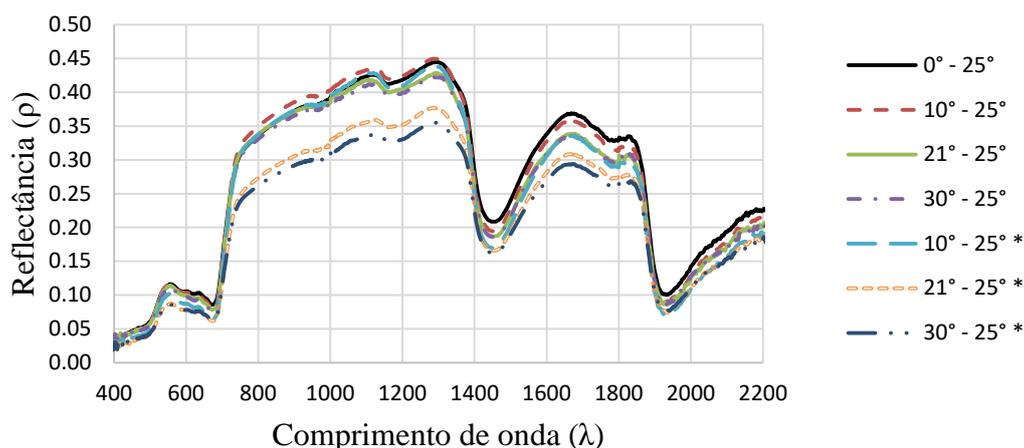


Figura 3 Espectros de reflectância obtidos com diferentes ângulos de visada
 * angulação oposta ao sentido de iluminação

A partir do gráfico na Figura 3 pode-se analisar o perfil de reflectância característico de vegetação viva, com alta absorção no visível (400 à 700nm) devido à absorção por pigmentos fotossintetizantes, o pico em 550nm o qual dá ao dossel a cor verde, a alta reflectância no infravermelho próximo pela estrutura do mesófilo foliar e as bandas de absorção por água, que nesta gramínea estão localizadas em 1450 e 1900nm (PONZONI et al., 2012). É possível observar que as maiores reflectâncias foram obtidas nos ângulos baixos, próximos ao nadir, e as menores medidas foram obtidas com ângulos maiores e opostos ao ângulo de iluminação, indicando sombreamento pelo dossel. A maior reflectância foi obtida com ângulo de visada 10° de mesmo sentido de iluminação, isso se deve ao fato de que a gramínea em questão possui folhas finas, cuja grande parte possui orientação vertical, e devido à fonte de iluminação estar com uma inclinação de 25°, causa sombreamento mesmo ao nadir.

A anisotropia espectral - ANIF é uma boa ferramenta para analisar se o dossel espalha de forma diferente os comprimentos de onda em diferentes ângulos de observação e se a sombra, por exemplo, afeta mais alguns comprimentos de onda do que outros. O gráfico da Figura 4 mostra a anisotropia calculada para os diferentes ângulos de observação em relação ao nadir. Os valores próximos de 1 representam baixa anisotropia e os valores acima de 1 ou abaixo de 1 representam anisotropia positiva (maior reflectância) ou anisotropia negativa (menor reflectância) respectivamente. É possível observar o ruído que também fica evidenciado no gráfico de ANIF, mesmo para a faixa cortada de 400 a 2200nm.

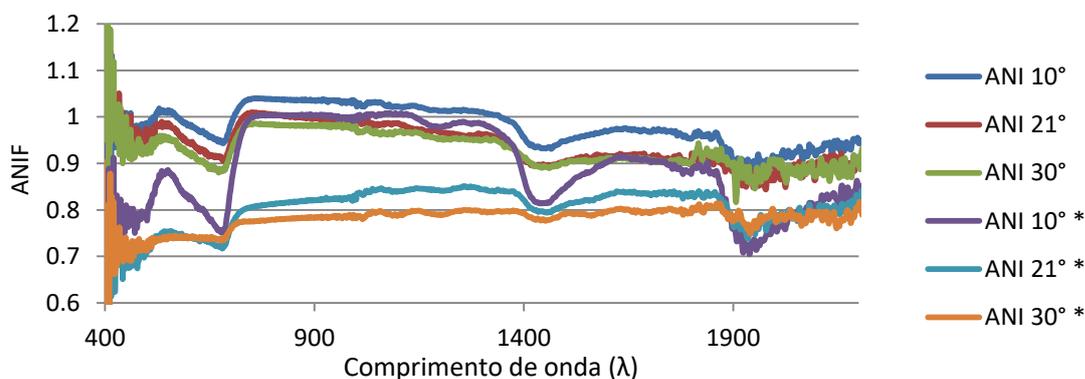


Figura 4 Anisotropia dos espectros de reflectância.
 * angulação oposta ao sentido de iluminação

Como esperado, as reflectância dos maiores ângulos opostos à iluminação apresentaram valores de ANIF bem abaixo de 1, mas é importante observar que o dossel apresenta anisotropias diferentes para os diferentes comprimentos de onda em cada ângulo de visada, isso indica que índices baseados em razões de bandas ou estimativas baseadas em profundidade e/ou largura de picos de absorvância tais como concentração de clorofila por exemplo podem ser sub ou super estimados a depender do ângulo de visada. O ângulo de 10° oposto à iluminação apresenta um padrão interessante, apesar de ser um ângulo próximo ao nadir, possui valores de ANIF muito abaixo de 1 no visível, principalmente para o azul (400nm) e vermelho (600nm) e próximos de 1 para o infravermelho próximo (700 a 1200nm), isso indica que os índices de vegetação que utilizam bandas localizadas nestas faixas como o NDVI serão super estimados se a leitura for realizada com esta angulação (10°). Os outros ângulos altos e opostos a iluminação apresentaram anisotropia mais constante ao longo do espectro, os ângulos a favor da iluminação apresentaram ANIF próxima de 1, com o mesmo padrão descrito na angulação 10° oposta, porém com menor intensidade de variação, confirmando novamente o efeito de sombra do dossel em ângulos altos e opostos.

A simulação dos espectros para as bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) dos sensores MSI/Sentinel-2A e OLI/Landsat permitem avaliar o possível impacto da anisotropia no índice NDVI de imagens orbitais, os valores de reflectância simulados para as bandas bem como o valor de NDVI calculados para cada sensor em cada ângulo de visada podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 Simulação de para as bandas de RED e NIR dos sensores MSI/Sentinel-2A e OLI/Landsat8 e comparação de NDVI.

Visada	Sent. 2 b4	Sent. 2 b7	OLI b4	OLI b5	NDVI Sent. 2	NDVI OLI
30°	0,0731	0,2840	0,0811	0,3375	0,5905	0,2727
21°	0,0754	0,2907	0,0835	0,3437	0,5880	0,2621
10°	0,0785	0,2999	0,0870	0,3563	0,5852	0,2431
Nadir	0,0824	0,2886	0,0910	0,3438	0,5558	0,2356
10° *	0,0631	0,2896	0,0706	0,3450	0,6423	0,3011
21° *	0,0597	0,2339	0,0663	0,2810	0,5932	0,3571
30° *	0,0608	0,2243	0,0672	0,2688	0,5734	0,3616

* angulação oposta ao sentido de iluminação

Como observado na Tabela 1 os índices de NDVI simulados para o sensor MSI foram praticamente duas vezes maiores do que os índices simulados para o sensor OLI, isso se deve não só a diferença de posicionamento das bandas de cada sensor, mas se deve, em grande parte, à diferença de sensibilidade das bandas destes sensores. Como pode ser observado na Figura 1 (metodologia), a função resposta da banda RED do sensor OLI (banda 4) possui menor sensibilidade do que a banda RED do OLI (banda 4), enquanto sua banda NIR (banda 7), possui uma função resposta com maior sensibilidade do que a banda NIR do OLI (banda 5), ampliando assim as diferenças de NDVI, já que este índice é uma diferença normalizada entre o NIR e o RED.

Ao observar os valores de NDVI podemos constatar que o comportamento de ANIF observado para o ângulo de visada 10°, oposto a iluminação, que previa a superestimação do NDVI se confirma. As maiores diferenças de NDVI entre angulações foram de +15% para o MSI/Sentinel-2A com 10° oposto a iluminação e +53% para o OLI/Landsat-8 com 30° oposto a iluminação. Esse comportamento pode ser observado no gráfico da Figura 5.

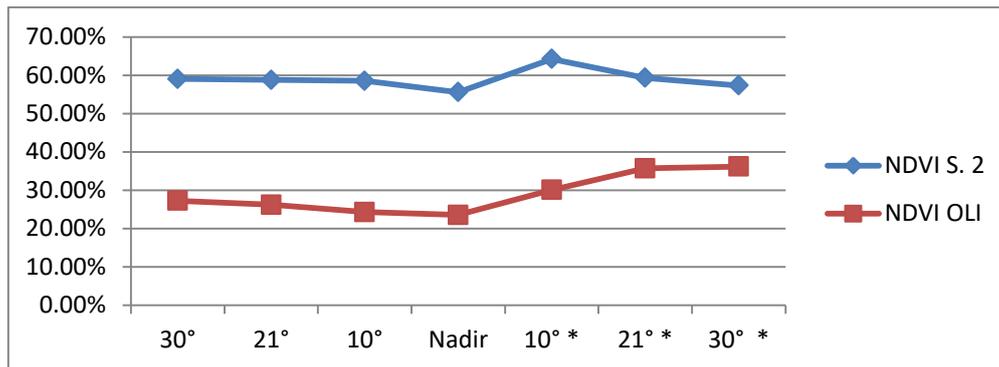


Figura 5 NDVI Da gramínea *A. Compressus* simulado pros sensores MSI/Sentinel-2A e OLI/Landsat-8.
 * angulação oposta ao sentido de iluminação

O NDVI do MSI mostra-se muito mais estável à mudança de angulação em relação ao OLI. O aumento dos valores de DNVI em relação à mudança de angulação demonstra que o sombreamento causado pelo dossel da gramínea *A. Compressus* afeta mais as bandas do visível do que do infravermelho próximo, ampliando este índice em visadas mais sombreadas, contudo, o NDVI simulado para o MSI com visada de 30° oposta a iluminação apresenta valor consideravelmente mais baixo, comportamento verificado também no gráfico de ANIF, onde os valores de ANIF para o infravermelho próximo começa a equivaler ao visível nos maiores ângulos opostos a iluminação.

4. Conclusões

A anisotropia da gramínea *A. Compressus* causou diferenças expressivas nos índices NDVI simulados para os sensores MSI/Sentinel-2A e OLI/Landsat-8, chegando a 15 e 53% respectivamente. As maiores diferenças de NDVI por grau ocorreram, para ambos os sensores, entre o nadir e 10° oposto a iluminação, +15% para o MSI/Sentinel-2A e +27% para o OLI/Landsat-8, demonstrando que mesmo alterações aparentemente pequenas no ângulo de visada podem alterar significativamente razões entre bandas e outras estimativas tomadas por meio de espectros de reflectância bidirecionais da gramínea *Axonopus Compressus*.

Por meio da análise realizada pode-se concluir que o offset entre os valores de NDVI simulados para o MSI e OLI são causados em maior parte, pela diferença entre sensibilidade das bandas, já as diferenças de comportamento do NDVI entre os sensores em relação à mudança no ângulo de visada é devida principalmente ao deslocamento das bandas no espectro, já que ficam sobre anisotropias diferentes, principalmente as relativas ao NIR.

Referências Bibliográficas

EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. **Sentinel-2A Spectral Response Functions**. Disponível em: <https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2A+MSI+Spectral+Responses>. Acessado em: 20 de agosto de 2016.

HONGYING, J.; SHOUQING, Z. The photosynthetic characteristics in leaves of carpet grass-Axonopus compressus. **Guangxi Zhiwu**, n. 2, v. 23, p. 181-184, 2003.

HUBER, S.; TAGESSON, T.; FENSHOLT, R. An automated field spectrometer system for studying VIS, NIR and SWIR anisotropy dor semi-arid savanna. **Remote Sensing of Enviroment**, v. 152, p. 547-556, 2014.

JUNGES, A. H.; ALVES, G.; FONTANA, D. C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE. 2007. p. 241-248.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Spectral Response of the Operational Land Imager In-Band**. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5779>. Acessado em: 20 de Agosto de 2016.

PONTES, P. P. B. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana de açúcar. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 217-224.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Segunda edição. Oficina Textos, 2012, p. 176.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: Earth Resources Technology Satellite, 1 Symposium, 3, Washington, 1973. Proceedings...* Washington: NASA, 1974. v. 1, p. 309-317.

Sandmeier, S.; Muller, C.; Hosgood, B.; Andreoli, G. Physical mechanisms in hyperspectral BRDF data of grass and watercress. **Remote Sensing of Environment**, n. 2, v. 66, p. 222-233, 1998.

SAO, V.; NAKBANPOTE, W.; THIRAVETYAN, P. Cadmium accumulation by *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv and *Cyperus rotundas* Linn growing in cadmium solution and cadmium-zinc contaminated soil. **Songklanakarin J. Sci. Technol.**, n. 3, v. 29, p. 881-882, 2006.

SUN, D.; LIDDLE, M. J.; Plant morphological characteristics and resistance to simulated trampling. **Environmental Management**, n. 4, v. 17, p. 511-521, 1993.