

AVALIAÇÃO DA RESPOSTA ESPECTRAL DE FOLHAS DE AVEIA PRETA (*Avena strigosa*) CULTIVADAS EM DIFERENTES SOLOS DA SERRA GAÚCHA, COM ADIÇÃO DE COBRE E MATÉRIA ORGÂNICA

NAÍSSA BATISTA DA LUZ¹; HENRIQUE PESSOA DOS SANTOS² e GEORGE WELLINGTON DE MELO³

EMBRAPA UVA e VINHO
Rua Livramento, 515, Cep: 95700-000.
Bento Gonçalves, RS.

1 naissa@cnpuv.embrapa.br

2 henrique@cnpuv.embrapa.br

3 george@cnpuv.embrapa.br

Abstract. The traditional agricultural practices in the vineyards cultivation have caused accumulation of the soil copper, through intensive application of Bordeaux mixture (copper sulfate) along the years. The presence of this heavy metal in high concentration has serious consequences not only for the environment but also to human health, besides economic lost for the vine agribusiness. Through contaminated plant detection and its physiological conditions inference, the impacts of the copper in the environment and its effects to vine plants could be remotely assessed. These activities would allow the identification, mapping and monitoring of cultivated areas, aiding in the proposition of actions that would allow to reduce the negative impacts of this product to the environment, to the ecological and human's health as well as the vine agribusiness.

Keywords: spectral response; copper contamination; spectroradiometry, vineyards

Resumo

As práticas agrícolas tradicionais no cultivo de videiras têm causado o acúmulo de cobre no solo, pela aplicação intensiva de calda bordalesa ao longo dos anos. A presença deste metal pesado em taxas elevadas tem sérias conseqüências para o ambiente e para a saúde humana, além de acarretar prejuízo econômico para o agronegócio vitícola. Através da detecção de plantas contaminadas e da inferência de suas condições fisiológicas, os impactos do cobre no ambiente e seus efeitos nas videiras podem ser avaliados remotamente. Estas atividades permitiriam o mapeamento de áreas contaminadas e o monitoramento dos cultivos e formações naturais, auxiliando na proposição de ações que permitam reduzir os impactos negativos deste produto ao ambiente, à saúde humana e ecológica e ao agronegócio vitícola.

1. Introdução

A aplicação de produtos à base de cobre (calda bordalesa, na forma de CuSO₄ a 1%) no combate a doenças fúngicas, em cultivos de videira na região da Serra Gaúcha, vêm ocorrendo à dezenas de anos. O cobre acumula-se nos horizontes superficiais do solo, e é absorvido pelas plantas em sua forma solúvel. Solos ácidos e com pequena capacidade de troca catiônica agravam o problema da toxidez do Cu (GIOVANNINI, 1997).

A alta capacidade de troca catiônica e altos teores de matéria orgânica reduzem a quantidade de cobre disponível para as plantas, e a calagem de solos ácidos também podem auxiliar no aumento do PH e conseqüente redução da toxidez (GIOVANNINI, 1997).

A energia radiante que atinge uma folha é decomposta nas porções refletida, absorvida e transmitida. Este balanço energético é determinado pelas propriedades da superfície da folha, por sua estrutura interna e distribuição de seus componentes bioquímicos. Através da forte correlação entre a interação da energia radiante com as folhas e estas propriedades, avaliações da biomassa e do estado fisiológico das plantas podem ser realizadas remotamente (SIMS e GAMON, 2002; GITELSON e MERZLYAK, 2002; PAÑUELAS e FILELLA, 1998).

Muitos dos efeitos causados pela contaminação de cobre às plantas certamente influem na interação das folhas com a energia, alterando a resposta espectral captada pelos sensores remotos. Dentre o conjunto de sintomas observados em plantas submetidas a elevadas taxas de cobre no solo, que certamente alteram a forma como as plantas refletem a energia, portanto importantes para fins de percepção remota, destacam-se as alterações na estrutura celular das folhas e em sua composição bioquímica (PANOU-FILOTHEOU *et al.*, 2001). Alterações na resposta espectral da vegetação nos comprimentos de onda do infravermelho próximo são atribuídas à estrutura celular, ao passo que a interação dos vegetais com os comprimentos de onda do visível devem-se à sua composição bioquímica, principalmente pigmentos e substâncias de reserva (ASSUNÇÃO, 1989).

A estrutura celular da folha é alterada pelo aumento da espessura foliar, redução da superfície laminar e dobramento das folhas. As células do mesófilo e do parênquima esponjoso aumentam em número e em volume. Estes são sintomas fortemente relacionados à redução das raízes o que diminui a capacidade de absorção de água e nutrientes, fazendo com que a planta desenvolva mecanismos de redução da transpiração e aumento na capacidade de armazenamento de água. Outros sintomas relacionados a estes mecanismos são o aumento em número e tamanho de pêlos, aumento na produção de óleos essenciais, aumento em número e redução do tamanho dos estômatos e redução do volume dos espaços intercelulares no mesófilo (PANOU-FILOTHEOU *et al.*, 2001).

As alterações na composição bioquímica devem-se principalmente à ocorrência de clorose. A redução na produção de clorofila total, a redução drástica do número e do volume dos cloroplastos no mesófilo e o desaparecimento de grãos de amido em folhas de orégano (*Origanum vulgare* subsp. *Hirtum*) foi evidenciado por PANOU-FILOTHEOU *et al.* (2001), em plantas cultivadas em solos contaminados por cobre.

Como os comprimentos de onda do visível são altamente correlacionados com a presença de pigmentos nas folhas e os comprimentos de onda do infravermelho com sua estrutura, técnicas de sensoriamento remoto podem ser aplicadas para a avaliação das condições fisiológicas e da estrutura celular das plantas através de sua interação com a energia (PAÑUELAS e FILELLA, 1998).

2. Metodologia

Os experimentos de avaliação dos efeitos do cobre no desenvolvimento das plantas de aveia (*Avena strigosa*) e na alteração das características dos solos, mediante a adição de cobre e matéria orgânica, foram conduzidos em casa de vegetação, durante 40 dias, na área experimental da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS.

Para esses experimentos foram utilizados dois tipos de solo, coletados em vinhedos da região da Serra Gaúcha, cujas características físico-químicas encontram-se relacionadas na. Os experimentos foram conduzidos por delineamento em blocos ao acaso, sendo a unidade experimental um vaso com 20 plantas. Para cada um dos tratamentos foram amostrados três vasos e medidas duas folhas de cada vaso, totalizando seis repetições por tratamento.

Tabela 1. Características físico-químicas dos solos utilizados para o cultivo de *Avena strigosa* e avaliação dos efeitos de cobre e M.O.

Característica	Solo A	Solo B
Al	77,9	0
Mg	4,4	16,1
M.O.	11,1	61
pH 1:1	4,2	4,9
SMP	4,2	4,7
Argila (g dm ⁻³)	530	350
P (mg.dm ⁻³)	0,4	2,5
K(mg.dm ⁻³)	60	77
Cu(mg.dm ⁻³)	3,4	1,6
Ca (mmol _c dm ⁻³)	2,6	54,2

No primeiro experimento objetivou-se a análise dos efeitos do cobre no solo e no desenvolvimento das plantas. Para cada tipo de solo, foram adicionadas doses crescentes de cobre (0, 10, 40 e 100 ppm de Cu). Como fonte de cobre foi utilizado sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄ + 5 H₂O). No segundo experimento analisou-se o efeito da adição da matéria orgânica (M.O.) nos mesmos tipos de solo contaminados com 100 ppm de cobre, adicionando-se taxas crescentes de M.O. proveniente de cama de aviário (0, 10, 209, 40, 80 ton/ha).

Alguns dias antes do corte das plantas para a realização de análises químicas e físicas dos solos e das plantas (após um período de aproximadamente 40 dias de desenvolvimento), procederam-se as medições da resposta espectral das folhas de *Avena strigosa*. O equipamento Li-1800 da marca Li-Cor foi utilizado para medir o fator de reflectância bidirecional. As folhas foram medidas com o auxílio da esfera integradora externa 1800-12S, que praticamente elimina as variações referentes ao ângulo de iluminação e intensidade do fluxo de radiação proveniente da fonte, além de variações atmosféricas que podem ocorrer quando sensores acoplados a telescópios são utilizados.

As medições foram realizadas diretamente nos vasos, na casa de vegetação, tomando-se sempre o terço médio da terceira folha totalmente expandida de cada planta. Os resultados foram transformados em fator de reflectância aplicando-se a **Equação 1**, com base nos resultados obtidos para a mensuração da placa de referência de sulfato de bário.

$$\frac{L_a}{L_r}$$

Equação 1

Onde: L_a: reflectância da amostra e L_r: reflectância da placa de referência de sulfato de bário

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para as medições realizadas em folhas de aveia cultivadas em solos dos tipos A e B, com adição de 100 ppm de cobre e diferentes taxas de matéria orgânica, podem ser observados na **Figura 1**. As plantas cultivadas no solo A apresentaram maiores alterações na resposta espectral (**Figura 1 (a)**) do que as cultivadas no solo tipo B (**Figura 1 (b)**), provavelmente devido à constituição físico-química original do solo, já que o solo tipo A tem menor teor de matéria orgânica natural do que o solo tipo B. Pode-se observar que as maiores alterações no comportamento espectral são observadas na região do visível, enquanto que no infravermelho a resposta espectral sofre alterações mais sutis.

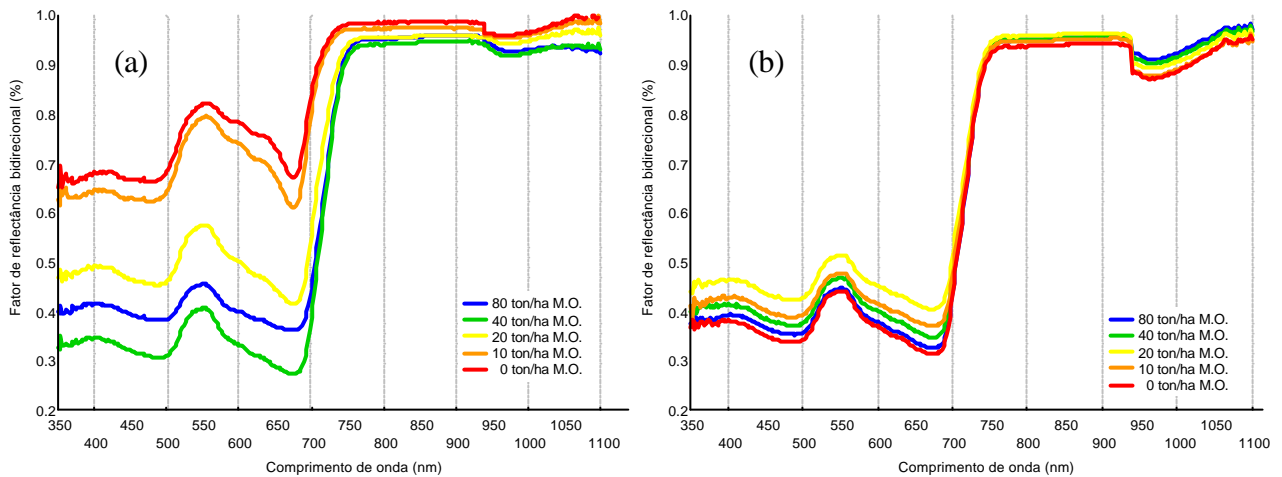


Figura 1. Gráficos demonstrando a resposta espectral de folhas de aveia (*Avena strigosa*) cultivadas em solos dos tipos A (a) e B (b), com adição de 100 ppm de Cu e adição de teores diferenciados de matéria orgânica.

Na **Figura 2** pode-se observar o crescimento diferenciado entre as plantas cultivadas com adição de matéria orgânica, expresso em peso seco. Percebe-se que maiores teores de matéria orgânica ocasionam um aumento de biomassa, já que as plantas contaminadas têm dificuldade de absorção de água e nutrientes devido principalmente à redução do desenvolvimento do sistema radicular (Giovannini, 1997). Contudo, esta tendência não foi observada para as plantas cultivadas no solo B, provavelmente porque o solo B têm teores elevados de M.O. natural, o que minimiza o efeito do cobre nos tratamentos sem adição ou com baixa adição de M.O.

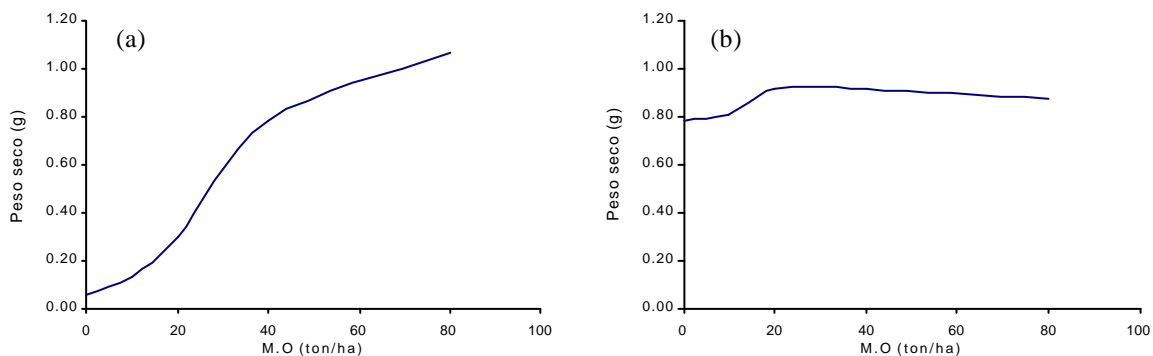


Figura 2. Gráficos demonstrando a variação do peso seco (em gramas) com o aumento do teor de matéria orgânica adicionado aos solos A (a) e B (b).

As diferenças observadas no desenvolvimento das plantas, principalmente do solo tipo A, foram também evidenciadas pela análise de reflectância (**Figura 1(a)**). Este fato pode ser constatado já que observou-se maior reflectância nas plantas mais fortemente intoxicadas, portanto absorvendo quantidades menores de energia nos comprimentos de onda absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos. A redução na atividade fotossintética foi observada por PANOU-FILOTHEOU *et al.* (2001), em plantas de crégano cultivadas em solos com excesso de cobre, devido à redução na quantidade de clorofila total. Como alterações na quantidade e qualidade dos pigmentos ocasionam mudanças na região do visível, as diferenças observadas podem ser atribuídas a este fato.

Apesar de serem observadas diferenças mais acentuadas na reflectância das folhas nos comprimentos de onda do visível, para os diferentes teores de matéria orgânica, as diferenças observadas graficamente na região do infravermelho próximo são estatisticamente significativas, para índice alfa de 0,01, conforme observado na **Tabela 2**. O mesmo se repete para o segundo experimento, onde foram adicionadas taxas crescentes de cobre. As diferenças entre os tratamentos são altamente significativas, independente do comprimento de onda considerado, na análise da variância da reflectância.

Tabela 2. Resultados da análise de variância para os tratamentos por comprimento de onda e nível alfa 0,01 (** = altamente significativo).

I	Solo A, 100 ppm Cu, adição M.O.	Solo B, 100 ppm Cu, adição M.O.	Solo A, adição de Cu	Solo B, adição de Cu
	F	F	F	F
400	19,080**	16,145**	14,502**	16,514**
450	21,011**	16,448**	14,722**	16,889**
500	25,056**	16,544**	14,722**	16,980**
550	38,592**	15,614**	13,717**	15,933**
600	36,995**	16,278**	14,200**	16,685**
660	31,431**	16,755**	14,691**	17,209**
700	40,225**	15,686**	13,554**	15,953**
800	11,049**	11,156**	11,021**	11,195**
1000	11,187**	11,551**	11,627**	11,598**
1100	11,078**	11,060**	12,610**	12,116**

Analisando os resultados obtidos para a reflectância de folhas de aveia cultivadas em solos com adição de taxas crescentes de cobre, observam-se diferenças pouco acentuadas entre os tratamentos, com exceção da adição de 100 ppm de cobre para o solo tipo A, cuja reflectância encontra-se bastante alterada. A reflectância das plantas de aveia cultivadas no solo tipo B manteve um mesmo padrão, alterando-se sutilmente, provavelmente devido à matéria orgânica natural deste solo. .

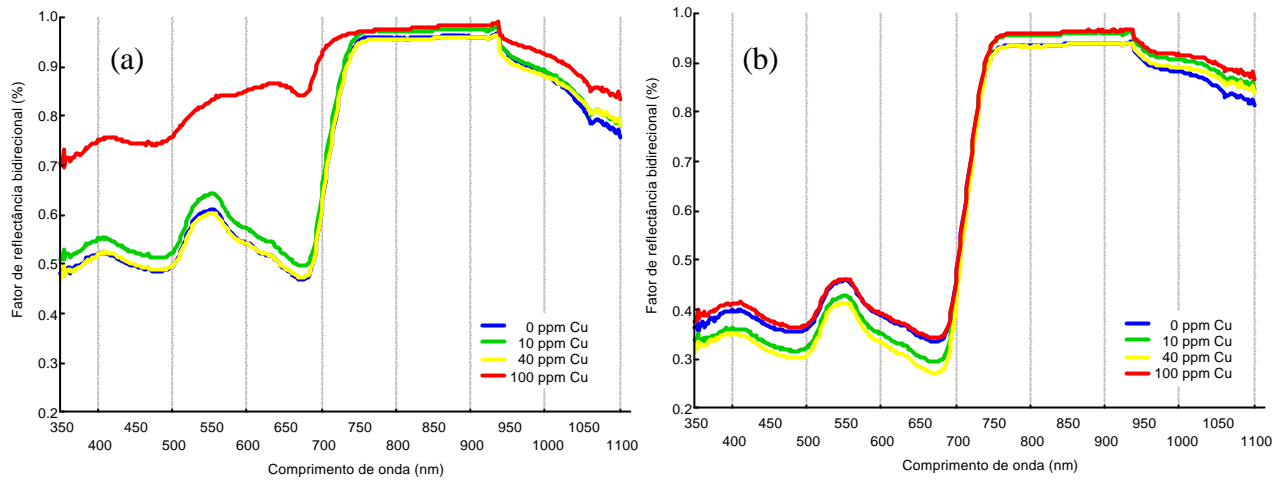


Figura 3. Gráficos demonstrando a resposta espectral de folhas de aveia (*Avena strigosa*) cultivadas em solos dos tipos A (a) e B (b), com adição de teores diferenciados de Cu.

Na **Figura 4** observa-se as diferenças acentuadas no crescimento das plantas cultivadas no solo tipo A (a), cujos teores de matéria orgânica naturais são menores do que os do solo B (b). Nos gráficos demonstrados na **Figura 3** pode-se observar que os tratamentos de teores de cobre sem adição de matéria orgânica não produziram diferenças acentuadas na resposta espectral das folhas de aveia, apesar de serem observadas diferenças significativas no desenvolvimento das plantas (**Figura 4**) e na análise de variância (**Tabela 2**).

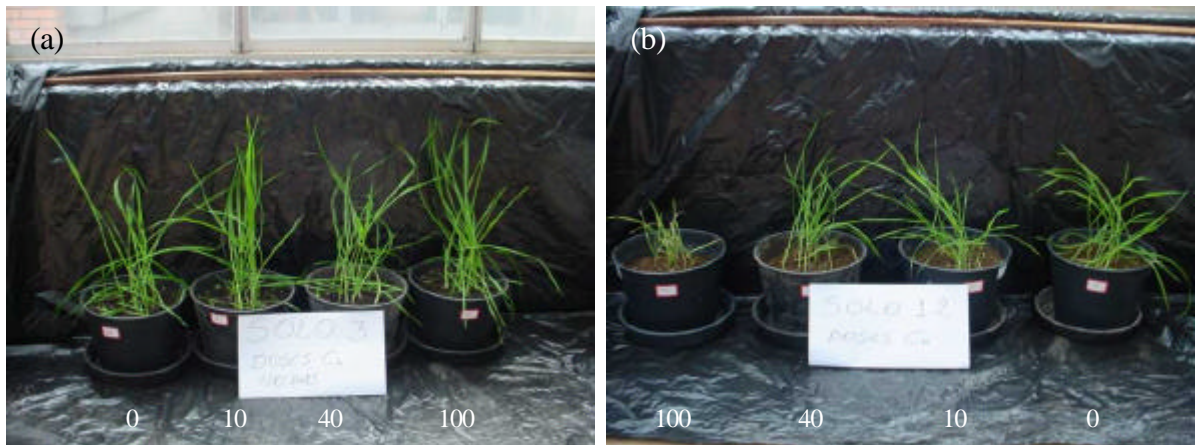


Figura 4. Fotografias das plantas (*Avena strigosa*) cultivadas em dois tipos de solo da Serra Gaúcha, submetidas a altos teores de cobre, conforme indicação na parte inferior das fotografias (em ppm de Cu).

Quando analisa-se o desenvolvimento das plantas cultivadas em solo com taxas crescentes de cobre, através do peso seco, as mesmas tendências do experimento anterior se observam, já que da mesma maneira os efeitos da contaminação são menos acentuados para o solo tipo B, que têm maiores teores de matéria orgânica natural.

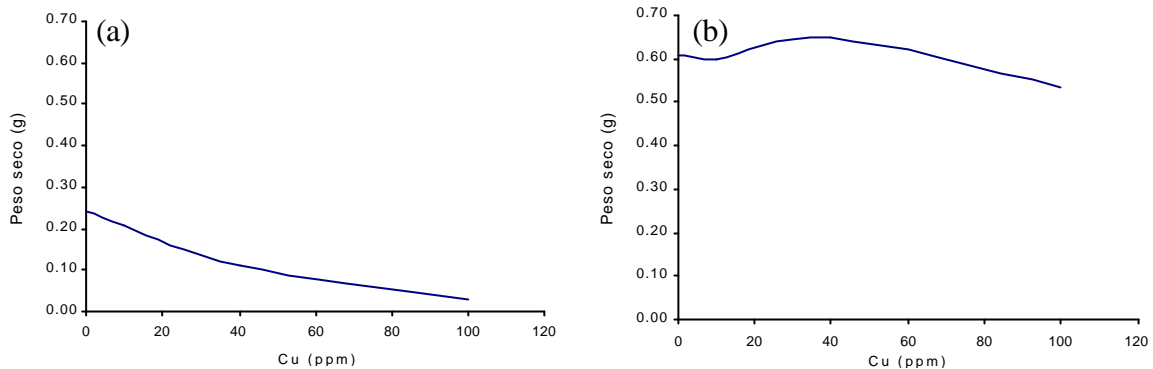


Figura 5. Gráficos demonstrando a variação do peso seco (em gramas) com o aumento do teor de matéria orgânica adicionado aos solos A (a) e B (b).

4. Conclusões

Como verificou-se, existem diferenças significativas na resposta espectral de folhas de plantas de *Avena strigosa* com excesso de cobre, o que representam um excelente indicativo da viabilidade de detecção de plantas contaminadas para fins de mapeamento através de sensores remotos. Entretanto, a capacidade de detecção remota dos efeitos do cobre está na dependência do tipo de solo e, principalmente, ao teor de matéria orgânica. Além disso, pôde-se perceber que é possível inferir remotamente a respeito das condições fisiológicas de plantas contaminadas. Grandes alterações foram observadas nos comprimentos de onda do visível, atribuídas a mudanças nas condições bioquímicas das células das folhas, sobretudo concentrações de pigmentos, conforme identificado previamente pela clorose foliar.

Diferenças menos acentuadas puderam ser observadas também nos comprimentos de onda do infravermelho, evidenciando alterações em menor escala na estrutura celular das folhas de plantas contaminadas.

Pretende-se, na continuidade destes estudos, analisar os componentes bioquímicos foliares e estabelecer correlações com a resposta espectral. Além disso, serão realizadas análises da composição físico-química e microbiológica dos solos, complementando as informações obtidas até então, permitindo esclarecer a causa das diferenças observadas no comportamento espectral das folhas analisadas.

Referências

- Assunção, G.V. Interação da radiação eletromagnética com a planta. In: **O Sensoriamento Remoto na Agricultura: Conceitos Básicos, Metodologia e Aplicações**. INPE (4806-MD/39) 1989. .
- Giovannini, E. Toxidez por cobre em vinhedos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, n.2, p. 115-117. 1997.
- Gitelson, A.A.; Merzlyak, M.N. Non-destructive assessment of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in higher plant leaves: Principles and algorithms. **In press**. 2002.
- Panou-Filothou, H.; Bosabalidis, A.M.; Karataglis, S. Effects of copper toxicity on leaves of oregano (*Origanum vulgare* subsp. *Hirtum*). **Annals of Botany** v. 88, p. 207-214. 2001.
- Pañuelas, J.; Filella, I. Visible and near-infrared reflectance techniques for plant physiological status. **Trends in Plant Science**, v. 3, n.4, p. 151-156. 1998
- Sims, D.A.; Gamon, J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 337-354. 2002