

## Variação espectral de clones de seringueira utilizando imagens hiperespectrais do sensor aerotransportado ProSpecTIR-VS de duas datas do final do outono

Cibele Hummel do Amaral<sup>1</sup>  
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida<sup>1</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho<sup>2</sup>  
Lucíola Alves Magalhães<sup>2</sup>  
Marcos Nopper Alves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo – IGc/USP  
Rua do Lago, 562 - 05508-080 - São Paulo - SP, Brasil  
{chamaral, talmeida}@usp.br

<sup>2</sup>Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas – IG/UNICAMP  
Caixa Postal: 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
{beto, luciola}@ige.unicamp.br

<sup>3</sup>Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas - Universidade Estadual de Campinas – CPQBA/UNICAMP  
Caixa Postal: 6171 - 13081-970 - Campinas - SP, Brasil  
mnopper@cpqba.unicamp.br

**Abstract.** This study aimed to test spectral vegetation indices for the observation of senescence, mid to late fall, two rubber tree clones in an experimental planting 23 years old, located in Paulínia (SP). The study area has 1972.0 square meters, occupied by two plots of clonal variety PB235 and one plot of variety clonal GT1. The images obtained for this research (ProSpecTIR-VS) have 357 bands, each with about 5nm distributed in the VIS/NIR (125) and SWIR (238) and spatial resolution of 1m. The image occurs on May 14, 2010 and June 17, 2010. We generated spectral vegetation indices, according to Almeida and Souza Filho (2004) and Ustin (2008), for enhancement of leaf biochemical compounds and water, for the two dates of the study. The goals set for this study were successfully met, from the hyperspectral data used in the study, it was possible to observe the process of senescence of the plantation, as well as differentiate the spectral characteristics of the different clones and plots. Hyperspectral images ProspecTIR-VS show itself as an important tool for advancement of remote sensing of vegetation for the country, contributing to the improvement of studies of plant physiology, as well as the progress of forestry and agronomy monitoring.

**Palavras-chave:** hyperspectral remote sensing, spectral vegetation indices, tree rubber clones, sensoriamento remoto hiperespectral, índices espectrais de vegetação, clones de seringueira.

### 1. Introdução

Pertencente à família Euphorbiaceae, o gênero *Hevea*, nativo da região amazônica, apresenta 11 espécies, sendo o principal representante histórico-comercial a espécie *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.D. de Juss.) Muell.-Arg.. Sua domesticação iniciou-se há cerca de 120 anos (Gonçalves et al., 2006), embora o interesse no estudo de sua cultura tenha sido despertado apenas em 1951, quando o país tornou-se exportador de borracha natural (látex), seu principal produto comercial. A fim de estabelecer plantios resistentes a pragas, mais produtivos e adaptáveis a diferentes condições edafoclimáticas, o melhoramento genético foi inevitável para o sucesso da cultura no Brasil, principalmente no estado de São Paulo - maior produtor nacional.

Um clone se constitui de um grupo de plantas obtidas através da propagação vegetativa de uma planta matriz e todas as árvores de um clone possuem a mesma constituição genética, responsável pela uniformidade existente entre elas, embora seja possível observar variações das plantas dentro de um plantio clonal pelo uso de porta-enxertos oriundos de sementes comuns, que apresentam grande variabilidade genética (Gonçalves, 1998).

A adaptabilidade de um clone a determinada região está relacionada à resistência do mesmo aos diversos fatores de cada localidade que podem influenciar a produtividade e a sanidade do seringal, sendo eles abióticos (velocidade do vento, umidade atmosférica, frequência de geadas, disponibilidade hídrica e intensidade e duração da estação seca) ou bióticos (ataques de pragas, como o *Microcyclus ulei* - mal-das-folhas - e o *Colletotrichum gloeosporioides* - antracnose-das-folhas).

Um estudo pioneiro utilizando imagens SpectRIR para observação e mapeamento da senescência/stress de três espécies do gênero *Pinus* foi realizado com sucesso na Georgia (Ustin, 2008) e, desta forma, o presente estudo objetivou testar índices espectrais de vegetação e razões de bandas para observação da senescência, do meio para o final do outono, de dois clones de seringueira em um plantio experimental com 23 anos de idade, localizado em Paulínia (SP).

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1. Área e objeto de estudo

A área de estudo está localizada nas coordenadas (centrais) 22°47'52.31"S e 47°6'26.95"W e situa-se na Fazenda Experimental do Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas da Universidade Estadual de Campinas (CPQBA-UNICAMP), em Paulínia, estado de São Paulo. Apresenta 1.972,0m<sup>2</sup>, ocupados por dois talhões clonais da variedade PB235 e um talhão clonal da variedade GT1 (Figura 1).

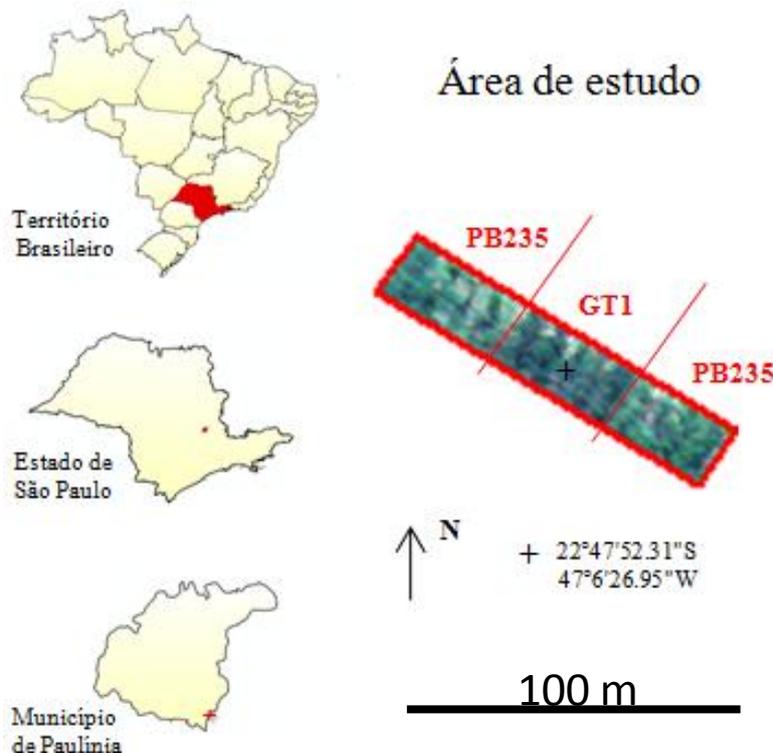


Figura 1. Localização da área de estudo.

Os três talhões da área de estudo foram projetados com oito árvores por linha, espaçamento de 3,0m entre árvores e 7,0m entre linhas, totalizando 40 indivíduos por talhão. Estes apresentam, atualmente, 23 anos de idade (Figura 2). De acordo com Gonçalves (1999) o Clone PB235 é um clone secundário Malaio resultante do cruzamento dos clones primários PB 5/51 x PB 5/51. A árvore possui caule muito reto, regular e boa compatibilidade com relação ao enxerto e porta-enxerto. Quando jovem, possui em sua base muitos galhos pequenos, dispostos horizontalmente. As árvores adultas revelam uma formação de galhos bastante homogênea, ocorrendo entre os seis e os dez anos um desbaste natural que proporciona o aparecimento de novos ramos mestres situados muito altos e com ângulo bem definido. As folhas são de coloração verde bem acentuada. Na Costa do Marfim, apresenta senescência parcial, pois o desfolhamento total praticamente não ocorre. Em Marília, também no Planalto Paulista, tem demonstrado estrutura e permeabilidade de copa, sendo tolerante ao vento. Já o Clone GT1 é um clone primário desenvolvido no seringal Gondang Tapen, em Java, Indonésia. A árvore, de caule bem vertical, pode apresentar irregularidades, tais como estrias ou torções na região do enxerto, sendo sinais de incompatibilidade. A abertura da copa é bastante tardia e de hábito variável, pois algumas árvores não apresentam galhos líderes, enquanto outras possuem vários. As árvores jovens são altas e tendem a entortar quando a formação dos galhos é tardia. As folhas, durante o período de imaturidade, são grandes, verde-escuras e brilhantes, e menores quando a árvore atinge a fase adulta.



Figura 2. Plantios clonais das variedades PB235 (A) e GT1 (B), ambos com 23 anos de idade (registros fotográficos de nov./2010).

## 2.2. Sensor hiperespectral ProSpecTIR-VS

O sensor ProSpecTIR-VS trabalha com dois sub-sistemas de imageamento: um na região do visível/infravermelho próximo (400 a 990nm) e outro na região do infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético (970 a 2.500nm), denominados *Eagle* e *Hawk*, respectivamente. O sub-sistema VNIR pode gerar dados com até 256 bandas a uma resolução espectral entre 2,3 e 20nm e três resoluções espaciais (0,52m, 0,67m e 1,2 m), a depender da lente focal e altura de vôo. Para a região do SWIR a resolução espectral é de 8,3nm, até 254 bandas e, da mesma forma que o imageamento na região do VNIR, pode operar com três resoluções espaciais (1,31m, 1,62m e 3,34m). O sensor, enquanto operante no Brasil, foi posicionado a bordo de uma aeronave da empresa SPECTIR/FOTOTERRA (Figura 3) e os parâmetros de aquisição, como resolução espectral, número de bandas e resolução espacial são definidos pelo usuário ao solicitar o imageamento de uma área.

As imagens obtidas para esta pesquisa apresentam 357 bandas, com cerca de 5nm cada, distribuídas nas regiões do VIS/NIR (125) e SWIR (238) e resolução espacial de 1m. Os imageamentos ocorreram em 14 de maio de 2010 e em 17 de junho de 2010. Os dados foram

entregues no nível 1A de processamento e no sistema de projeção UTM 23S e datum WGS 84.

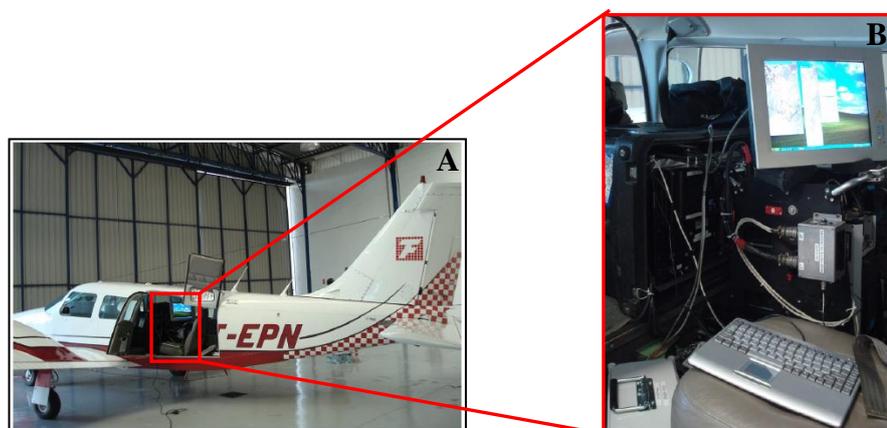


Figura 3. Aeronave da empresa SPECTIR/FOTOTERRA (A) e sensor hiperespectral aeroportado ProSpecTIR-VS (B).

### 2.3. Processamento das imagens ProSpecTIR-VS

Os pré-processamentos e processamentos das imagens ProSpecTIR-VS foram realizados no programa ENVI 4.7. Inicialmente, as imagens de refletância foram georreferenciadas a partir de seus respectivos arquivos GLT (Geographic Lookup Table), fornecidos pela SPECTIR/FOTOTERRA. Para aplicação das máscaras de interesse sobre as imagens das diferentes datas (14 mai. e de 17 jun. 2010, foram gerados regiões de interesse (ROI) e vetores (EVF) do seringal e dos talhões separadamente: (lado esquerdo), e (lado direito).

Foram gerados índices espectrais (Tabela 1), de acordo com Almeida e Souza Filho (2004) e Ustin (2008), para o realce de água e compostos bioquímicos foliares, das duas datas do estudo. Também foram obtidas, para os diferentes talhões, as estatísticas das razões de bandas utilizadas no realce da água e dos compostos foliares, a fim de se obter uma comparação numérica entre os valores médios dos DNs (*Digital Numbers*) e seus desvios padrões, bem como das razões Junho/Maio que indicam o aumento/redução dos compostos e água foliares.

Tabela 1. Razões de bandas geradas para o realce de compostos bioquímicos e água foliares, de acordo com Almeida e Souza Filho (2004).

Compostos bioquímicos	Razões utilizadas	
	Comprimentos de onda (nm)	Bandas
$\alpha$ -carotenos	520.6/442.6	28/11
Antocianina	511.4/529.8	26/30
Água foliar	1007.5/1451.0	127/198
Nitrogênio	1732.6/1701.3	243/238
Lignina	1026.5/2101.9	130/302
Celulose	2202.1/2402.3	318/350
Carotenóides	539.0/493.1	32/22
Clorofila a	460.9/420.4	15/06
Clorofila a'	807.1/638.7	88/53
Clorofila b	520.6/470.1	28/17
Clorofila b'	807.1/648.2	88/55

### 3. Resultados e Discussão

Os valores médios dos DN's (*Digital Numbers*) e seus desvios padrões para os diferentes talhões (GT1, PB235-E e PB235-D) para as duas datas estudadas (14 mai. e 17 jun. 2010) (Tabela 2), bem como as razões Junho/Maio dos valores médios dos DN's (Tabela 3), estão apresentados a seguir.

Tabela 2. Valores médios dos DN's (X) e desvios padrões (S) para os diferentes talhões (GT1, PB235-E e PB235-D) nas duas datas estudadas (14 mai. e 17 jun. 2010).

Compostos bioquímicos	GT1				PB235 - E				PB235 - D			
	Maio		Junho		Maio		Junho		Maio		Junho	
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S
$\alpha$ -carotenos	1,54	0,59	1,38	0,51	1,54	0,75	1,28	0,62	1,70	0,55	1,47	0,46
Antocianina	0,65	0,24	0,67	0,25	0,58	0,28	0,60	0,29	0,64	0,20	0,67	0,21
Água foliar	2,45	1,00	2,12	0,85	2,18	1,13	2,02	1,03	2,46	0,88	2,03	0,68
Nitrogênio	0,80	0,29	0,81	0,29	0,75	0,35	0,75	0,35	0,84	0,25	0,84	0,26
Lignina	3,12	1,29	2,57	1,06	2,69	1,46	2,42	1,26	3,06	1,14	2,35	0,81
Celulose	2,95	1,19	2,95	1,12	2,86	1,47	2,80	1,36	3,16	1,08	3,05	0,99
Carotenóides	1,56	0,59	1,48	0,55	1,52	0,74	1,43	0,69	1,75	0,57	1,61	0,51
Clorofila a	1,67	0,88	1,09	0,42	1,64	0,98	1,01	0,50	1,84	0,91	1,16	0,38
Clorofila a'	5,97	2,70	3,90	1,61	5,07	3,08	4,06	2,22	5,92	2,56	3,96	1,48
Clorofila b	1,33	0,49	1,30	0,48	1,29	0,61	1,20	0,57	1,45	0,45	1,38	0,42
Clorofila b'	6,21	2,87	4,04	1,70	5,26	3,26	4,19	2,33	6,19	2,76	4,09	1,58

Tabela 3. Razões Junho/Maio (17 jun. e 14 mai. 2010) dos valores médios dos DN's para os diferentes talhões (GT1, PB235-E e PB235-D).

Compostos bioquímicos	GT1	PB235-E	PB235-D
$\alpha$ -carotenos	0,897	0,836	0,870
Antocianina	1,031	1,036	1,052
Água foliar	0,864	0,930	0,828
Nitrogênio	1,002	0,997	1,002
Lignina	0,824	0,898	0,768
Celulose	1,000	0,979	0,966
Carotenóides	0,947	0,943	0,918
Clorofila a	0,653	0,615	0,630
Clorofila a'	0,652	0,800	0,668
Clorofila b	0,976	0,932	0,947
Clorofila b'	0,651	0,797	0,661

Observando separadamente os três talhões pode-se observar que, mesmo que de forma tênue, as razões Junho/Maio dos valores médios de alfa-carotenos, celulose, carotenóides, clorofila a e clorofila b foram maiores para o clone GT1 do que para o clone PB235. Também de forma diagnóstica a razão Junho/Maio dos valores médios de antocianina foi menor para o clone GT1, do que para o clone PB235. Estes valores indicam que, mesmo em se tratando de clones de uma mesma espécie, as diferenças genéticas das duas variedades refletiram na diferenciação morfológica de determinados órgãos da planta e, portanto, as concentrações de

compostos bioquímicos ocorrem também de forma diferenciada. Mesmo que em condições edáficas homogêneas, a evolução entre 14 de maio e 17 de junho da maior parte dos parâmetros estudados deu-se de forma diferenciada entre os clones. Considerando os parâmetros que indicaram um padrão de comportamento, ou seja, que o valor médio do clone GT1 tenha sido ou inferior ou superior aos valores médios de ambos os talhões do clone PB235, verificou-se ter ocorrido diferenças maiores ou iguais a 4% nas variações dos pigmentos clorofila a, clorofila b e  $\alpha$ -caroteno entre os clones e variações menores em antocianina. Já considerando as respostas médias por talhão, destacam-se os maiores valores encontrados para o talhão PB235-E nas clorofilas a' e b', com valores 20% superiores ao do talhão PB235-D. Esta diferença, considerando a homogeneidade edáfica, pode estar relacionada com o posicionamento do mesmo - na porção noroeste da área estudada - sendo o único cercado apenas por campos abertos e, desta forma, recebendo uma maior insolação. Assim, suas taxas fotossintéticas tornam-se maiores e, conseqüentemente, as concentrações de clorofilas também.

Dentre as razões Julho/Maio dos diferentes clones da área estudada é interessante destacar, para os três, o aumento da antocianina e a redução da água foliar e das clorofilas a, a', b e b', estas constatações se devem possivelmente ao avanço, que ocorre entre as duas datas estudadas, ao período de estiagem e à proximidade do inverno da segunda data do estudo (17 jun.). A indisponibilidade hídrica, a redução do fotoperíodo e a diminuição da temperatura, induzem a senescência das folhas, com redução das clorofilas e aumento de outros pigmentos foliares, como a antocianina. De acordo com dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIAGRO (consulta Internet, 2010), na semana de 13 a 16 de maio de 2010, considerando as medidas de profundidade do solo de 25, 50, 75 e 100cm, apenas a 100cm de profundidade havia disponibilidade hídrica, condição considerada prejudicial ao desenvolvimento vegetal; já na semana de 17 a 20 de junho de 2010, a indisponibilidade de água era presente inclusive a 100cm de profundidade no solo, condição considerada crítica (extrema) ao desenvolvimento vegetal, explicando a redução dos valores médios dos DN's para água foliar.

Neste processo de senescência as folhas são geneticamente programadas para morrer (Taiz e Zeiger, 2002) para que neste período, onde há indisponibilidade hídrica, redução do fotoperíodo e diminuição da temperatura, a planta reduza seus gastos de energia. Desta forma, pelo processo de abscisão foliar há perda de folhas e, conseqüente diminuição do dossel florestal, como pode ser observado no NDVI<sub>750</sub> (*Red-edge Normalized Difference Vegetation Index*) - NDVI adaptado para dados hiperespectrais - na Figura 4.

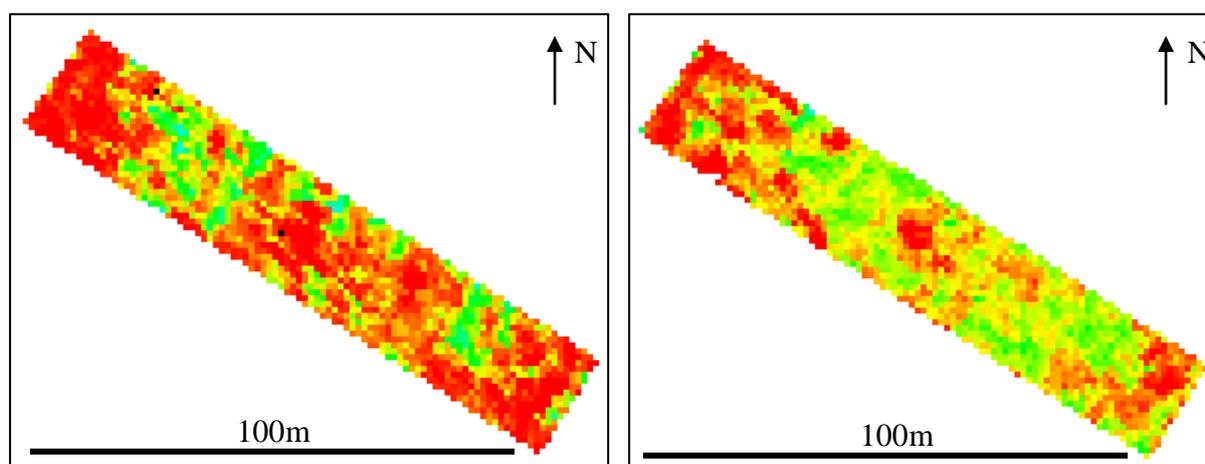


Figura 4. NDVI<sub>750</sub> (*Red-edge Normalized Difference Vegetation Index*) do seringal estudado: de 14 de maio de 2010 (A) e de 17 de junho de 2010 (B). Variação gradual crescente: verde à vermelho.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos permitem demonstrar a notável sensibilidade do sensor hiperespectral ProSpecTIR-VS ao permitir a identificação do processo de senescência do seringal ocorrido em intervalo de 33 dias ao fim do outono, tanto do ponto de vista da água foliar como de diversos pigmentos e compostos bioquímicos foliares. A identificação dos dois clones foi também feita com sucesso, em que pese a dificuldade inerente ao se trabalhar com dois cultivares da mesma espécie e enxertados em porta-enxerto de alta variedade genética, como era padrão metodológico à época do plantio. Assim considera-se ter atingido os objetivos traçados para a pesquisa mesmo sem explorar *in totum* a potencialidade das imagens que, assim, demonstram ser uma importante ferramenta para o avanço do sensoriamento remoto da vegetação em países tropicais, podendo contribuir com o aperfeiçoamento dos estudos de ecofisiologia vegetal, bem como com o avanço do monitoramento florestal e agrônomico.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à PETROBRAS pela concessão das imagens ProSpecTIR-VS, ao Dr. Paulo Gonçalves do Instituto Agrônomico de Campinas pela ajuda no reconhecimento dos clones e à FAPESP pela concessão de auxílio pesquisa (processo 2010/51758-2). Cibele Hummel do Amaral agradece à FAPESP pela bolsa de doutorado.

#### Referências Bibliográficas

Almeida, T. I. R.; Souza Filho, C. R. Principal Component Analysis applied to feature-oriented band ratios of hyperspectral data: a tool for vegetation studies. **International Journal of Remote Sensing**, Inglaterra, v. 25, n. 22, p. 5005-5023, 2004.

Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO. **Monitoramento agrometeorológico**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/ menunonagro.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2010.

Gonçalves, P. de S. Recomendação de clones de seringueira para o Estado de São Paulo. In: Gonçalves, P. de S.; Benesi, J. F. C. (eds) **Ciclo de Palestras Sobre a Heveicultura Paulista**, 1, 1998. Barretos. **Anais...** Barretos: SAA: APABOR, 1999, p. 115-140. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro\\_cafe/seringueira/PubPDF/Recomendacao\\_clones.PDF](http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/seringueira/PubPDF/Recomendacao_clones.PDF)> Acesso em: 10 jun. 2010.

Gonçalves, P. de S.; Aguiar, A. T. da E.; Gouvêa, L. R. L. Expressão fenotípica de clones de seringueira na região Noroeste do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.26, n.3, p.389-398, 2006.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Plant physiology**. 3.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690p.

Ustin, S.L. Analysis of hyperspectral remote sensing to detect and map tree decline at Ft. Benning, Georgia. **Army Cooperative Agreement: W912DY-06-2-0023**. 2008. 33p. Disponível em: <[http://www.spectir.com/assets/Text%20Files/Hyperspectral\\_analysis\\_of\\_pine\\_decline\\_Ft\\_Benning\\_GA.pdf](http://www.spectir.com/assets/Text%20Files/Hyperspectral_analysis_of_pine_decline_Ft_Benning_GA.pdf)> Acesso em: 16 jun. 2010.