

ASPECTOS FOTOMORFOGENÉTICOS DE PLANTAS JOVENS DE ERVA-MATE RAKOCEVIC, M.¹, MEDRADO M.J.S.¹; TAKAKI M.²

RESUMO

O objetivo deste experimento foi determinar as respostas fotomorfofenéticas de erva-mate na fase juvenil em condições controladas, para o estudo de estratégias utilizadas pela espécie na sombra. O crescimento de mudas de erva-mate foi acompanhado na câmara climatizada (fitotron), com período diurno de 12 horas com fluxo de fótons de radiação fotossinteticamente ativa (PPFD) de $510\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, razão vermelho: vermelho extremo (V:VE) de 2,35, temperatura de 25°/18°C e umidade relativa de 80%. No fim do dia (tratamento EOD), durante 1 hora e 15 minutos, as plantas foram submetidas à radiação de intensidade reduzida - à sombra, simulando a radiação no nível de sub-bosque de V:VE = 0,31 com PPFD = $13\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e à sombra do sub-bosque profundo e denso de V:VE = 0,06 com PPFD = $7,2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. As observações foram realizadas a cada 10 dias. As plantas de erva-mate sob tratamento de sombra no fim de dia com V:VE = 0,31 alongaram o caule mais rápido que as plantas submetidas aos tratamentos V:VE = 0,06 e controle (V:VE = 2,35). As plantas mais sombreadas (EOD V:VE=0,06) mostraram menor emissão de folhas quando comparadas com as plantas controle. Tanto plantas na sombra menos severa (EOD V:VE = 0,31) quanto plantas mais sombreadas (EOD V:VE = 0,06), mostraram o aumento de área foliar total por planta, embora com o número total de folhas menor. Assim, as plantas jovens de erva-mate mostraram respostas de “shade - avoiding” ao gradiente de sombra, com estratégia de aumento de área foliar individual.

Palavras chave: alongamento do caule, área foliar, razão V:VE.

THE PHOTOMORPHOGENETIC ASPECTS OF YERBA MATE SEEDLINGS

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the photomorphogenetic responses of young plants of yerba under controlled conditions, for understanding of its strategies under shade. The growth of yerba mate seedlings was followed in climatic chamber, with 12 hours of diurnal period provided with photon photosynthetic flux density (PPFD) of $510\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, with red: far red ratio (R:FR) of 2.35, temperature of 25/18°C, and 80% of relative humidity. At the end of day plants were submitted to reduced radiation during 1 hour and 15 minutes, to simulate a shade of forest understorey defined by R:FR = 0.31 and PPFD = $13\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and a deep shade of profound and dens understorey defined by R:FR = 0.06 and PPFD = $7.2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (EOD treatments). Plant growth was analyzed every ten days. Under EOD treatment with R:FR = 0.31 plants of yerba mate elongated the stem more quickly than those submitted to EOD R:FR = 0.06 or control (R:FR = 2.35). Plants on deep shade (R:FR = 0.06) showed the lower leaf emission compared to control. Plants from both shade treatments (EOD F:FR = 0.31 and 0.06) increased the total leaf area per plant, even with lower leaf number. Thus, the young yerba

¹ Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira km 111, 83411-000 Colombo, Paraná, Brasil,
e-mail: mima@cnpf.embrapa.br, medrado@cnpf.embrapa.br

² UNESP, Departamento de Botânica, Avenida 24A 1515, Bela Vista, 13506-900 Rio Claro, São Paulo, Brasil,
e-mail: massa@rc.unesp.br

mate plants showed the shade avoiding responses to shade gradient, with a strategy of increase in individual leaf area.

Key words: stem elongation, leaf area, R:FR.

INTRODUÇÃO

O sombreamento envolve modificações qualitativas e quantitativas da luz incidente nas folhas das camadas mais inferiores do dossel. As folhas absorvem grande parte da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) pelos pigmentos fotossintetizantes, isto é, a faixa entre 400-700nm, mas a sua absorção é preferencialmente situada na faixa de onda vermelha (V) e azul (SALISBURY & ROSS, 1992) e sua absorção em vermelho extremo (VE) é fraca (BONHOMME, 1993). A radiação não absorvida é refletida ou transmitida pela superfície da folha do dossel, causando um aumento relativo na faixa de verde e VE no microclima luminoso das plantas vizinhas (BALLARÉ et al. 1990) e no dossel inferior (HOLMES & SMITH, 1975; VARLET-GRANCHER et al. 1993). Para detectar seu ambiente de luz (quantidade, qualidade e duração), a folha possui um sistema fotorreceptor, os fitocromos (QUAIL et al. 1995, DEVLIN et al. 1999) que intermediam muitas respostas ao sombreamento pela vegetação, por mudanças sensíveis na razão V:VE (WHITELAM, 1995; DEVLIN et al. 1998).

As plantas desenvolveram dois sistemas opostos como resposta na competição pela luz: tolerância à sombra e intolerância à sombra (“shade avoidance”). As plantas tolerantes à sombra têm menor plasticidade de respostas que as plantas que evitam a sombra (“shade avoiders”) (SACK & GRUBB, 2002) e conseguem manter a estrutura da planta, com funções reduzidas (fotossíntese, respiração). A primeira resposta visível na sombra, ou na modificação da qualidade do microclima luminoso (baixo V: VE), na estratégia de evitar a sombra na maioria das espécies, é o alongamento do caule (SEAVERS & SMITH, 1998; APHALO et al. 1999) mas, outras respostas fotomorfológicas podem ser acentuadas, por exemplo o alongamento de pecíolo do trevo branco (RAKOCEVIC, 1997; GAUTIER et al. 2000), alongamento da lamina foliar de *Rumex acetosa* (RAKOCEVIC et al. 1997), redução de ramificação de *Lolium multiflorum* (CASAL et al. 1990), redução do número de folhas emitidas e aumento de área foliar por folha de *Potentilla sp.* (STUEFER & HUBER, 1998). Também, reações fotomorfológicas de algumas espécies florestais, especialmente do Hemisfério Norte, foram determinadas (VARLET-GRANCHER & GAUTIER, 1995), a partir de metodologias que se baseiam na interpolação de respostas fotomorfológicas de plantas jovens para o comportamento geral da espécie..

A erva-mate é caracterizada como planta esciófila, aceitando sombra em qualquer idade, embora tolerando mais luz na fase adulta (CARVALHO, 1994). Resultados de respostas produtivas, morfológicas ou fisiológicas desta espécie à radiação, em ambiente natural e em condições controladas, são encontradas na literatura. Assim, GALVÃO (1986) observou que o período de maior resposta anual de fotossíntese líquida de erva-mate ocorre de outubro - novembro até janeiro - fevereiro e que o limite para uso atual é a radiação expressa em Lux, que é a medida de iluminação de ambiente, no entanto, não tem relação com a forma de energia que as plantas usam os recursos radiativos, que é expresso em fótons. Devido à importância que o tema vem apresentando, ultimamente no Brasil, a Embrapa Florestas, em parceria com o Campus de Erechim-RS da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões - URI, começou a desenvolver estudos ecofisiológicos, relacionando o processo de crescimento e desenvolvimento da erva-mate com a radiação (ver nestes anais RAKOCEVIC, VALDUGA & MEDRADO; GAIAD, & RAKOCEVIC).

O objetivo principal deste estudo foi determinar as respostas fotomorfológicas de erva-mate na fase juvenil em condições controladas, como contribuição para o estudo da adaptabilidade e estratégias utilizadas pela espécie na sombra.

MATERIAL E MÉTODOS

Mudas de erva-mate estabelecidas em casa de vegetação a partir de sementes foram transplantadas no mês de agosto, quatro meses após a repicagem, para recipientes de polietileno, com capacidade para 1,3 kg de solo, e transferidas para uma câmara de condições controladas – fitotron. O solo utilizado para o preenchimento dos recipientes foi um Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa.

As plântulas foram deixadas no fitotron para adaptação durante 15 dias, depois dos quais foram expostas diariamente no fim do dia (“end of day” tratamento - EOD), a tratamentos de sombra, com a qualidade e quantidade da radiação reduzida, simulando as condições de sombra de dossel inferior de uma floresta densa, perto do solo. EOD é uma forma de experimentação muito usada para testar a estratégia e sensibilidade de crescimento de plantas na sombra até o envolvimento de tipos de fitocromos (HALLIDAY et al. 1999). Ela apresenta o sombreamento com a razão V:VE e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) reduzidas no fim de dia, antes de fase de noite, com a duração dependente de experimento e espécie (ver mais em VARLET-GRANCHER & GAUTIER, 1995).

As condições controladas compreenderam: fotoperíodo de 12/12 horas (PAR = $510\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ e V:VE = 2,35), temperaturas de 25/18°C e umidade relativa de 80%. As plantas representativas do controle foram submetidas ao fotoperíodo diurno de 12 horas, enquanto as plantas de sombra simulada foram cobertas depois de 10 horas e 45 minutos de luz, no “final do dia” (EOD) durante 1 hora e 15 minutos.

As condições de sombra clorofiliana simulada (razão V:VE diminuída) foram estabelecidas com o uso de filtros Rosco (Rosco do Brasil). Os filtros foram posicionados no topo de caixas com medidas de 60x80x100 cm, construídas de hastes de alumínio e vestidas com placas de manta isotérmica (contendo papel alumínio dos dois lados para assegurar a homogeneidade de radiação dentro de caixas). A sombra simulando a radiação de vermelho : vermelho extremo (V:VE) de 0,31, no nível de sub-bosque, foi efetuada com filtro vermelho claro (N° 26) e Trudy azul (N° 78), dando PAR = $13\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. A sombra do sub-bosque profundo e denso de V:VE = 0,06 foi obtida através da combinação de filtro vermelho claro (N°26) e violeta pálida (N° 355) e lavanda real (N° 357) dando PAR = $7,2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

A terceira caixa foi construída com filtro transparente para o controle, com a finalidade de manter o regime térmico igual entre tratamentos. Dez mudas foram sombreadas para cada tratamento antes de 12 horas de noite. As caixas foram colocadas e retiradas diariamente, sempre na mesma hora. As plantas foram regadas diariamente.

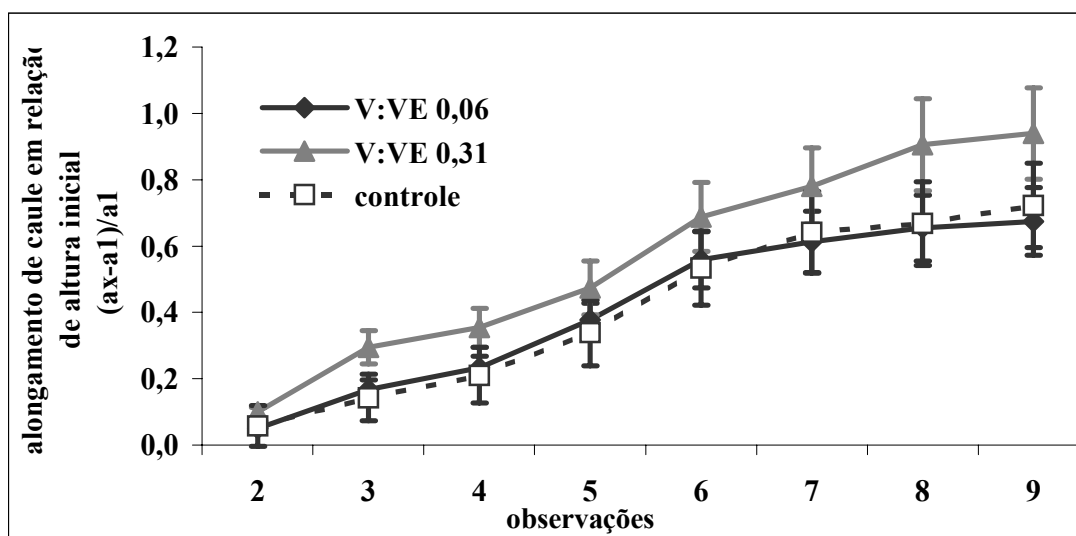
Na seqüência de cada 10 dias foram observados os caracteres morfológicos: comprimento de entrenós, número de folhas, comprimento e largura das folhas (estes dois últimos, para fins de cálculo comparativo de área foliar por planta).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de erva-mate sob tratamento de sombra no fim de dia com V:VE = 0,31 alongaram o caule mais rápido que as plantas submetidas aos tratamentos V:VE = 0,06 e controle (V:VE = 2,35). As diferenças significativas foram observadas a partir de terceira observação (depois de 20 dias de sombreamento) e permaneceram significativas entre dois

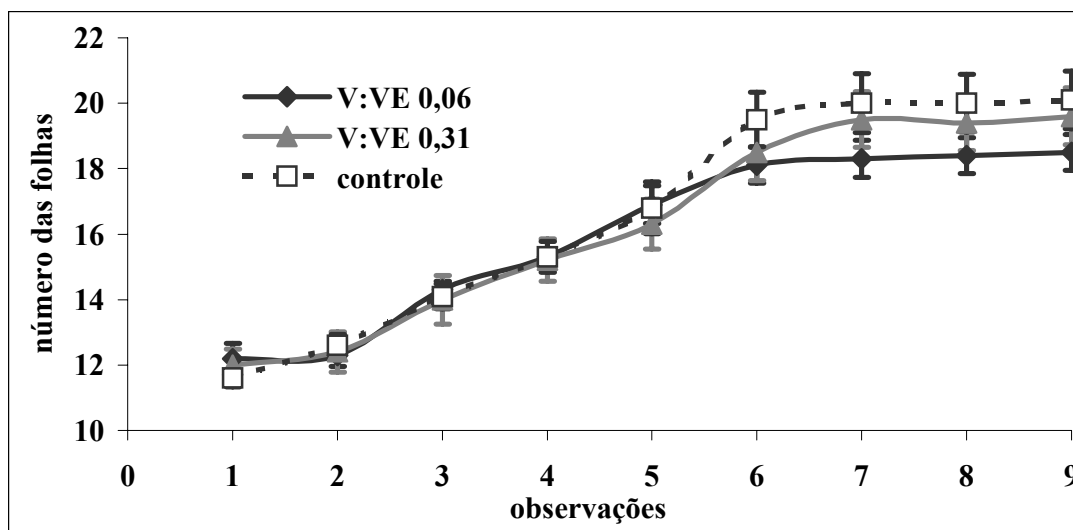
sombreamentos (EOD V:VE de 0,06 e de 0,31) até fim de experimento. As plantas expostas à sombra simulada de 0,31 alongaram os caules com maior intensidade.

Figura 1: Alongamento de caule na sombra clorofiliana simulada



Em relação ao número de folhas produzidas, um caracter que facilmente pode modificar-se na estratégia de adaptação da planta na sombra, depois de dois meses de tratamento, as plantas de sombra profunda (EOD V:VD=0,06) mostraram menor emissão de folhas comparando se com controle (Figura 2).

Figura 2: Número de folhas das plantas de erva mate na sombra clorofiliana simulada

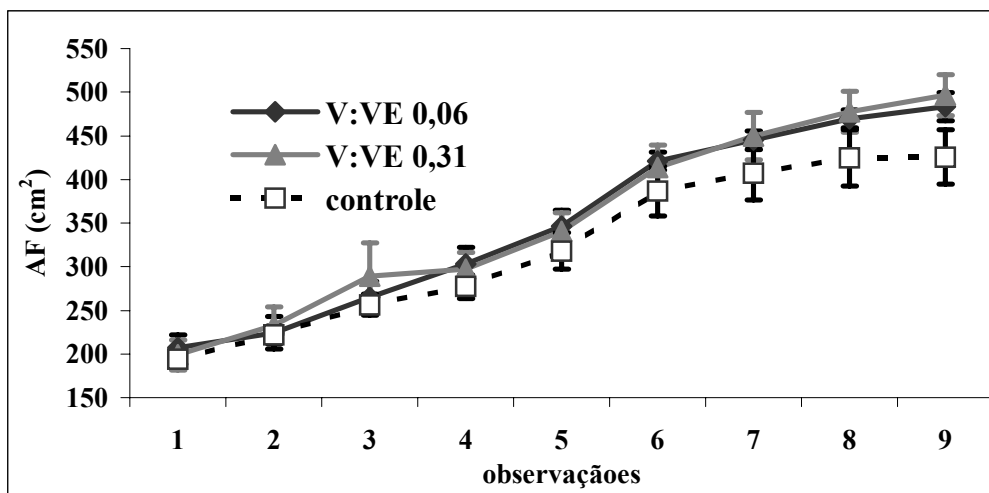


Tanto as plantas na sombra moderada (EOD V:VE = 0,31) quanto as plantas na sombra profunda (EOD V:VE = 0,06), mostraram o aumento de área foliar total por planta, mesmo com o número total de folhas menor (Figura 2). Isto ocorreu em função das plantas sombreadas, com menor quantidade de folhas, terem desenvolvido folhas de maior área a partir de dois meses e meio da aplicação dos tratamentos (observação 8 na Figura 3).

Assim, a estratégia geral de plantas jovens de erva-mate mostrada na sombra foi compensar a diminuição do número de folhas e entrenós (Figura 2), com o aumento da área foliar (Figura 3). Na sombra menos severa (EOD V:VE = 0,31) em comparação à sombra profunda (EOD V:VE = 0,06) a altura de plantas aumenta.

Em três meses de observações, percebeu-se que no último mês a erva-mate quase parou de emitir folhas (Figura 2), enquanto que o alongamento do caule continuava (Figura 1), mesmo com menor intensidade, dentro de entrenós já estabelecidos. Isso indica a necessidade de seguir o fenômeno de periodicidade desta espécie.

Figura 3: Área foliar por planta de erva mate na sombra clorofiliana simulada



A estratégia de erva-mate de investir no alongamento de caule na sombra profunda (EOD V:VE = 0,31), que é a síndrome de evitar a sombra. Entretanto, na sombra extremamente profunda (EOD V:VE = 0,06), as mudas investiram mais no aumento da área foliar por folha que na extensão do caule.

Isso mostra que o programa interno desta espécie é a competição para luz até o ponto em que as plântulas podem competir. Na sombra extremamente profunda elas modificam a estratégia passando a manutenção da estrutura da planta, investindo mais na área maior das folhas, possivelmente esperando a abertura de uma clareira. Na sombra profunda elas investem no aparelho assimilatório, para que a radiação extremamente reduzida seja mais bem aproveitada na manutenção da planta. Existem muitas espécies que não conseguem adaptar o programa de crescimento e continuam com alongamento de caule ou de pecíolos, como é o caso do trevo branco (RAKOCEVIC, 1997), que compete até usar todos os recursos e finalmente desaparecer no dossel inferior em condições de sombra profunda e de competição com gramíneas sob as árvores.

Os mecanismos de controle de evita a sombra (“shade avoidance”) envolvem pelo menos três das cinco formas de fitocromo (FiA... FiE) em *Arabidopsis thaliana* pela regulação de expressão de genes ou pela alteração da distribuição de auxina (MORELLI & RUBERTI, 2002) e modificação do balaço hormonal. A síndrome de evitar a sombra redireciona principalmente os recursos e potencial de crescimento de folhas e órgãos de reserva para o crescimento em extensão (alongamento de caule), com a finalidade de atingir e usar melhor o recurso luminoso.

O programa interno de evitar a sombra em erva-mate começa com o alongamento do entrenó, mas na sombra mais intensa esta espécie investe mais na manutenção de estrutura através do aumento de área foliar. Na literatura existem espécies descritas com a modificação

da estratégia de respostas à sombra, como por exemplo, o trevo branco que direciona os recursos no alongamento de estolões e aumento de área foliar individual no início do desenvolvimento na sombra, para modificar a estratégia e depois de 15 dias investir mais no alongamento de pecíolos (RAKOCEVIC, 1997).

CONCLUSÕES

Nas condições em que se realizou o trabalho, pode-se concluir que a erva-mate responde na sombra primeiramente como espécie que compete pela luz (alongando o caule e aumentando a área foliar por planta na razão $V:VE=0,31$), mas se a sombra estiver no limite de manutenção ($V:VE=0,06$ e PAR de $7,2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ela se adapta preservando o seu funcionamento (aumento de área foliar de folha individual, redução na emissão de novas folhas, redução na altura do caule) para esperar as condições de radiação mais favoráveis, que normalmente ocorrem devido a abertura de uma clareira. A percepção do ambiente luminoso por algumas famílias de fitocromos poderia explicar e permitir as respostas diversas da mesma espécie e mesmo do indivíduo. Assim, as plantas jovens de erva-mate mostram respostas de “shade - avoiding” ao gradiente de sombra, adaptando-se através de aumento de área foliar individual.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Guilherme Erthal Risi e Ulysses Rocha Netto, os estagiários de Embrapa Florestas e alunos de UFPR, pela ajuda técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHALO, P. J.; BALLARÉ, C. L.; SCOPEL, A. L. Plant-plant signaling, the shade avoidance response and competition. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, n. 340, p. 1629-1634, 1999.
- BALLARÉ, C. L.; SCOPEL, A. L., SÁNCHEZ, R. A. Far-red radiation reflected from adjacent leaves: an early signal of competition in plant canopies. **Science**, n. 247, p. 329-332, 1990.
- BONHOMME, R. The solar radiation: characterization and distribution in the canopy. In: VARLET-GRANCHER, C; BONHOMME, R.; SINOQUET, H. **Crop structure and light microclimate**: characterization and application. Paris: INRA Editions. 1993. p. 17-28.
- CARVALHO P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: Embrapa CNPF; Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 639 p.
- CASAL, J. J.; SANCHEZ, R. A; GIBSON, D. The significance of changes in the red/far red ratio, associated with either neighbour plants or twilight, for tillering in *Lolium multiflorum* Lam. **New Phytologist**, n. 116, p. 568-572, 1990.

- DEVLIN, P. F.; PATEL, S. R.; WHITELAM G. S. Phytochrome E influences internode elongation and flowering time in *Arabidopsis*. **The Plant Cell**, vol. 10, p. 1479-1488, 1998.
- DEVLIN, P. F.; ROBSON, R. H.; PATEL, S. R.; GOOSEY, L.; SHARROCK, R. A.; WHITELAM, G. C. Phytochrome D acts in the shade-avoidance syndrome in *Arabidopsis* by controlling elongation growth and flowering time. **Plant Physiology**, vol. 119, p. 909-915, 1999.
- GALVÃO, F. **Variação sazonal da fotossíntese líquida e respiração de *Cabrela canjeana* (Vell.) Mart., *Ilex paraguariensis* St. Hil. e *Podocarpus lambretii* Kl. em função da intensidade luminosa e temperatura.** 1986. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Paraná, Curitiba.
- GAUTIER, H.; MÈCH R.,; PRUSINKIEWICH, P.; VARLET-GRANCHER, C. 3D architectural modelling of aerial photomorphogenesis in white clover (*Trifolium repens* L.) using L-systems. **Annals of Botany**, n. 85, p. 359-370, 2000.
- HALLIDAY, K. J.; BOLLE, C.; CHUA, N. H.; WHITELAM, G.C. Overexpression of rice phytochrome a partially complements phytochrome B deficiency in *Arabidopsis*. **Planta**, n. 207, p. 401-409, 1999.
- HOLMES, M. G.; SMITH, H. The function of phytochrome in plants growing in the natural environment. **Nature**, n. 254, p. 775-778, 1975.
- MORELLI, G.; RUBERTI, I. Light and shade in photocontrol of *Arabidopsis* growth. **TRENDS in Plant Science**, v. 7, n. 9, 399-404, sep. 2002.
- QUAIL, P. H.; BOYLAN, M. T.; PARKS, B. M.; SHORT, T. W.; HU, Y.; WAGNER, D. Phytochromes: Photosensory perception and signal transduction. **Science**, n. 268, p. 675-680, 1995.
- RAKOCEVIC, M.; GRUBISIC, D.; VARLET-GRANCHER, C.; KONJEVIC, R. Morphogenetic responses of two-rosette grassland's species (*Achillea millefolium* L. and *Rumex acetosa* L.). In: International Grassland Congress, 18, 1997, Winnipeg and Saskatoon, Canada. **Proceedings**. v. 3/7. p. 13-14.
- RAKOCEVIC, M. Photomorphogenetic responses in plant species of upland grasslands in Serbia. **Review of Research Work at the Faculty of Agriculture**, v. 42, n. 1, p. 111-125, 1997.
- SACK, L.; GRUBB, P. J. The combined impact of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade tolerant woody seedlings. **Oecologia**, n. 113, p. 175-185, 2002.
- SALISBURY F. B., ROSS C.W. **Plant Physiology**. Woodsworth Pub. Co., Belmont, California, 1992. 682 p.

- SEAVERS, G. P.; SMITH, H. The reflectance properties of plant internodes modify elongation responses to lateral far-red radiation. **Plant, Cell and Environment**, n. 20, p. 1372-1380, 1998.
- STUEFER, J. S.; HUBER, H. Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species. **Oecologia**. 117: 1-8, 1998.
- VARLET-GRANCHER, C.; MOULIA, B.; SINOQUET, H.; RUSSELL, G. Spectral modification within plant canopies: how to quantify its effects on the architecture of the plant stand. In: VARLET-GRANCHER, C; BONHOMME, R.; SINOQUET, H. **Crop structure and light microclimate**: characterization and application. Paris: INRA Editions. 1993. p. 427-452.
- VARLET-GRANCHER, C.; GAUTIER, H. Plant morphogenetic responses to light quality and consequences for intercropping. In: SINOQUET, H.; CRUZ, P. **Ecophysiology of Tropical Intercropping**. Paris: INRA Editions. 1995. p.231-256.
- WHITELAM, G. C. The roles of phytochromes A and B and other phytochromes. In: European Symposium on Photomorphogenesis, 2, **Proceedings**. 1995, Barcelona. p. 51.