



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol**



*Elvis Felipe Elli<sup>1</sup>; Braulio Otomar Caron<sup>2</sup>; Elder Eloy<sup>3</sup>; Julia Renata Schneider<sup>4</sup>; Felipe Schwerz<sup>4</sup>; Douglas Machado de Oliveira<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM – CESNORS), Frederico Westphalen - RS, Fone: (55) 9664-7464, elvisfelipeelli@yahoo.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), Frederico Westphalen – RS. otomarcaron@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Prof. Dr. em Engenharia florestal na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), Frederico Westphalen - RS, eloyelder@yahoo.com

<sup>4</sup> Acadêmicos(as) do curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), Frederico Westphalen – RS. – juliaschneider07@hotmail.com - felipe\_schwerz@hotmail.com - douglas.mdo@hotmail.com

**RESUMO:** A eficiência de conversão da radiação solar em fitomassa é uma variável frequentemente utilizada em modelos de simulação do crescimento das culturas, pois a produção de biomassa está relacionada com a eficiência com que uma planta converte energia radiante em química, dada pelo processo da fotossíntese. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) em fitomassa aérea de *Ilex paraguariensis*, cultivada em consórcio (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil. e *Pinus elliottii* Engelm) e solteira. Para tanto, foram determinados a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi), o índice de área foliar e a fitomassa seca das erva-mate sob sombreamento e a pleno sol, sendo então, a eficiência de conversão da RFAi em fitomassa seca produzida calculada por meio da relação entre a produção de fitomassa acumulada e a RFAi envolvida. Para um mesmo valor de radiação RFAi, obteve-se maior eficiência de uso da radiação no acúmulo em matéria seca aérea de *Ilex paraguariensis* cultivada em consórcio. A eficiência de conversão ( $\epsilon_b$ ) de fitomassa seca aérea de plantas de *Ilex paraguariensis* em relação à quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada foi de 0,83 g MJ<sup>-1</sup> no sistema consórcio e de 0,23 g MJ<sup>-1</sup> no sistema solteiro. Apesar disso, a produção de fitomassa aérea por planta de erva-mate foi maior no sistema solteiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** fitomassa, eficiência fotossintética, consórcio.

### **Efficiency of the use of solar radiation for plants *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. cultivated under shadow and full sun**

**ABSTRACT:** The solar radiation conversion efficiency in a variable biomass is often used in models simulating the growth of crops because the biomass is related to the efficiency with which a plant converts radiant energy into chemical, given by the process of photosynthesis. Thus, the aim of this study was to determine the conversion efficiency of solar radiation intercepted photosynthetically active (RFAi) in *Ilex paraguariensis* biomass grown in consortium (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil., and *Pinus elliottii* Engelm) and single. Therefore, we determined the RFAi, the leaf area index and dry mass of seedlings under shade and full sun, and then the RFAi conversion efficiency in dry matter produced calculated by relationship between the production of biomass accumulated and the RFAi involved. For the same RFAi radiation level was obtained higher radiation use efficiency in the build-up on air dry matter of *Ilex paraguariensis* grown in consortium. The conversion efficiency ( $\epsilon_b$ ) of air dry weight of *Ilex paraguariensis* plants relative to the amount of accumulated intercepted photosynthetically active

radiation was 0.83 g MJ<sup>-1</sup> system and the consortium of 0.23 g MJ<sup>-1</sup> in the system single. Nevertheless, the aerial biomass production by biomass for plant was higher in single system.

**KEYWORDS:** fitomassa, efficiency photosynthesis, consortium.

## INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), espécie nativa da Região Sul do Brasil, além da Argentina e do Paraguai, compreende 450.000 km<sup>2</sup> cultivados, constituindo cerca de 5% do território nacional e 3% da América do Sul (Rotta e Oliveira, 2007). Em 2009, 218.102 toneladas de folhas desta espécie foram colhidas no País, onde o maior produtor foi o Paraná, com cerca de 71,8% do total da produção nacional (IBGE, 2010).

De acordo com Mazuchowski et al. (2003), indústrias brasileiras têm dado preferência à erva-mate sombreada e/ou nativa, pois são mais suaves e assim mais aceitas pelo consumidor. Assim, a erva-mate obtida em condições de sombreamento tem gerado melhores preços para o produtor. Estudos avaliando a influência da luz sobre o crescimento vegetal têm indicado que plantas de ambientes sombreados geralmente alocam maior quantidade de biomassa nas folhas e possuem maior área foliar por unidade de massa (Lee et al., 2000).

O crescimento das plantas depende do saldo de matéria seca acumulada pela fotossíntese. Todavia, o cultivo da erva-mate em ambiente sombreados, como verificado em cultivos consorciados, está sujeito à limitação da radiação solar, elemento que desencadeia o processo fotossintético. A radiação fotossinteticamente ativa interceptada por uma cultura que é convertida em fitomassa revela a eficiência do uso da radiação pela espécie (Monteith, 1977). Pode-se então, aplicar tal conhecimento para diversos tópicos de pesquisa, como análise de crescimento de plantas, predição do crescimento e do potencial de produção.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de erva-mate, cultivada em consórcio e solteira.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Frederico Westphalen- RS, sob as coordenadas geográficas 27°23'26"S, 53°25'43"W a 461 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é Cfa (temperatura média do ar dos três meses mais frios compreendidas entre -3 a 18°C, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e temperatura média do ar no mês mais quente maior ou igual a 22°C).

Estudaram-se dois sistemas de cultivo de erva-mate: em consórcio com pinus (*Pinus elliottii* Engel.) e solteiro (cultivadas em pleno sol). No consórcio, as plantas de pinus possuíam 34 anos, altura média de 25 m e circunferência a altura do peito (CAP) média de 1,58 m, sob espaçamento de 8 x 8 m, já as plantas de erva-mate estavam distribuídas num espaçamento de 4 x 4 m. No solteiro, o espaçamento era de 3,10 x 3,10 m. Em ambos os sistemas as erva-mates possuíam a mesma idade, 22 anos.

No consórcio, as plantas de erva-mate possuíam altura média de 2,49 m e CAP média de 21 cm, ao passo que no solteiro, apresentou 2,65 m e 26 cm, respectivamente. A fim de comparação entre os dois sistemas, as plantas no sistema solteiro foram manejadas com um único tronco, como o verificado no consórcio.

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

Foram realizadas determinações de biomassa de folhas, ramos e total (folhas + ramos) de três plantas de erva-mate em cada sistema de cultivo por estação do ano, totalizando 24 plantas avaliadas no decorrer do estudo. No mês de dezembro de 2006, as plantas foram colhidas, considerando-se dessa maneira o ponto inicial das avaliações. As coletas de biomassa foram realizadas no início de cada estação do ano, nos dias 21 de junho, 21 de setembro e 21 de dezembro do ano de 2007, 20 de março e 21 de junho de 2008, respectivamente, início de inverno, primavera, verão, outono e inverno. Dessa maneira, obteve-se a matéria seca acumulada no período estudado.

As avaliações foram realizadas concomitantemente nos dois sistemas de cultivos. Toda a biomassa de ramos e folhas coletada foi seca em estufa com circulação de ar a 60°C até atingirem peso constante, a fim de determinação da matéria seca. De acordo com Monteith (1977), a produção de fitomassa seca pode ser representada pela Equação 1:

$$PFS = \epsilon b * RFAi \quad (1)$$

Em que: PFS = produção de fitomassa seca, g m<sup>-2</sup>;  $\epsilon b$  = eficiência de conversão da RFAi em fitomassa seca produzida, g MJ<sup>-1</sup>; RFAi = radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada, MJ m<sup>-2</sup>.

Dessa forma, a  $\epsilon b$  pode ser calculada por meio da relação entre a produção de fitomassa seca acumulada e a RFAi envolvida na produção de fitomassa. Assim, esta foi ajustada a modelos em que a linha de tendência passa-se pela origem, gerando somente o coeficiente angular ( $\epsilon b$ ) que correspondeu ao valor de eficiência de conversão da RFAi acumulada em fitomassa seca. A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (Varlet-Grancher et al., 1989), pode ser obtida pela Equação 2:

$$RFAi = 0,95 * (RFAinc) * (1 - e^{-k * IAF}) \quad (2)$$

Em que: RFAi = radiação fotossinteticamente ativa interceptada, MJ m<sup>-2</sup>; K = constante adimensional que depende das propriedades ótimas das folhas e da geometria do dossel vegetal, (0,8); IAF = índice de área foliar, adimensional; RFAinc = radiação fotossinteticamente ativa incidente, MJ m<sup>-2</sup>.

O índice de área foliar (adimensional) foi determinado a partir da área foliar total de cada planta e da área de solo explorada por esta (que correspondeu ao espaçamento em metros do cultivo), com base na Equação 3:

$$IAF = AF/AE \quad (3)$$

Em que: IAF = índice de área foliar (adimensional); AF = área foliar total da planta, m<sup>2</sup>; AE = área explorada pela planta, m<sup>2</sup>, sendo 64 m<sup>2</sup> (8 x 8m) para o sistema consórcio e 9,61 m<sup>2</sup> (3,1 x 3,1m) para o sistema solteiro.

A área foliar foi estimada através do “método de discos” (Benincasa, 1988).

A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa acumulada foi realizada com base em Monteith (1977).

Os valores de radiação solar global incidente (Rg) no sistema de cultivo solteiro foram obtidos junto à Estação Climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) vinculada ao Laboratório de Agroclimatologia. A estação situa-se cerca de 150 m do local de estudo, sob as coordenadas 27,3956°S e 53,4294°W. A fim de conhecer o percentual de radiação global incidente (Rge) que chegava à erva-mate no sistema consórcio utilizou-se um piranômetro (LI200X, Li Cor) ligado a *datalogger*, registrando-se os dados a cada hora. O aparelho foi instalado em nível, em suporte próprio construído acima das copas das erveiras. Desta maneira, a radiação solar incidente acima da copa das erveiras, foi estimada de acordo com a Equação 5:

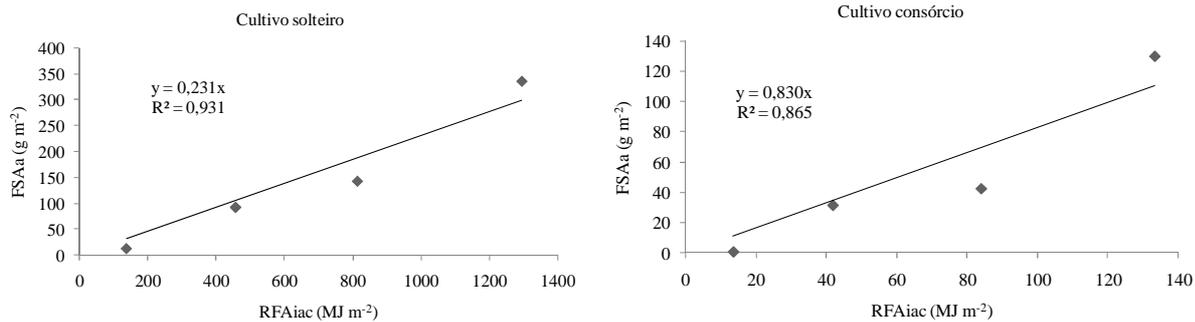
$$Rge = 0,15 * Rg \quad (5)$$

Em que: Rge = radiação solar incidente, MJ m<sup>-2</sup>; Rg = radiação solar global incidente junto à Estação Climatológica do INMET, MJ m<sup>-2</sup>.

A radiação fotossinteticamente ativa incidente foi estimada considerando-se como sendo 45% da radiação solar global. Essa fração representa o valor médio daqueles encontrados para o Rio Grande do Sul (Pandolfo, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fluxo de radiação solar global foi em média de  $2,49 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com variação de 0,01 a  $2,49 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o sistema consórcio e em média de  $16,60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com variação de 0,10 a  $16,60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o sistema solteiro. Embora seja menor a disponibilidade de radiação solar global incidente no consórcio, a mesma pode ser compensada em parte pelo aumento da fração da radiação difusa, que tem sua importância por ser multidirecional e penetrar melhor no interior do dossel vegetativo (Buriol et al., 1995).



**Figura 1.** Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) e a produção de fitomassa seca aérea acumulada (FSAa) em dois sistemas de cultivos de *Ilex paraguariensis*: consórcio e solteiro, no município de Frederico Westphalen – RS.

O microclima e em especial, a luminosidade, são fatores impactantes sobre determinadas características da erva-mate, como área foliar e produção de fitomassa (Thompson et al., 1992). Assim, a produção no sistema de consórcio, não foi igual a pleno sol, o que foi constatado durante a condução deste estudo (Figura 1), pois, como verificado, somente 15% do total de radiação incidente está disponível para a erva-mate sombreada. De acordo com Coelho et al. (2000), níveis superiores ou iguais a 50% de redução de luz natural já são suficientes para diminuir a produção de fitomassa desta espécie.

A eficiência de conversão  $\epsilon(b)$  de fitomassa seca aérea de plantas de erva-mate em relação à quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) foi de 0,83 g MJ<sup>-1</sup> no sistema consórcio e de 0,23 g MJ<sup>-1</sup> no sistema solteiro (Figura 1). Embora a produção em fitomassa seca aérea seja aproximadamente 35% maior no sistema solteiro, no consórcio o uso da radiação solar é mais eficiente.

A maior eficiência observada no consórcio pode ser atrelada ao aumento da radiação difusa neste ambiente, causada pela interação entre a radiação solar global e a copa dos pinus. A radiação incidente na superfície de folhas de erva-mate no consórcio chega de diversas formas: diretamente pelas clareiras das copas dos pinus e pelas margens do povoamento, e como radiação difusa proveniente da reflexão das folhas dos pinus e da superfície do solo, ou ainda como radiação transmitida pelas folhas desta espécie.

O fato é que ocorre um incremento na contribuição relativa das folhas dos extratos inferiores da erva-mate para o acúmulo de fitomassa à medida que aumenta a fração difusa, e esta é maior em um ambiente de consórcio. Berlyn e Cho (2000) destacam que folhas sombreadas, apesar de poderem saturar em baixa radiação, possuem maior eficiência fotossintética. Isso se dá devido às modificações morfológicas ocorridas entre folhas dispostas na sombra e no sol. Outros fatores microclimáticos propiciados pelo consórcio, como temperatura, umidade relativa do ar e a redução do estresse luminoso também podem ter contribuído para o aumento desta eficiência.

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Em contraponto, no sistema de cultivo solteiro, altas intensidades de radiação solar absorvidas pelas plantas podem levá-las à saturação luminosa, diminuindo a eficiência no uso da radiação (Jiang et al., 2004). Sinclair e Horie (1989) também constataram que a eficiência de uso da radiação varia dentro de uma mesma espécie e que folhas saturadas por radiação são menos eficientes quando comparadas a sombreadas. Segundo Ribaski et al. (1998), a redução da fotossíntese no sombreamento, causa uma maior eficiência de conversão da energia solar em energia química.

A maior produtividade de matéria seca em cultivo solteiro pode estar associada à maior taxa fotossintética (Kaspary, 1985), já que no sistema solteiro, há maior disponibilidade de radiação solar global. E também, conforme visto anteriormente, do maior acúmulo de radiação pela cultura (Figura 1).

A dependência de processos fotossintéticos em relação ao ambiente é de grande interesse para profissionais ligados à área florestal e agrônômica, que buscam a produtividade vegetal e, em consequência disso, o rendimento de um cultivo que depende das taxas fotossintéticas em um ambiente (Taiz e Zeiger, 2004). Os modelos de eficiência de uso da radiação obtidos no presente trabalho poderão ser aplicados em diversos tópicos de pesquisa, como análise de crescimento de plantas, previsão de rendimento e do potencial de produção de fitomassa na região.

## CONCLUSÕES

Para um mesmo valor de radiação fotossinteticamente ativa interceptada é maior a eficiência de uso da radiação no acúmulo em matéria seca quando a erva-mate é cultivada em consórcio.

A eficiência de conversão de fitomassa seca total de plantas de erva-mate em relação à quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada acumulada é de 0,83 g MJ<sup>-1</sup> no sistema consórcio e de 0,23 g MJ<sup>-1</sup> no sistema solteiro.

A produção de fitomassa aérea por planta de erva-mate é maior no sistema solteiro.

Os resultados obtidos neste trabalho vêm contribuir no manejo de ervais, principalmente para aqueles produtores que possuem em consórcio com outras espécies florestais, seja com floresta nativa ou plantada, para que possam manejar de uma forma a fim de mantê-los parcialmente sombreados, otimizando assim, a eficiência fotossintética, mas sem comprometer a produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (Noções Básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

BERLYN, G. P.; CHO, J. Light, Moisture, and nutrient use by plants. **The Silvicultural basis for agroforestry systems**, Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 9-39.

BURIOL, G. A. et al. Transmissividade da radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.

COELHO, G. C. et al. Efeitos do sombreamento sobre a sobrevivência, morfologia e química da Erva-Mate. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 2.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 2000, Encantado. **Anais...** Encantado: Evangraf, 2000, p. 396-399.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **O Brasil estado por estado, 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticiavisualiza.php?idnoticia=1760&idpagina=1>>. Acesso em: 07 de outubro de 2011.

JIANG, A. C. D. et al. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, p. 1-10, 2004.

KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 1985. 54 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

LEE, D. W. et al. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 87, p.447-455, 2000.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; MACCARI JUNIOR, A.; SILVA, E. T. da. Influência de diferentes condições de radiação solar sobre o crescimento morfológico da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: EPAGRI, 2003.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production en Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 281, n. 980, p. 277-294, 1977.

PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca de alfafa (*Medicago sativa* L.)**. 1995. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

RIBASKI, J.; INOUE, M. G.; LIMA FILHO, J. M. P. Influencia da algaroba (*Prosopis juliflora*) sobre alguns Parametros ecosfisiologicos e seus efeitos na qualidade de uma pastagem de capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), na regioao semi-arida do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA – CPATU, 1998. p. 219-220.

ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y. M. de. **Cultivo da erva-mate – Distribuição geográfica, 2007**. Disponível em: <[HTTP://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Erva-mate](http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Erva-mate)>. Acesso 15 dezembro 2007.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v. 29, n.1, p. 98- 105, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719 p.

THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K.; KRIEDEMANN, P. E. Photosynthetic response to light and nutrition in sun-tolerant and shade tolerant rainforest trees. II Leaf Gas exchange and Component processes of Photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**, Canberra, v. 19, n. 1, p. 19-42, 1992.

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9.