

**EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR POR PLANTAS *Ilex paraguariensis*  
A. ST. HIL. CULTIVADAS SOB SOMBREAMENTO E A PLENO SOL**

**EFFICIENCY OF THE USE OF SOLAR RADIATION FOR PLANTS *Ilex paraguariensis*  
A. ST. HIL. CULTIVATED UNDER SHADOW AND FULL SUN**

Braulio Otomar Caron<sup>1</sup> Denise Schmidt<sup>1</sup> Paulo Augusto Manfron<sup>2</sup> Alexandre Behling<sup>3</sup>  
Elder Eloy<sup>4</sup> Carlos Busanello<sup>5</sup>

**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 erveiras 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 ( $eb$ ) 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.

**ABSTRACT**

The efficiency of conversion of the solar radiation in biomass is a variable frequently used in models of simulation the culture growth, because the biomass production is related with the efficiency of which a plant converts radiant energy in chemistry, given by the process of the photosynthesis. The objective of this work was to determine the efficiency of conversion of the photosynthetically active and intercepted solar radiation (RFAi) in *Ilex paraguariensis* biomass, cultivated in consortium (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil. e *Pinus elliottii* Engelm) and single. For so much, it was determined the photosynthetically active and intercepted solar radiation (RFAi), the index of leaf area and the biomass dries of the seedlings, being then, the efficiency of conversion of RFAi in biomass dries of the cultivated in consortium and single. For a same radiation value RFAi, is obtained larger efficiency of use of the radiation in the accumulation in matter dries

1 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Linha Sete de Setembro s/n, BR386, Km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. otomarcaron@yahoo.com.br / schmidtbr2000@yahoo.com.br

2 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Titular Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 9715-900, Santa Maria (RS), Brasil. manfronp@smail.ufsm.br

3 Engenheiro Florestal, Msc., Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. alexandre.behling@yahoo.com.br

4 Engenheiro Florestal, Msc., Universidade Federal de Santa Maria, Linha Sete de Setembro s/n, BR386, Km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. eloyelder@yahoo.com.br

5 Engenheiro Agrônomo, Msc., Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, Rua Gomes Carneiro, 1, CEP 96010-610, Pelotas (RS), Brasil. carlosbuzza@yahoo.com.br

when *Ilex paraguariensis* is cultivated in consortium. The conversion efficiency ( $\epsilon b$ ) of biomass total drought of *Ilex paraguariensis* plants in relation to the amount of the photosynthetically active and intercepted solar radiation (RFAi) accumulated is of 0.83 g MJ<sup>-1</sup> in the system consortium and of 0.23 g MJ<sup>-1</sup> in the single system. In spite of that, the production of aerial biomass for plant was larger in the single system. **Keywords:** fitomass; 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 (POORTER, 1999; LEE et al., 2000).

Por outro lado, plantas expostas à luz solar intensa, investem em biomassa radicular, ou seja, priorizam o crescimento radicular para compensar a perda de água por transpiração; e devido às altas taxas fotossintéticas, produzem maior biomassa por unidade de área foliar e altas taxas de renovação das folhas (POORTER, 1999). Nota-se também que o melhor crescimento e desenvolvimento da erva-mate ocorreram em maiores níveis de sombreamento (POLETTO et al., 2010). Aponta-se que, plantas sombreadas, apresentam maior teor de proteína bruta na lâmina foliar e maior relação lâmina foliar/colmo (SOARES et al., 2009).

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. Nestes ambientes, abaixo do dossel das plantas que ocupam o extrato superior, a radiação solar é diminuída, tendo em vista que, ao atingir o

topo da população de plantas mais altas, uma fração será refletida para a atmosfera, absorvida pela própria planta e outra transmitida para o interior do consórcio. 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, podemos considerar que a eficiência de conversão da radiação solar em fitomassa é uma variável que pode ser frequentemente utilizada em modelos de simulação do crescimento das culturas. Dessa forma, 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 MÉTODO

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). Frederico Westphalen esta distante aproximadamente 30 km de Iraí, sendo o município tomado como referência para os dados de classificação climática. Conforme proposta de Maluf (2000), Iraí apresenta clima de tipo subtemperado subúmido, sendo a temperatura média anual de 18,8°C e temperatura média do mês mais frio de 13,3°C.

Estudaram-se dois sistemas de cultivo de erva-mate: em consórcio com pinus (*Pinus elliottii* Engelm.) 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 erveiras 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.

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:

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

Em que: PFS = produção de fitomassa seca, g m<sup>-2</sup>;  $\varepsilon b$  = 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  $\varepsilon b$  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 ( $\varepsilon b$ ) 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). O método consistiu na retirada de discos foliares de área conhecida (2,5446 cm<sup>2</sup>, utilizando-se um gabarito) do limbo foliar de todas as folhas que apresentavam comprimento maior que cinco centímetros, evitando-se a amostragem da nervura central, conforme recomendado por Huerta (1962) e Gomide et al. (1977). O número de discos variou de acordo com o número de folhas de cada planta, sempre se coletando no mínimo um disco por folha. Em seguida, os discos foliares, foram colocados em estufa e circulação e renovação do ar a 60°C para a obtenção da matéria seca. A partir disso, a área foliar de cada planta foi calculada através da Equação 4:

$$AF = (n^{\circ} \text{ de discos} * AD * MSF) / MSD \quad (4)$$

Em que: AF = área foliar, m<sup>2</sup>; AD = área dos discos, m<sup>2</sup>; MSF = matéria seca das folhas, g; MSD = matéria seca dos discos, g.

A estimativa da radiação fotossinteticamente ativa acumulada foi realizada com base em Monteith (1977) e Varlet-Grancher et al. (1989).

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:

$$R_{ge} = 0,15 * R_g \quad (5)$$

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 (ASSIS e MENDEZ, 1989; PANDOLFO, 1995).

Para verificar a dependência da produção de fitomassa seca aérea com a RFAi, os dados foram submetidos à correlação linear de Pearson.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fluxo de radiação solar global foi em média de 2,49 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com variação de 0,01 a 2,49 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para o sistema consórcio e em média de 16,60 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com variação de 0,10 a 16,60 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para o sistema solteiro. Embora seja menor a disponibilidade de radiação solar global incidente no consórcio (Figura 1), 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). Estudo tem mostrado, que o microclima e em especial, a luminosidade, é um fator impactante sobre determinadas características da erva-mate, como área foliar e produção de fitomassa (THOMPSON et al., 1992). Assim, a produção no sistema de consórcio, certamente não será igual a pleno sol, o que foi constatado durante a condução deste estudo (Figuras 2 e 3), 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

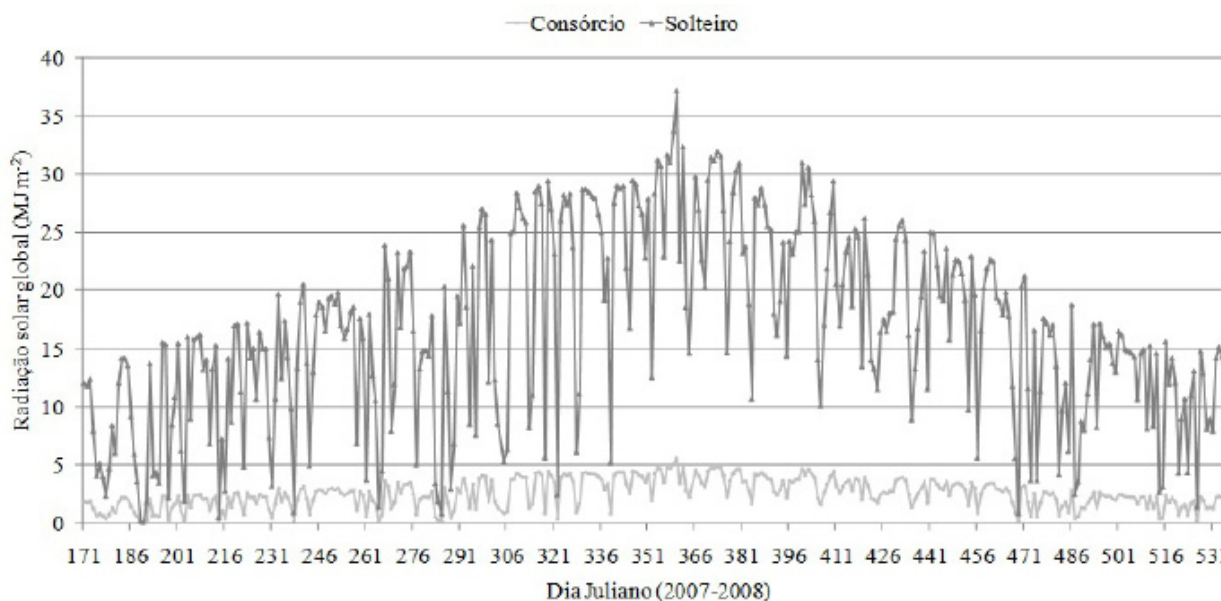


FIGURA 1: Radiação solar global incidente no sistema de cultivo de *Ilex paraguariensis* solteiro e radiação solar global incidente estimada dentro do consórcio de (*Ilex paraguariensis* e *Pinus elliottii*), durante o período de 20/06/2007 a 20/06/2008, no município de Frederico Westphalen – RS.

FIGURE 1: Radiation global solar incident in the system of *Ilex paraguariensis* cultivation single and radiation global solar incident esteemed inside the consortium of (*Ilex paraguariensis* and *Pinus elliottii*) during the period of 06/20<sup>th</sup>/2007 to 06/20<sup>th</sup>/2008 o'clock, in the municipality of Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul state.

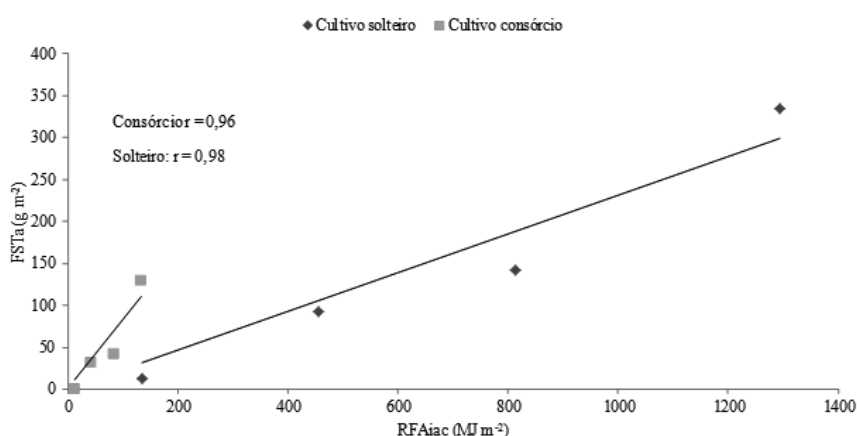


FIGURA 2: Correlação de Pearson entre a fitomassa seca aérea acumulada (FSAa) e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) em dois sistemas de cultivos de *Ilex paraguariensis*: consórcio e solteiro, no município de Frederico Westphalen – RS.

FIGURE 2: Pearson's correlation among the biomass accumulated drought (FSAa) and the photosynthetically active and intercepted solar radiation (RFAi) in two systems of cultivations it *Ilex paraguariensis*: consortium and single, in the municipality of Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul state.

para diminuir a produção de fitomassa desta espécie.

O acúmulo em fitomassa seca em ambos os sistemas de cultivos demonstrou-se fortemente correlacionado com a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac), com coeficientes de correlação equivalente a 0,96 e 0,98 para o sistema em consórcio e solteiro (Figura 2), respectivamente. Tollenar e Bruulsema (1988) ressaltam que estudos têm demonstrado relação linear entre fitomassa produzida e a energia radiante interceptada ao longo do ciclo de um grande número de espécies. Em plantas sadias que possuem a disposição quantidades adequadas de água e nutrientes, a produção de fitomassa seca é governada pela radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (MONTEITH, 1965; MONTEITH, 1977). Shibles e Weber (1965) também concluem que a produção de fitomassa é função linear do acúmulo da RFA interceptada pela cultura, assim, à medida que este recurso é diminuído em determinado ambiente, é de se esperar que a produção siga a mesma tendência.

O fator luz é importante no crescimento das plantas, não só por fornecer energia para a fotossíntese, mas também por prover sinais que regulam seu desenvolvimento através de receptores de luz sensíveis a diferentes intensidades (ATROCH et al., 2001). Assim, a capacidade de plantas crescerem em condições de maior ou menor luminosidade vai depender das estruturas

morfológicas e fisiológicas, ou seja, das estratégias adaptativas (TILMAN, 1988). A erva-mate é considerada planta de local sombreado aceitando sombra em qualquer idade e tolerando uma maior intensidade luminosa na fase adulta (CARVALHO, 2003). No entanto, conforme já destacado, níveis superiores ou iguais a 50% de redução de luz natural já são suficientes para diminuir a produção de fitomassa desta espécie (COELHO et al., 2000). Isso reforça que a disponibilidade de luz (15% para o sistema consórcio), limita o crescimento das ervaíras sombreadas, o que também foi verificado por Gliessmann (2000). A maior produtividade de matéria seca em cultivo solteiro (Figuras 2 e 3) pode estar associada à maior taxa fotossintética (KASPARY, 1985), já que, no sistema solteiro, há maior disponibilidade de radiação solar global.

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 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 3). Em condições de campo essa taxa foi de 2,46 g MJ<sup>-1</sup> para o girassol (BARNI et al., 1995), de 2,60 g MJ<sup>-1</sup> para o milho (FRANÇA et al., 1999), de 1,73 g MJ<sup>-1</sup> para o arroz (STEINMETZ e SIQUEIRA, 2001) e de 0,72 a 1,40 g MJ<sup>-1</sup> para a alfaca (CARON et al., 2003). Embora a produção em fitomassa seca aérea seja aproximadamente 35% maior no sistema solteiro, no consórcio o uso da

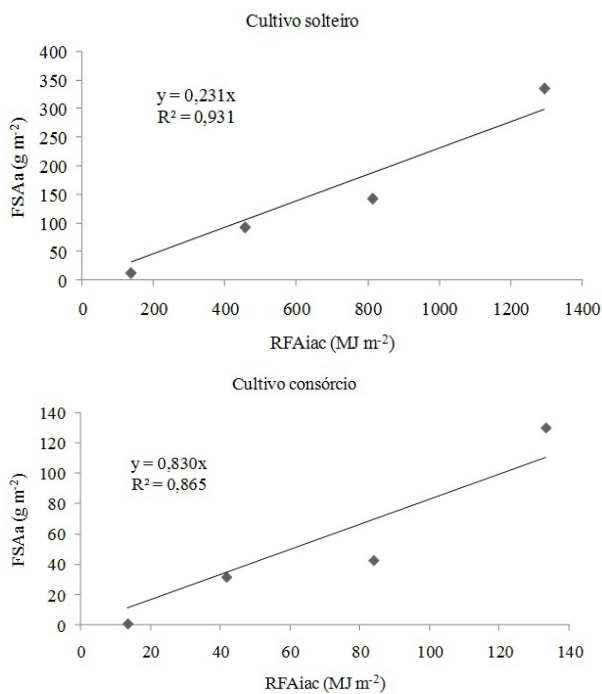


FIGURA 3: Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFAiac) e a produção de fitomassa seca aérea acumulada (FSAa) em dois sistemas de cultivos de *Ilex paraguariensis*: consórcio e solteiro, no município de Frederico Westphalen – RS.

FIGURE 3: Relationship among photosynthetically active and intercepted solar radiation (RFAi) and the production of accumulated dry biomass (FSAa) in two systems of cultivations it *Ilex paraguariensis*: consortium and single, in a municipality district of Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul state.

radiação solar é mais eficiente.

Conforme diversos autores sobre a eficiência de uso da RFA, além das espécies serem diferentes, são decorrentes também da densidade das plantas, condições de crescimento da cultura, além de como foram tomados os valores de matéria seca total e de RFA (interceptada, absorvida ou incidente) (KUNZ et al., 2007).

A eficiência da conversão no cultivo de alface em estufa plástica foi aproximadamente 56% maior em relação ao ambiente natural (CARON et al., 2003). A cobertura plástica utilizada em estufa aumenta a fração difusa da radiação resultando em maior eficiência nas culturas. Na cultura do milho e da soja, o aumento da fração difusa

resultou em maior eficiência do uso da radiação (SINCLAIR et al., 1992). Papadopoulos e Ormrod (1988) e Hammer e Vanderlip (1989) destacam que geralmente os valores de eficiência de uso da radiação são maiores em cultivos dentro de estufas plásticas quando comparado ao ambiente natural e isto é explicado pelo aumento da radiação difusa nesse ambiente. Aikman (1989) constatou que o aumento da radiação difusa promoveu maior uniformidade da radiação no interior do dossel, fazendo com que as folhas inferiores aumentassem a interceptação de radiação e o seu uso.

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 radiância, 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.

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; ADAMS e ADAMS, 1992). 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 produção obtida no cultivo de erva-mate em sistemas de consórcio com cinamomo e louro-pardo, esta relacionada com o número de

plantas por hectare. O aumento da densidade de plantio proporcionou aumento na produção de erva-mate. Entre as espécies estudadas houve menor incremento no consórcio com cinamomo em função do sombreamento realizado pela espécie (FLOSS et al., 2009).

Quando as plantas recebem adequado suprimento de água e nutrientes, a produção de fitomassa seca é controlada pela radiação solar disponível (MONTEITH, 1965). De acordo com Shibles e Weber (1965), o total de fitomassa seca produzida pela soja, depende da percentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e da eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético. Situação que pode também ser atribuída à produção de fitomassa de erva-mate, tendo em vista os bons coeficientes de determinação obtidos nos modelos ajustados (MONTEITH, 1965).

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 3). O maior acúmulo de matéria seca também foi observado sob cultivo isolado (RACHWAL et al., 1997).

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). A modelagem da eficiência pela qual a radiação solar incidente é utilizada no acúmulo de fitomassa é bastante consistente para modelos potenciais e é apropriada que análises de crescimento de plantas (MÜLLER et al., 2001). 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 ( $\epsilon b$ ) 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.

Além disso, podem contribuir na seleção de espécies florestais com características ideais para sombreamento desta espécie e na avaliação do efeito da quantidade de luz na produção de fitomassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, D. B.; ADAMS, W. W. N. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Reviews Plant Physiology. Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 599-626, June 1992.
- AIKMAN, D. P. Potential increase in photosynthetic efficiency from the redistribution of solar radiation in a crop. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 40, n. 217, p. 885-864, Feb. 1989.
- ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 7, p. 797-800, jul. 1989.
- ATROCH, E. M. A. C. et al. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forticata* Link. submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 853-862, jul./ago. 2001.
- BARNI, N. A. et al. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura. II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 201-216, fev. 1995.
- 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, jan./fev. 1995.
- CARON, B. et al. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 261-268, mar./abr. 2003.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, v.1. 1039 p.
- 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.
- FLOSS, P. A.; DA CROCE, D. M.; NESI, C. N. Produtividade da erva-mate cultivada sob diferentes densidades em consórcio com cinamomo e louropardo. In: CONGRESO SUDAMERICANO DE LA YERBA MATE, 4., 2006, Posadas. **Anais...** Posadas: Instituto Nacional de la Yerba Mate - INYM, 2006, p. 274-279.
- FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H., ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, jan./fev. 1999.
- GLIESSMANN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: EDURGS/ UFRGS, 2000. 653 p.
- GOMIDE, M. B. et al. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, 1977.
- HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum – I: effects of temperature on radiation use efficiency. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 370-376, Mar./Apr. 1989.
- 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.
- HUERTA, S. A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para medir el área del café. **Cenicafé**, Chinchina, v. 13, n. 2, p. 33-42, 1962.
- 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, Jan. 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.
- KUNZ, J. H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, nov. 2007.
- 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, Apr. 2000.
- MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, jan./fev. 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: CONGRESO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 3., 2003, Chapecó. **Anais...** Chapecó: EPAGRI, 2003.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 281, n. 980, p. 277-294, Nov. 1977.
- MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, Oxford, v. 29, p. 17-37, Mar. 1965.
- MÜLLER, A. G., BERGAMASCHI, H., SILVA, M.I.G. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001. Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001, p. 565-566.
- 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.



- PAPADOPOULOS, A. P.; ORMROD, D. P. Plant spacing effects on light interception by greenhouse tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 4, p. 1197-1208, Sept./Dec. 1988.
- POLETTI, I. et al. Influência da inoculação de *Fusarium spp.* e níveis de sombreamento no crescimento e desenvolvimento da erva-mate. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 513-521 jul./set. 2010.
- POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Oxford, v. 13, p. 396-410, June 1999.
- RACHWAL, M. F. G. et al. Influência da luminosidade sobre a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) aos quatro anos e quatro meses de idade sobre Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico em São Mateus do Sul, PR. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1998. p. 445.
- RIBASKI, J.; INOUE, M. G.; LIMA FILHO, J. M. P. Influência da algaroba (*Prosopis juliflora*) sobre alguns Parametros ecofisiologicos e seus efeitos na qualidade de uma pastagem de capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), na região semi-árida 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.
- SHIBLES, R.M., WEBER, C.R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 55-59, Jan./Mar. 1965.
- 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, Jan. 1989.
- SINCLAIR, T. R.; SHIRAIWA, T.; HAMMER, G. L. Variation in crop radiation-use efficiency with increased diffuse radiation. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 5, p. 1281-1284, May. 1992.
- SOARES, A. et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, mar. 2009.
- STEINMETZ, S., SIQUEIRA, O. J. W. Eficiência de conversão em biomassa da radiação solar interceptada nas distintas fases do ciclo de três tipos de planta de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001, p. 691-692.
- 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 nutrients 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, jan. 1992.
- THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K.; KRIEDEMANN, P. E. Photosynthetic response to light and nutrients 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, Jan. 1992.
- TILMAN, D. **Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1988, 362 p.
- TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T.W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 4, p. 580-585, July/Aug. 1988.
- VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, n.5, p. 419-439, May. 1989.