

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)
NA UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA
PARA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA**

IDELINA CABRAL DE ASSIS ASSUNÇÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)
NA UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA
PARA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA**

IDELINA CABRAL DE ASSIS ASSUNÇÃO

Orientador: Prof. Dr. Dinival Martins

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP
Fevereiro – 2005

DEDICO

A minha
querida filha Marianna
e Hildeu pela compreensão.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida;

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura, pela oportunidade de cursá-lo;

Ao Prof. Dr. Dinival Martins pela orientação;

Ao Prof. Dr. João Francisco Escobedo pela colaboração;

Ao Dr. Iganacy J. Godoy do IAC pela doação das sementes de amendoim;

Ao Prof. Dr. José Brito do LQCE/DCF/Esalq pela análise laboratorial;

Ao Prof. Dr. Flávio Aragon pela ajuda e conselhos;

Aos meus pais pela minha concepção;

Aos meus irmãos e irmãs;

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais: Antonio Ribeiro da Cunha pela ajuda nos ajustes finais, Izaura, Selma, Aparecido, Silvia, Valdomiro.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação;

Às minhas amigas(os) do curso de Pós-Graduação: Alcivânia, Luciana Manoel, Leila Rickli, Lúcia Raquel, Erval Júnior, Orlando Tadeu, Indalécio Dutra; Melânia, Alexandre Dal Pai, Eduardo Gomes;

Às famílias de Fábio Cecílio, de Serrão e de Dierckx do município de Botucatu, pela imensa ajuda, carinho e dedicação;

Ao padre Zezinho da paróquia de Botucatu pela força espiritual; e aos grupo de casais: Silvia e Pedro, Rita e Thomaz, Luciene e Milton, Therezinha e Carlos, Roberta e Fabricio;

Aos amigos Elcio e Luzia Klosowski;

A minha amiga Marilda M.F.Soures pela ajuda em tudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS	VI
ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	VII
RESUMO	1
SUMMARY	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 Transferência de calor nas plantas.....	6
2.2 Distribuição da radiação dentro de uma comunidade de plantas.....	8
2.2.1 Recepção da radiação pelas folhas	11
2.2.2 Teoria e predição	12
2.3 Utilização da radiação solar pelas culturas.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Caracterização experimental.....	19
3.1.1 Local	19
3.1.2 Solo.....	19
3.1.3 Água	21
3.1.4 Planta	22
3.2 Instrumental e Análise de crescimento.....	23
3.2.1 Instrumental	23
3.2.2 Análise de crescimento.....	25
3.3 Avaliação e análise dos resultados	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Relações energéticas.....	29
4.1.1 Órgãos da planta	29
4.1.2 Planta do amendoim	36
5. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição da radiação em um campo de milho, segundo Larcher (2000), onde se nota que a radiação se espalha pela cobertura vegetada de maneira mais homogênea.	10
Figura 2- Ilustração básica da teoria de <i>Kubelka-Munk</i>	13
Figura 3. Curva característica de umidade do solo, determinada por Klosowski (2001), na camada de 0 a 30 cm, para a área experimental.	21
Figura 4- Disposição esquemática dos sensores dentro da cultura.....	24
Figura 5. Plantas envasadas para amostragem semanal.	25
Figura 6. Modelos de crescimento de raízes (A), de caule (B) e da planta (C) do amendoim, em função dos dias após a emergência.	30
Figura 7. Modelos de produção para o sistema radicular do amendoim: A) matéria seca; B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.....	31
Figura 8. Modelos de produção para o sistema caulinar do amendoim: A) matéria seca e B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.....	32
Figura 9. Modelos de produção para o sistema foliar do amendoim: A) matéria seca; B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.....	33
Figura 10. Modelos de produção de vagens do amendoim: A) matéria seca; B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.	34
Figura 11. Distribuição da matéria seca, em percentagem do total, em diferentes órgãos das plantas de amendoim.	36
Figura 12. Variação média diária das frações PAR (interceptada, transmitida e refletida) sobre o dossel de plantas de amendoim.	37
Figura 13. A) matéria seca acumulada (g m^{-2}) e B) taxa de crescimento absoluta em $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$	38
Figura 14. A) índice de área foliar e B) radiação fotossinteticamente ativa ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) interceptado pela cultura do amendoim, em função do tempo.	39
Figura 15. Aumento da cobertura até os 64 DAE e acamamento observado no amendoim após os 64 DAE (dias após a emergência).....	40

- Figura 16. A) Radiação fotossinteticamente ativa acumulada diariamente durante o ciclo da cultura; B) Energia química acumulada na planta, medida calorimetricamente em todo o ciclo da cultura.41
- Figura 17. A) eficiência de uso da radiação interceptada pela cultura do amendoim para produção de biomassa (g m^{-2}) e B) eficiência de conversão da radiação interceptada (MJ m^{-2}) em energia química acumulada na biomassa do amendoim.....43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química e granulométrica do solo da área experimental.....	20
Tabela 2. Fases fenológicas do amendoim, em função dos dias após o plantio (DAP)	22
Tabela 3. Distribuição média do teor de água, matéria seca e energia química acumulada nos diferentes órgãos da planta de amendoim, durante todo o ciclo da cultura.....	35

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição
<i>CAD</i>	Capacidade de água disponível (mm)
<i>I₀</i>	Densidade de Fluxo radiante incidente (W m ⁻²)
<i>R</i>	Densidade de Fluxo radiante refletido (W m ⁻²)
<i>T</i>	Densidade de Fluxo radiante transmitido (W m ⁻²)
<i>k</i>	Coefficiente de extinção (adimensional)
<i>α</i>	Coefficiente de absorção (adimensional)
<i>τ</i>	Coefficiente de transmissão (adimensional)
<i>ρ</i>	Coefficiente de reflexão (adimensional)
<i>pH</i>	Potencial hidrogeniônico (adimensional)
<i>MO</i>	Matéria orgânica (g dm ⁻³)
<i>P</i>	Fósforo (mg dm ⁻³)
<i>H+Al</i>	Hidrogênio + alumínio (mmol dm ⁻³)
<i>K</i>	Potássio (mmol dm ⁻³)
<i>Ca</i>	Cálcio (mmol dm ⁻³)
<i>Mg</i>	Magnésio (mmol dm ⁻³)
<i>S</i>	Enxofre (mmol dm ⁻³)
<i>CTC</i>	Capacidade de troca de cátion (%)
<i>V</i>	Saturação de bases (%)
<i>θ_{cc}</i>	Teor de água na capacidade de campo (m ³ m ⁻³)
<i>θ_{pm}</i>	Teor de água no ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)
<i>DAE</i>	Dias após emergência (dias)
<i>DAP</i>	Dias após plantio (dias)
<i>PAR₀</i>	Radiação fotossinteticamente ativa incidente (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
<i>PAR_R</i>	Radiação fotossinteticamente ativa refletida (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
<i>PAR_T</i>	Radiação fotossinteticamente ativa transmitida (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
<i>PAR_I</i>	Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
<i>F_I</i>	Fração da radiação interceptada (adimensional)

Símbolo	Descrição
<i>TCA</i>	Taxa de crescimento absoluto ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
<i>EUR</i>	Eficiência de uso da radiação (g MJ^{-1})
<i>ECR</i>	Eficiência de conversão da radiação (adimensional)
<i>EB</i>	Energia química da biomassa (MJ m^{-2})
<i>IAF</i>	Índice de área foliar (adimensional)
<i>AP</i>	Área da planta (m^2)
<i>Af</i>	Área da folha (m^2)
<i>IC</i>	Índice de colheita (adimensional)
<i>EG</i>	Energia química do grão

RESUMO

Um ensaio, com amendoim (*Arachis hypogaea* L.), cv. IAC-TATU-ST, foi conduzido, na área experimental do Setor de Ciências Ambientais (21,85° S; 48,43° W; 786 m), FCA/UNESP, em Botucatu, SP, em parcela única sob “tratamento úmido” durante o período de 11/02/2001 a 06/06/2001. Durante todas as fases de crescimento das plantas foram monitoradas as radiações fotossinteticamente ativa incidente, refletida e transmitida, bem como a produção semanal da biomassa acumulada e sua energia química, incluindo raízes, hastes, folhas, flores, frutos e sementes, com o objetivo de determinar a eficiência de uso da radiação (EUR) e a eficiência de conversão da radiação interceptada (ECR) pelas plantas cultivadas. Os resultados mostraram que a EUR média foi de 1,33 g MJ⁻¹ e a ECR foi de 2,5%, cujos valores estão coerentes com aqueles encontrados em literatura. Nas condições de Botucatu, a cultura do amendoim interceptou, aproximadamente 600 MJ m⁻² de radiação PAR, de modo que no final do seu ciclo a energia da biomassa atingiu a magnitude de 18 MJ m⁻². Em termos médios, o coeficiente de extinção da luz (k) foi de 0,68, o índice de colheita, em base de energia, foi de 0,38 e a produtividade obtida, do amendoim em casca, foi equivalente a 4,5 t ha⁻¹.

EVALUATION OF PEANUT (*Arachis hypogaea* L.) PLANT IN THE DRY MATTER
PRODUCTION AND ITS RADIATION USE EFFICIENCY

Botucatu, 2005. 44p. Tese (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: IDELINA CABRAL DE ASSIS ASSUNÇÃO

Adviser: DINIVAL MARTINS

SUMMARY

A trial, with peanut (*Arachis hypogaea* L.), cv. IAC-TATU-ST, was carried out, in experimental area of Setor de Ciências Ambientais (21,85° S; 48,43° W; 786 m), FCA/UNESP, in Botucatu, SP, in single section with "humid treatment" during the period from 11/02/2001 to 06/06/2001. For all growth phases of peanut crop, the incident, reflected and transmitted photosynthetically active radiations were monitored, as well as the weekly production of the accumulated biomass, chemical energy, including roots, stems, leaves, flowers, fruits and seeds, with purpose of determining the radiation use efficiency and the radiation conversion efficiency of intercepted PAR for the cultivated plants. The results showed that EUR was about 1,33 g MJ⁻¹ and ECR was about 2,5%. The values are coherent with those found in literature. In Botucatu conditions, the peanut crop intercepted, more or less 600 MJ m⁻² of PAR, so that in the end of cycle, the biomass energy reached to 18 MJ m⁻². In standard terms, the light extinction coefficient (k) was about 0.68, the harvest index, in energy basis, was about 0.38 and peanut yield, in peel, was equivalent to 4.5 t ha⁻¹.

Keyword: *Arachis hypogaea* L., biomass, growth rate absolute, radiation use efficiency

1. INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L) é uma velha cultura do Novo Mundo, amplamente cultivado no México, América Central e América do Sul, na Era Pré-Colombiana. As espécies adaptadas já tinham evoluído em grupos varietais e subespecíficos antes que suas sementes fossem levadas ao Velho Mundo pelos exploradores espanhóis e portugueses (STALKER, 1997).

É cultivado nas regiões de climas tropicais, subtropicais e temperado quente. Cerca de 13,5 milhões de hectares são plantados na Ásia, 5,3 milhões na África, 1,2 milhões nas Américas e 0,1 milhão em outras partes do mundo, sendo responsável por 10% da produção mundial de óleo comestível e o 5º mais consumido, com uma produção de 3,86 milhões de toneladas (CARLEY e FLETCHER, 1995).

O ciclo do amendoim varia de 90 a 115 dias para variedades precoces e de 120 a 140 dias para variedades tardias. A temperatura média diária ótima está entre 22 e 28 °C e a redução sensível de produção é observada para temperaturas superiores a 33 °C. A planta não é sensível ao fotoperiodismo. Dependendo do clima, as necessidades hídricas para o ciclo completo variam de 500 a 700 mm (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

Segundo Santos (1996), na década de 70, o Brasil era o sétimo produtor de amendoim, cuja área cultivada alcançou mais de 750 mil hectares e a produção superou 950 mil toneladas. A partir de meados de 1974, devido à queda de qualidade do produto no mercado externo, decorrente dos sucessivos problemas de contaminação com

aflatoxina, o preço do produto caiu, influenciando drasticamente na redução da área plantada. Naquela época, São Paulo produzia, por ano, cerca de 700.000 toneladas de amendoim em casca. Com a entrada da soja, o amendoim deixou de ser produzido basicamente para a extração de óleo e passou a atender, em grande parte, a demanda interna como produto comestível.

Segundo Godoy e Moraes (2000), a cultura do amendoim em São Paulo concentra-se na região Oeste, responsável por cerca de 30.000 ha anuais com cultivos de verão e outono, e na região Norte, com área total anual estimada em 50.000 ha, com cultivo de verão. Em ambas as regiões, o potencial para uma nova expansão da cultura é grande, principalmente, se comparado com outras culturas anuais. A grande parte da produção de amendoim paulista está concentrada no plantio das "águas", que vai de setembro a outubro, como cultura de rotação da cana-de-açúcar. A cultivar IAC-Tatu-ST, nas condições médias paulistas, produz cerca de 20% a mais de grãos de tamanho médio (peneira 22 e 24) do que os demais.

A IAC-Tatu-ST é uma cultivar do tipo Valência vegetativa, cujo ciclo varia entre 90 e 110 dias (do plantio à colheita), apresenta vagens com predominância de 3 a 4 sementes. As vagens possuem casca quase lisa e septos pouco pronunciados. As sementes apresentam película de coloração vermelha, têm peso médio ao redor de 0,4g (podendo atingir 2 grãos g^{-1}) e teor de óleo entre 46 e 48%. Amendoins com a denominação "Tatu" são os mais difundidos em São Paulo, representando, atualmente, cerca de 80% dos amendoins comercializados no mercado brasileiro. A sigla ST (seleção por tamanho) o diferencia dos comuns (sem origem definida) que apresentam, em geral, altas porcentagens de grãos miúdos, de apresentação inferior para o mercado de HPS (grãos selecionados manualmente).

Ensaio de produtividade mostraram que as produções médias de vagens obtidas, no cultivo das águas e da seca (verão e outono), nas diversas regiões produtoras em vários anos, foram 2588 e 1641 $kg\ ha^{-1}$ conseguidas com a cultivar 'Tatu'. Considerando-se as médias das duas épocas de cultivo, esse cultivar produziu 2114 $kg\ ha^{-1}$ (GODOY e MORAES, 2000).

Além dos equilíbrios nutricional e hídrico, é evidente que a produtividade está ligada também à densidade ótima de plantio que é um fator capaz de regular a penetração da radiação solar dentro do dossel vegetativo, fazendo com que a

capacidade produtiva do amendoim seja afetada, interferindo assim, no rendimento final (NAKAGAWA et al., 1994).

O desenvolvimento de uma cultura, em uma determinada região, está diretamente relacionado com a exploração racional e conveniente dos recursos naturais, tais como água, clima e solo. Os benefícios econômica e ambientalmente sustentáveis oriundos desta exploração são frutos do conhecimento dos efeitos das variações dos elementos climáticos sobre os processos fisiológicos e metabólicos das plantas cultivadas.

Dentre os elementos climáticos, a luz e a temperatura são parâmetros críticos que influenciam o desenvolvimento das culturas. O conhecimento dos seus efeitos é requerido em processos de simulação de crescimento de plantas (BERNINGER, 1994).

O crescimento das plantas depende do saldo de matéria seca acumulada pela fotossíntese menos a perda por respiração. A partir disto, uma aproximação quantitativa pode ser usada para determinar a relação entre produção de biomassa e radiação interceptada. Um modelo simples, baseado na eficiência da utilização da radiação (EUR), determinado por Monteith (1977), tem sido amplamente utilizado para prever a produtividade dos cultivos, mas poucos estudos têm considerado a variação da EUR durante o desenvolvimento da cultura, considerando a matéria seca total (incluindo as raízes) ou considerando o crescimento em condições hídricas limitantes (WHEELER et al., 1993; CONFALONE e NAVARRO, 1999).

Assim, as causas do aumento ou redução da produção de grãos em função da demanda hídrica, nutritiva e energética, que de certa forma, são responsáveis pelo desenvolvimento das plantas e conseqüentes níveis de produção da cultura, devem ser estudadas.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivos monitorar as variações da radiação global e fotossinteticamente ativa interceptadas pela cultura do amendoim; acompanhar suas necessidades hídricas por meio da tensão de água no solo; acompanhar o índice de cobertura do solo pela cultura, usando registros fotográficos a cada 48 horas; monitorar semanalmente o índice de área foliar (*I_{AF}*), bem como o acúmulo de matéria seca nos principais órgãos das plantas e seus respectivos valores calorimétricos; efetuar análise de crescimento e produção; estabelecer correlações, ao longo do ciclo, entre a energia acumulada e a radiação fotossinteticamente interceptada pela comunidade vegetal em estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Transferência de calor nas plantas

As plantas, como os animais, precisam regular suas temperaturas, para funcionar a um ótimo de eficiência fisiológica. Isto é conseguido, segundo Mota (1983), através de três mecanismos: radiação, transpiração e convecção.

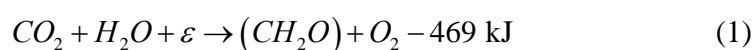
A radiação é quantitativamente o mais importante dos três processos. Com relação a esta existem duas formas: Radiação solar (absorvida pelas plantas de maneira diferente para cada comprimento de onda do espectro) e Radiação termal (energia emitida por qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto).

A energia solar que incide sobre uma cultura, inclui não somente a luz solar direta, mas também a luz solar dispersa pela atmosfera e a luz solar refletida de baixo para cima, pela superfície terrestre, e de cima para baixo, pelas nuvens.

A transpiração é um processo fisiológico de transferência de energia, responsável pela dissipação de calor na planta, convertendo a água das folhas em vapor d'água que passa para a atmosfera. Este processo consome energia e, portanto, a folha transpirante torna-se mais fria. A taxa de transpiração, conforme Mota (1983), é de somente $0,083 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que reflete em uma perda de energia de aproximadamente 209 J, o suficiente para baixar a temperatura da folha transpirante de até $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

A convecção é um mecanismo que permite a transferência de energia entre as plantas e o ambiente, cuja característica é a capacidade de aquecer uma planta fria e de resfriar uma planta quente dependendo apenas da temperatura do ar em relação à planta. Enquanto o ar quente sobe, o ar frio desce, renovando, ao longo do perfil do dossel, as propriedades térmicas das folhas.

Basicamente toda substância seca das plantas superiores origina-se da fotossíntese que pode ser expressa pela forma simplificada da seguinte equação:



A primeira etapa da equação se refere ao processo de difusão de CO_2 do ar externo ao centro de reação do cloroplasto; a segunda se refere à absorção de água pelas raízes até o centro de reação e a terceira se refere ao processo fotoquímico, que é a conversão da energia luminosa em energia química, usada na redução do CO_2 a carboidratos (etapa 4). O calor de combustão dos carboidratos está normalmente entre 17 a 21 kJ g^{-1} de matéria seca.

O crescimento das plantas depende do saldo de matéria seca acumulada pela fotossíntese menos a perda por respiração. O ganho líquido é conhecido como taxa de assimilação líquida (RADFORD, 1967; BENINCASA, 2003).

Bonner (1962) utilizou a curva de fotossíntese, em folha de beterraba açucareira para calcular a eficiência da utilização da radiação solar, e encontrou uma eficiência fotossintética básica de 20%, admitindo-se que cada 10 moles de fótons absorvidos pela clorofila fornecem 124 kg J^{-1} , e para reduzir uma molécula de CO_2 , ao nível da matéria vegetal, consome-se cerca de 25 kg J^{-1} .

Brown et al. (1966) mediram a assimilação líquida de folhas de alfafa na parte de cima, no meio e na parte de baixo da planta, com diversas intensidades de luz, observaram que a assimilação líquida se reduzia com o aumento da idade das folhas, donde concluíram que a taxa fotossintética das folhas declina com a idade.

2.2 Distribuição da radiação dentro de uma comunidade de plantas

Segundo Larcher (2000), uma cobertura vegetal funciona como um sistema de assimilação, no qual as camadas de folhas estão sobrepostas e se sombreiam mutuamente. A cada profundidade da cobertura vegetal, a radiação que penetra é interceptada e utilizada gradualmente, estando quase totalmente absorvida próximo à superfície do solo. Durante o crescimento da parte aérea e do desenvolvimento das folhas, organiza-se uma arquitetura capaz de um fino ajuste de compensação em relação à forte atenuação da radiação dentro da copa, realizando assim a fotohomeostase.

A otimização da utilização dos recursos naturais é essencial para aumentar a produtividade das culturas sem que haja um aumento de área cultivada, preservando assim o meio-ambiente. Dentre estes recursos, a radiação solar constitui-se numa fonte energética essencial para manutenção básica de qualquer espécie cultivada.

Ao ser interceptada pelo dossel, a radiação solar pode ser absorvida, transmitida e refletida em proporções variáveis, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares e das características estruturais das plantas. As interações da radiação solar com as plantas condicionam o microclima interno da cobertura vegetal, a quantidade e a qualidade da radiação disponível dentro do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas.

Embora a saturação de luz para uma única folha ocorra a uma radiação muito inferior à luz solar, o arranjo das lâminas das folhas e caule no campo é de tal forma que uma considerável parte da porção interna de uma comunidade de plantas não recebe luz suficiente (MOTA, 1983).

A compreensão das relações entre a radiação e o rendimento das culturas, requer um conhecimento da radiação dentro do dossel vegetativo, baseado na transmissibilidade, no arranjo e na inclinação das folhas, densidade e altura das plantas e no ângulo de inclinação dos raios solares (NOBEL, 1991).

Kasanaga e Monsi (1954) mediram em folhas de várias espécies a transmissibilidade da luz, e encontraram valores variando de 2 a 10% e concluíram que a transmissibilidade das folhas se altera com a idade e, em geral, decresce logaritmicamente com o aumento do teor de clorofila.

Brougham (1960) descobriu que, quando o índice de área foliar é igual a 1, a transmissibilidade média é de 74% para o azevém (ereto) e de 50% para os trevos (horizontais). Na luz plena, as folhas com inclinação ótima (81°) são 4,5 vezes mais eficientes que as folhas na posição horizontal, na utilização da luz. Na luz fraca, qualquer afastamento das folhas da posição horizontal, reduz a fotossíntese líquida. A ação fotossintética sobre as folhas, com inclinação ótima, aumenta linearmente com a luz solar, enquanto que a fotossíntese líquida das folhas dispostas horizontalmente alcança o nível mais alto com uma intensidade de luz relativamente fraca, não modificando a assimilação líquida com o aumento desta intensidade.

Segundo Monteith e Unsworth (1990), a fração refletida e transmitida da radiação solar incidente sobre uma vegetação densa depende de dois principais fatores: a fração interceptada pela folhagem e a propriedade de espalhamento da folhagem. A fração interceptada, depende, em termos, do índice de área foliar e da distribuição espacial da folhagem em relação à radiação. A fração espalhada depende das propriedades óticas das cutículas, paredes celulares e pigmentos das folhas.

A composição espectral da radiação é modificada ao ser interceptada pela comunidade vegetal, visto que as folhas apresentam características seletivas quanto ao comprimento de onda incidente. Em geral, a fração fotossinteticamente ativa é menos refletida e mais absorvida pela vegetação que a fração do infravermelho próximo da radiação solar, acarretando enriquecimento da fração PAR disponível à cultura. Portanto, a razão PAR/NIR decresce com a profundidade dentro da vegetação (McCREE, 1968; ANDERSON, 1969; SZEICZ, 1974; ROSS, 1975).

As interações da radiação solar com as plantas condicionam o microclima interno da cobertura vegetal, e a quantidade e a qualidade da radiação disponível dentro do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas.

Larcher (2000) explica que a radiação incidente chega ao interior da cobertura de diversas formas: diretamente pelas clareiras e pelas margens e como radiação difusa proveniente da reflexão das folhas e da superfície do solo, ou ainda como radiação transmitida pelas folhas (radiação que atravessa as folhas). A atenuação da radiação na cobertura vegetal depende principalmente da densidade da folhagem, do arranjo das folhas

no interior da vegetação e do ângulo existente entre a folha e a radiação incidente. A densidade das folhas na vegetação pode ser expressa quantitativamente por meio do índice de área foliar. O índice de área foliar mede, portanto, a quantidade de folhas em m^2 por área de solo também em m^2 , sendo assim uma medida adimensional da cobertura vegetal. Com um índice de área foliar igual a 4, a superfície do solo estaria coberta quatro vezes pela mesma área com folhas ordenadas, evidentemente, em várias camadas. A radiação que penetra em uma cultura de milho é atenuada também pelos pendões, caules e espigas (Figura 1), cujo efeito já se encontra incluído nas medidas que utilizam procedimentos óticos.

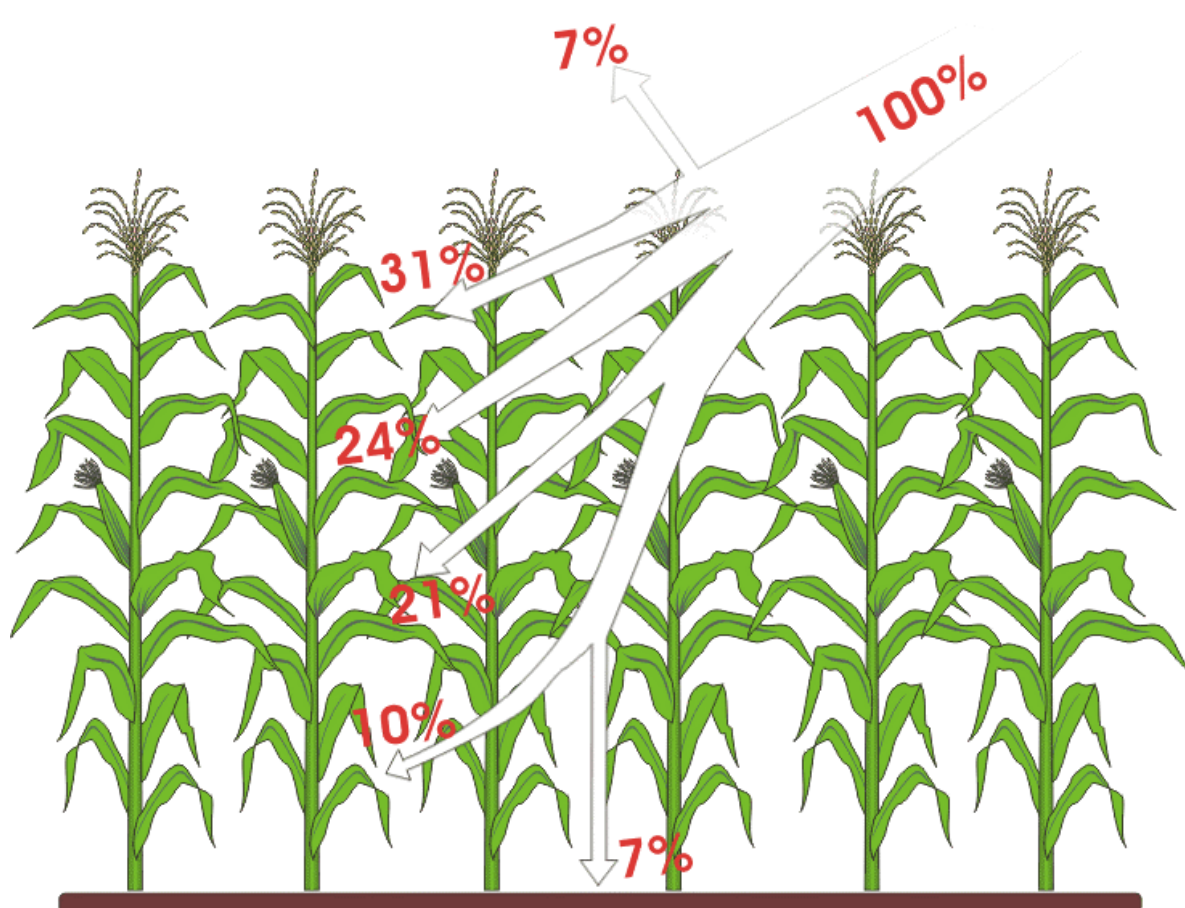


Figura 1. Distribuição da radiação em um campo de milho, segundo Larcher (2000), onde se nota que a radiação se espalha pela cobertura vegetada de maneira mais homogênea.

2.2.1 Recepção da radiação pelas folhas

Da radiação que incide sobre as folhas, uma parte é refletida, outra parte é absorvida e o restante é transmitido.

A radiação total que retorna da folha é, em parte, composta pela radiação refletida por sua superfície e outra parte pela radiação espalhada por seu interior. A capacidade de reflexão da folha depende da natureza da superfície foliar; uma folha pilosa, por exemplo, aumenta a reflexão de maneira considerável. Dentro do espectro visível, as folhas refletem em média apenas de 6 a 10% da radiação (LARCHER, 2000).

Vogelmann e Björn (1986) afirmam que a radiação é absorvida em sua maior parte no interior da folha, onde sua ultrapassagem acontece em sucessivas camadas de células e sua intensidade declina exponencialmente. Já nos espaços intercelulares, a radiação é totalmente refletida. Dependendo da estrutura e da quantidade de cloroplastos, a folha absorve, geralmente de 60 a 80% da radiação fotossinteticamente ativa.

A radiação ultravioleta é detida em grande parte pela cutícula e pela parede externa suberizada da epiderme, bem como por compostos fenólicos do suco celular das camadas mais externas. Assim, cerca de 5%, no máximo, desta radiação consegue alcançar as camadas mais interiores da folha.

A transmitância da folha depende de sua espessura e estrutura. Folhas flexíveis podem transmitir entre 10 e 20% da radiação solar e, folhas muito finas, transmitem até 40%. Folhas espessas e muito duras transmitem menos de 3% (KASANAGA e MONSI, 1954).

Espectralmente, os comprimentos de onda mais transmitidos e também os mais refletidos se encontram na faixa do verde e, especialmente, na banda do vermelho próximo. Assim, a radiação que atravessa a folhagem é especialmente rica nos comprimentos de onda próximos de 500 nm e acima de 800 nm. Sob a folhagem prevalece uma sombra vermelha-verde (SMITH, 1982).

Em seu caminho através da cobertura vegetal, a radiação atravessa várias camadas de folhas justapostas, decrescendo sua intensidade exponencialmente com o aumento do grau de cobertura vegetal, como prevê a lei de Lambert-Beer para a extinção da

luz. Em uma cobertura foliar razoavelmente homogênea, a atenuação da radiação pode ser calculada por meio da equação da extinção de luz (Teoria de *Kubelka-Munk*).

2.2.2 Teoria e predição

Segundo Gates (1980), a teoria de *Kubelka-Munk*, para refletância e transmitância difusas, considera que o dossel vegetativo seja constituído de um número n de elementos (luz espalhada e absorvida) orientados aleatoriamente por unidade de área. Que o número total de elementos entre o topo e a base do dossel seja N . No plano iluminado, ou topo do dossel, $n=0$ e na base do dossel $n=N$ (Figura 2). O fluxo radiante, em direção à planta (para baixo) é I , e na direção oposta (para cima) é J . O fluxo incidente, sobre a superfície $n=0$, é I_0 e é dado como unitário, ou seja $I_0=1$. O fluxo refletido é R e o fluxo transmitido é T .

$$I(0) = 1, \quad J(0) = R; \quad \text{onde } n=0, \quad (2)$$

$$I(N) = T, \quad J(N) = R_g I(N) \quad (3)$$

onde $n=N$, e R_g é a refletância do solo sob o dossel.

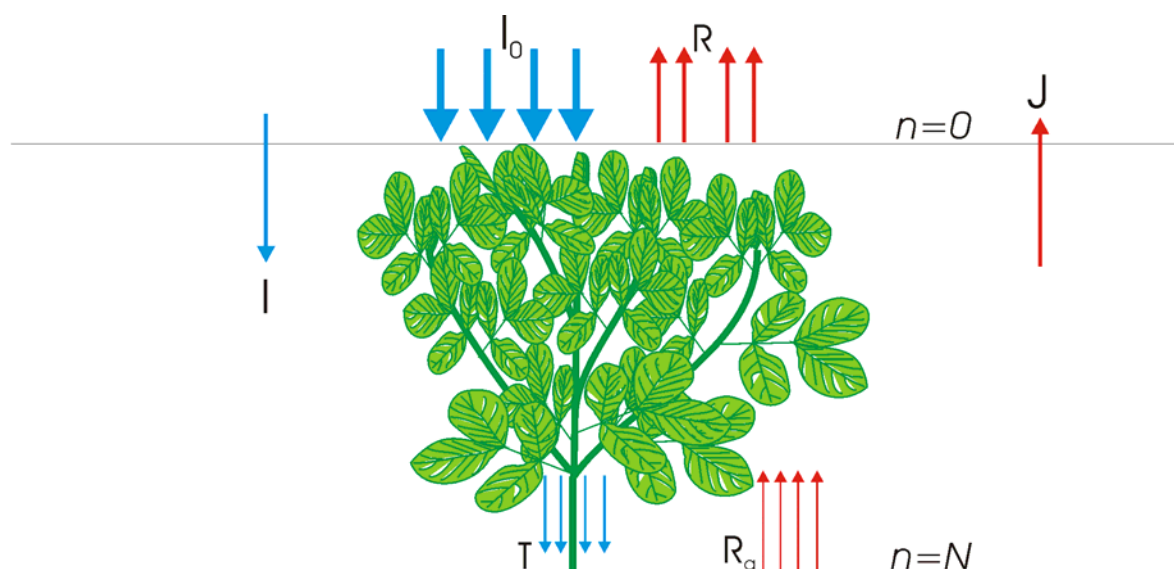


Figura 2. Ilustração básica da teoria de *Kubelka-Munk*.

A teoria é baseada nas seguintes equações diferenciais de absorção e espalhamento:

$$dI = -(k + s)Idn + sJdn \quad (4)$$

$$dJ = (k + s)Jdn - sIdn \quad (5)$$

onde k é o coeficiente de absorção e s é o coeficiente de espalhamento.

Resolvendo a equação (5) para I e substituindo este fator dentro da equação (4) resume-se em:

$$\frac{d^2 J}{dn^2} - \alpha^2 J = 0 \quad (6)$$

Da mesma forma, resolvendo a equação (4) para J e substituindo dentro da equação (5), resulta em:

$$\frac{d^2 I}{dn^2} - \alpha^2 I = 0 \quad (7)$$

onde: $\alpha^2 = k(k + 2s)$ (8)

As equações (6) e (7) são então resolvidas, impondo as condições limites das equações (2) e (3) para chegar aos dois seguintes parâmetros, representantes da intensidade da luz dentro do dossel:

$$J = \frac{(1 - \beta^2) [e^{\alpha(N-n)} - e^{-\alpha(N-n)}] - R_g [(1 - \beta)^2 e^{\alpha(N-n)} - (1 + \beta)^2 e^{-\alpha(N-n)}]}{(1 + \beta)^2 e^{\alpha N} - (1 - \beta)^2 e^{-\alpha N} - R_g (1 - \beta)^2 (e^{\alpha N} - e^{-\alpha N})} \quad (9)$$

$$I = \frac{(1 + \beta)^2 e^{\alpha(N-n)} - (1 - \beta)^2 e^{-\alpha(N-n)} - R_g (1 - \beta^2) [e^{\alpha(N-n)} - e^{-\alpha(N-n)}]}{(1 + \beta)^2 e^{\alpha N} - (1 - \beta)^2 e^{-\alpha N} - R_g (1 - \beta^2) (e^{\alpha N} - e^{-\alpha N})} \quad (10)$$

onde: $\beta^2 = k(k + 2s)$ (11)

As expressões (9) e (10) são equações generalizadas de *Kubelka-Munk* para refletância e transmitância; estas podem ser aplicadas, tanto para uma única folha, como para o dossel inteiro.

Há dois casos especiais, em que a absorvância em um dossel é zero, a qual é aproximada pela interação da radiação infravermelha próxima (700 a 1300 nm) com o dossel; e espalhamento zero. No caso de zero absorção, Allen e Richardson (1968) chegaram à seguinte relação:

$$\frac{J_0}{[s(N-n)]} = \frac{I_0}{[1+s(N-n)]} = \frac{1}{(1+sN)} \quad (12)$$

e atestam que $(J - I)$, em condição de não-absorvimento, é independente de n e é dado por:

$$J - I = -\frac{1}{(1 + sN)} + \frac{TN^2 R_g}{(1 - R_g R_0)} \quad (13)$$

Isto sugere que, em uma condição de não-absorvimento do dossel, o fluxo radiante líquido, em qualquer ponto, é uma função da refletância de cima e de baixo, e do número do espalhamento entre o topo e a base do dossel. A refletância R e a transmitância T , para o não-absorvimento do dossel, com $R_g=0$, são obtidas fixando-se $n=0$ e $n=N$ na equação (12), obtém-se:

$$R = \frac{sN}{(1 + sN)} \quad (14)$$

$$T = \frac{1}{(1 + sN)} \quad (15)$$

Essas equações são hipérbolas assintóticas equilaterais com $R=IT=0$, e $N=-1/s$. Desde que somente o espalhamento seja considerado, a atenuação se dá por espalhamento, no lugar da absorção.

Se no dossel não há espalhamento e a absorção é finita, então $\alpha=k$ e $\beta=1$, as equações (9) e (10) se tornam:

$$J = R_g e^{-k(2N-n)} \quad (16)$$

$$I = I_0 e^{-kn} \quad (17)$$

Essas equações são essencialmente a lei de Bouguer-Lambert-Beer, sobre a atenuação da radiação passando através de um meio com absorvimento médio (NOBEL, 1991).

Em termos práticos, n seria o índice de área foliar, do topo do dossel até o nível do solo.

Segundo Monteith e Unsworth (1990), o coeficiente de extinção também pode ser estimado como:

$$k = \sqrt{\alpha} \quad (18)$$

onde α é o coeficiente de absorção do dossel, dado por:

$$\alpha = 1 - \tau - \rho \quad (19)$$

onde, τ e ρ são respectivamente, os coeficientes de transmissão e reflexão do dossel.

O coeficiente de extinção revela o grau de diminuição da luz dentro do dossel, por absorção e espalhamento. Quando a folhagem não é densa o suficiente para interceptar toda a radiação incidente, o coeficiente de reflexão do dossel depende, até certo ponto, da reflexão do solo, bem como da folhagem.

2.3 Utilização da radiação solar pelas culturas

Segundo Monteith (1994), a produção de matéria seca de uma cultura pode ser expressa como o produto de três termos: 1) disponibilidade do recurso por unidade de área cultivada; 2) eficiência de captura do recurso pela cultura; e 3) taxa de produção de matéria seca por unidade de recurso capturado (fator de conversão).

Somente uma pequena fração da energia solar incidente sobre a atmosfera terrestre a cada ano é realmente absorvida pelos pigmentos fotossintéticos. Por exemplo, para cada mol de CO_2 (12 g C), incorporado pelos carboidratos, aproximadamente 469 kJ são armazenados como energia livre de Gibbs. A quantidade total de energia estocada por ano pela fotossíntese é da ordem de $2,8 \times 10^{21} \text{ J ano}^{-1}$ ($0,7 \times 10^{17} \text{ g ano}^{-1} \times 1/12 \text{ mol g}^{-1} \times 4,79 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$). Conseqüentemente, cerca de 1% da energia radiante absorvida pelos

pigmentos fotossintéticos acaba sendo armazenada nas células das plantas como energia química (NOBEL, 1991).

Conforme Monteith e Unsworth (1990), a eficiência na utilização da radiação solar pelas culturas, na maioria das vezes é baixa, devido às deficiências em água e nutrientes no solo, ataque de pragas e doenças, concorrência com plantas invasoras e ainda à cobertura parcial do solo pela cultura em questão.

Segundo Távora et al. (2002), a configuração do plantio afeta a distribuição de plantas no campo, o que por sua vez, controla a quantidade de radiação interceptada pela cultura.

Board et al. (1992) observaram um aumento na interceptação da luz pela cultura da soja, quando os espaçamentos entre fileiras foram reduzidos, mantendo-se a mesma densidade. Já, Parvez et al. (1989) notaram um aumento na produção proporcional ao aumento na interceptação da radiação.

Outros autores relatam que a produção do amendoim aumenta em resposta à alta densidade de plantas, além de haver uma maior eficiência de uso da água (STONE et al., 1985; ERICKSON et al., 1986), um aumento da radiação solar interceptada (JAAFFAR e GARDNER, 1988; SIMMONDS e AZAM-ALI, 1989) e promove um aumento no rendimento (WEHTJE et al., 1984; MARTINS e PITELLI, 1994). A matéria seca acumulada, por plantas jovens de amendoim, foi altamente correlacionada com a radiação solar interceptada por elas (BELL et al., 1993).

Muchow (1985) relata que para os primeiros 42 dias do subperíodo vegetativo, a eficiência de conversão da PAR, em matéria seca, de 2 cultivares de soja foi 1,20 e 1,32 g MJ⁻¹. A quantidade de matéria seca acumulada acima do solo para o início e durante a floração da soja, obtida por Mayers et al. (1991), foi significativamente linear com o acúmulo da PAR interceptada, para dez cultivares de soja, indicando uma média de eficiência de uso de 1,15 g MJ⁻¹.

A produção de matéria seca freqüentemente mostra correlação positiva com a quantidade de radiação interceptada por culturas isoladas (MONTEITH, 1977) ou consorciadas (TSUBO et al., 2001). Uma revisão geral sobre a radiação interceptada e sua eficiência de uso tem sido recentemente feita por Sinclair e Muchow (1999).

A eficiência da utilização da radiação pode ser computada comparando-se o valor calorimétrico da matéria seca acumulada por unidade de área cultivada com a radiação interceptada pela cultura na mesma área e período (SINCLAIR e MUCHOW, 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização experimental

3.1.1 Local

O ensaio foi conduzido em uma área experimental de 1000 m² do Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais (latitude: 22° 51' S; longitude: 48° 26' W; altitude: 786 m), da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, SP. O clima segundo a classificação de Köppen, é Mesotérmico com chuvas no verão e seca no inverno (Cwa). A temperatura média do mês mais quente é superior a 22° C, a precipitação e a evapotranspiração médias anuais de 1519,8 mm e 948,0 mm, respectivamente (CUNHA et al., 1999).

3.1.2 Solo

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura arenosa, donde foram extraídas amostras para análises química, granulométrica e hídrica, com a finalidade de se conhecerem as condições atuais de fertilidade,

textura (Tabela 1), e capacidade de armazenamento de água (Figura 3), imprescindíveis para os manejos e condução adequados da cultura.

Tabela 1. Resultado da análise química e granulométrica do solo da área experimental.

<i>pH</i>	<i>MO</i>	<i>P</i>	<i>H+Al</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>S</i>	<i>CTC</i>	<i>V</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
CaCl₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol dm ⁻³						%			
6,0	42,5	434,0	15,5	11,3	83,5	46,5	141,5	157,0	90,5	60,9	9,4	29,7

Para o preparo do solo, seguiram-se as recomendações técnicas específicas para o cultivo do amendoim. Para a correção do solo foi aplicado o equivalente a 2,86 t ha⁻¹ de calcário em pré-plantio (TASSO JÚNIOR et al., 2004; GODOY e MORAES, 2000).

A capacidade de água disponível do solo (*CAD* – mm m⁻¹) foi determinada em função da sua umidade à tensão de -0,01 MPa (capacidade de Campo) e à tensão de -1,50 MPa (ponto de murcha permanente), de modo que:

$$CAD = 1000(\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \quad (20)$$

onde θ_{cc} e θ_{pmp} são respectivamente, a umidade volumétrica (m³ m⁻³) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. A *CAD* medida por este método foi de 67 mm m⁻¹. As tensões de água no solo foram imprescindíveis para construção da curva característica de umidade do solo (KLOSOWSKI, 2001).

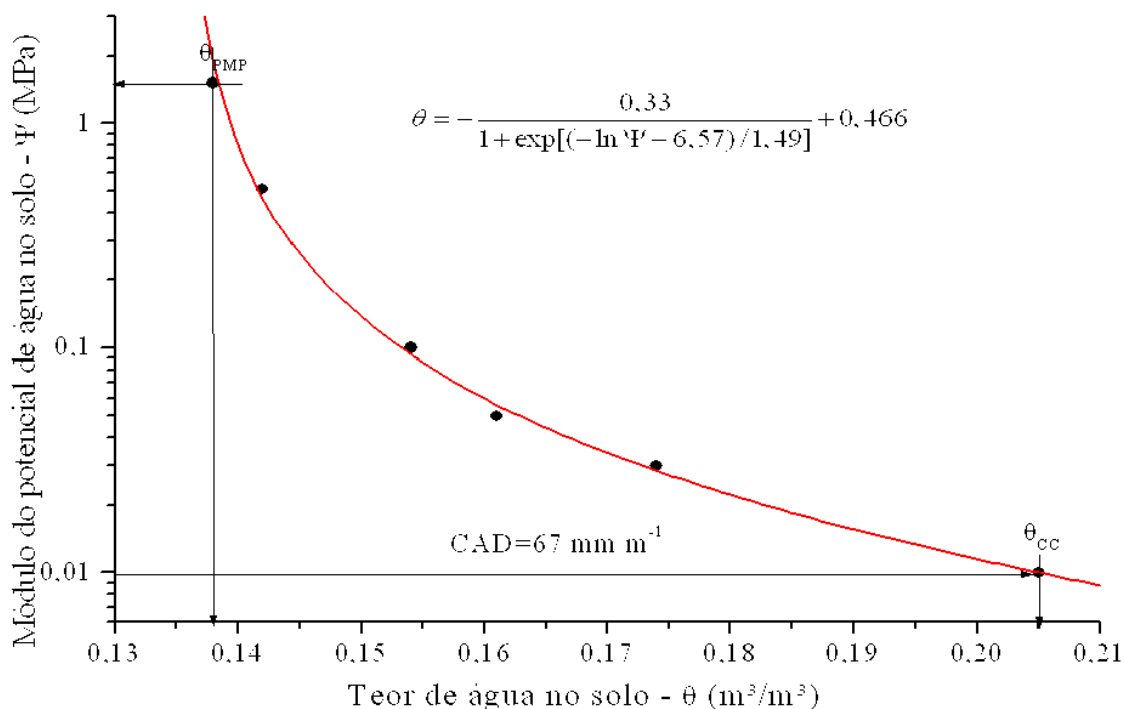


Figura 3. Curva característica de umidade do solo, determinada por Klosowski (2001), na camada de 0 a 30 cm, para a área experimental.

3.1.3 Água

A água para irrigação foi suprida por um reservatório de 1 m³ localizado a 50 m da área experimental com 5 metros de diferença de nível, de maneira que o fornecimento de água à planta se deu por gravidade. O método de irrigação utilizado foi por gotejamento com uso de tubogotejadores. A lâmina bruta irrigada foi controlada com o uso de um hidrômetro e a necessidade de rega foi estabelecida mediante ao balanço hídrico específico para a cultura, conforme Assunção et al. (2001a), baseado na entrada e saída de água no solo, monitorada por sensores eletrônicos. A chuva total durante o ciclo da cultura foi de 352 mm e a irrigação aplicada foi de 277,5 mm, gerando um uso consuntivo de 629,5 mm.

A adubação de cobertura foi aplicada via fertirrigação utilizando-se um equipamento apropriado.

3.1.4 Planta

A cultura estudada foi o amendoim (*Arachis hypogaea* L.), cv. IAC-TATU-ST, cultivada em parcela única sob “tratamento úmido” no período de 11/02/2001 (verão-outono) e colhido em 03/06/2001.

As fases fenológicas do amendoim IAC-TATU-ST foram definidos segundo o critério de Doorenbos e Kassam (1979) (Tabela 2).

Tabela 2. Fases fenológicas do amendoim, em função dos dias após o plantio (DAP).

FASE	PERÍODO	DURAÇÃO	DESCRIÇÃO
0	Estabelecimento	5-10 DAP	Fase que vai da germinação até a emissão de 2 pares de folhas definitivas
1	Vegetativo	10-25 DAP	Fase que vai da emissão do 2 pares de folhas até a emissão dos primeiros botões florais
2	Floração	25-55 DAP	Fase que vai da emissão dos primeiros botões florais até a formação das primeiras vagens
3	Frutificação	55-95 DAP	Fase que vai da formação das vagens até o enchimento dos grãos
4	Maturação	95-105 DAP	Fase que vai do enchimento dos grãos até a colheita

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

A densidade de plantio adotada foi de 180.000 plantas ha⁻¹. As aplicações da adubação foram feitas mediante a análise química do solo, ou seja, 274 kg ha⁻¹ do formulado 0-30-11 no plantio e 60 kg ha⁻¹ do formulado 19-10-19 em cobertura, conforme recomendações técnicas para a cultura (TASSO JÚNIOR et al., 2004; GODOY e MORAES, 2000). Os tratamentos culturais (controle de plantas daninhas, pragas e doenças) foram feitos ao longo do experimento, conforme a necessidade e sob orientações de assessores técnicos.

Dentro da área experimental foram distribuídos 16 vasos de 8 L, em grade regular, com o mesmo tratamento recebido pelo ensaio. A cada semana, um vaso foi retirado aleatoriamente para análise de crescimento das plantas e determinação da energia química acumulada.

Foram feitos registros fotográficos (horizontal e vertical) do plantio à colheita, a cada 3 dias, e observações diárias durante as primeiras semanas de desenvolvimento da cultura, no sentido de reparar falhas no plantio e crescimento retardado.

A primeira amostragem (extração do vaso) foi feita em 18/02/2001, quando 50% das plantas haviam germinado, contando-se aí o dia “zero” após emergência (DAE) e a última foi em 03/06/2001, aos 103 DAE.

3.2 Instrumental e Análise de crescimento

3.2.1 Instrumental

Além da precipitação, da velocidade e direção do vento, da temperatura e umidade do ar, em dois níveis (0,3 e 1,0 m), da temperatura e umidade do solo (modelo 257L), em 2 níveis (0,2 e 0,4 m), do fluxo de calor no solo e do saldo da radiação, foram amostradas também as densidades de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD - $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e as radiações globais (W m^{-2}) medidas durante o ciclo da cultura, à frequência de 1 Hz, sendo que, no intervalo de 5 minutos eram registradas as médias das 300 amostras. Esta aquisição foi feita por um sistema automatizado da *Campbell Scientific* modelo CR21X, sendo os dados armazenados por um módulo de memória portátil modelo SM192, e posteriormente descarregados e manuseados no computador.

As radiações fotossinteticamente ativas (400 a 700 nm) foram monitoradas por sensores quânticos (modelo LI-COR 190SB) e as globais (280 a 2800 nm) por piranômetros (modelo CM3 da Kipp & Zonen), dispostos conforme a Figura 4: onde PAR_0 é leitura feita pelo sensor a 1,5 m acima da superfície, voltado para cima, quantificando a radiação incidente sobre a cultura; PAR_R é a leitura do sensor voltado para cultura, quantificando a radiação refletida pela superfície do solo e da cultura; e PAR_T é a leitura do sensor embaixo da cultura, quantificando a radiação transmitida pelo dossel.



Figura 4. Disposição esquemática dos sensores dentro da cultura.

A radiação interceptada (PAR_I) pela cultura foi estimada com base na lei de conservação da energia (Turner, 2002):

$$PAR_I = PAR_0 - PAR_r - PAR_t \quad (21)$$

A fração da radiação interceptada (F_I) foi calculada como a razão entre a radiação interceptada (PAR_I) pelas plantas e a radiação incidente (PAR_0) acima do dossel (SINCLAIR e MUCHOW, 1999).

$$F_I = \frac{PAR_I}{PAR_0} \quad (22)$$

A distribuição da energia química acumulada na matéria seca (EB) pelos diferentes órgãos ou regiões da planta foi analisada calorimetricamente ao longo do

ciclo, e correlacionados com a matéria seca e com a Radiação Fotossinteticamente Ativa interceptada pela cultura (PAR_I).

3.2.2 Análise de crescimento

A análise de crescimento se baseia, fundamentalmente, no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, resultam da atividade fotossintética. O restante, da absorção de nutrientes e minerais (BENINCASA, 2003).

Para tal, foram observados, semanalmente, o crescimento e o rendimento das plantas, no intuito de acompanhar o acúmulo de energia durante o ciclo da cultura (Figura 5).



Figura 5. Plantas envasadas para amostragem semanal.

A cada amostra foram avaliadas: altura média das plantas e do caule; profundidade média das raízes; número de hastes/planta; número de folhas/haste; número de

flores/haste; número de vagens/planta; número de sementes/vagem; área foliar; área radicular; bem como a matéria seca e o valor energético do caule, das folhas, das raízes, das flores, dos frutos e dos grãos; e ainda a produtividade. As análises destes parâmetros permitiram estudar a translocação orgânica e o comportamento vegetal em termos de produtividade (RADFORD, 1967; BENINCASA, 2003).

As áreas foliar e radicular foram determinadas pelo método destrutivo, usando a técnica do “scanner”, conforme Assunção et al. (2001b).

As amostras foram pesadas e levadas à estufa de aeração forçada para desidratação, onde permaneceram por 72 horas a 80 °C, até atingirem peso constante, conforme recomendam Tsubo et al. (2001) e Benincasa (2003). Após a secagem em estufa, as amostras foram novamente pesadas e acondicionadas para, posteriormente, serem encaminhadas ao laboratório LQCE/DCF/ESALQ/USP, para determinação do poder calorífico superior (PCS).

A distribuição da matéria seca nos diferentes órgãos ou regiões de interesse foi calculada, em percentagem de matéria seca de cada órgão, em relação à matéria seca total.

A Taxa de crescimento absoluto, em $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$, foi determinada, conforme Radford (1967) e Benincasa (2003), como:

$$TCA = \frac{dMS}{dt} \quad (23)$$

onde dMS é a variação amostral da produção de matéria seca por unidade de área e dt é o intervalo de tempo entre as amostragens subseqüentes.

A eficiência de uso da radiação (EUR) foi calculada conforme Turner (2002), como:

$$EUR = \frac{TCA}{PAR_t} \quad (24)$$

expresso em g MJ^{-1} .

A eficiência de conversão da radiação foi calculada conforme Gallagher e Biscoe (1978), onde é definida como a razão entre a energia química acumulada na biomassa (EB) e energia radiante interceptada pelas plantas, ou seja:

$$ECR = \frac{EB}{PAR_I} \quad (25)$$

O Índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área foliar total da planta (Af) e a área do solo sombreada pelas folhas (AP), ou seja:

$$IAF = \frac{Af}{AP} \quad (26)$$

O coeficiente médio de extinção para a cultura do amendoim foi calculado da seguinte forma:

$$k = -\frac{\ln(1 - F_I)}{IAF} \quad (27)$$

O índice de colheita (IC) foi calculado como a razão entre a energia armazenada nos grãos (EG) e a energia armazenada na biomassa (EB) (SINHA et al., 1982):

$$IC = \frac{EG}{EB} \quad (28)$$

3.3 Avaliação e análise dos resultados

Todos os dados coletados foram examinados separadamente para fins de exatidão, confiança e consistência. A relação entre a energia interceptada e a energia acumulada foi analisada por regressões linear e/ou não-linear (RADFORD, 1967).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relações energéticas

4.1.1 Órgãos da planta

A Figura 6A mostra a variação média de crescimento das raízes do amendoim, onde se nota que este sistema cresce de forma sigmoideal. O modelo de crescimento, ajustado com base em dados de amostragem, aponta para um nível de estagnação a 76 cm de profundidade. Este valor se encontra próximo a 0,8 m, encontrado por Dardanelli et al. (1997) para a cultura do amendoim. A importância deste parâmetro reside no fato de que o seu uso é bastante comum em trabalhos que envolvem o manejo da irrigação (Assunção et al., 2001a).

A Figura 6B e a Figura 6C apresentam, respectivamente, as marchas de crescimento do caule e da planta do amendoim, ao longo do seu ciclo. Nota-se, portanto, que ambos apresentam características semelhantes àquela da Figura 6A. As divergências encontradas estão nos parâmetros de ajustes, os quais podem ser correlacionados linearmente para produzir um modelo de previsão de profundidade das raízes, em função do comprimento do caule ou da altura da planta. Esta técnica foi utilizada por Assunção et al. (2001a) para estimar a profundidade das raízes, para fins de manejo de água no solo, tomando-se como base medidas amostrais da altura das plantas. Esta técnica é particularmente importante, uma vez que não é necessário recorrer a escavações e extrações de plantas para tais fins.

Observando-se estas ilustrações, percebe-se que os crescimentos tornam-se menos acentuados após o período de crescimento vegetativo (fase 1).

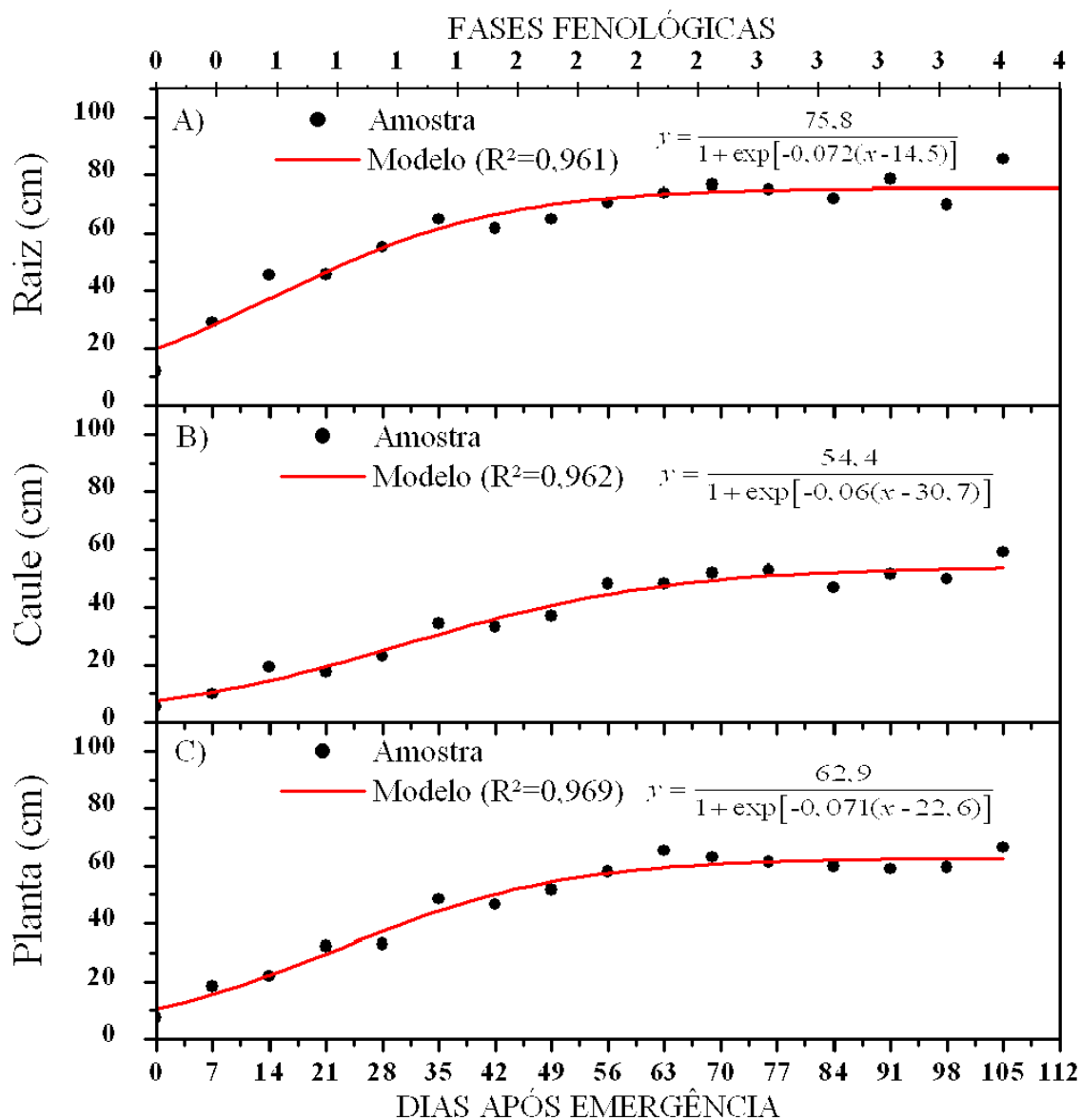


Figura 6. Modelos de crescimento de raízes (A), de caule (B) e da planta (C) do amendoim, em função dos dias após a emergência.

A Figura 7A e Figura 7B apresentam, respectivamente, modelos de produção da biomassa e sua energia química acumulada, em função do tempo de cultivo do amendoim. Excepcionalmente, estes modelos têm características mais lineares que sigmoidal,

uma vez que as raízes possuem crescimento indeterminado, enquanto a planta se encontra dentro do seu ciclo fenológico. O modelo de produção da biomassa sugere que as raízes armazenam diariamente a matéria seca a uma taxa média de $0,471 \text{ g m}^{-2}$, o que caracteriza um crescimento das raízes em espessura, número e volume. Conseqüentemente, estes órgãos acumulam energia química a uma taxa média diária de $0,008 \text{ MJ m}^{-2}$.

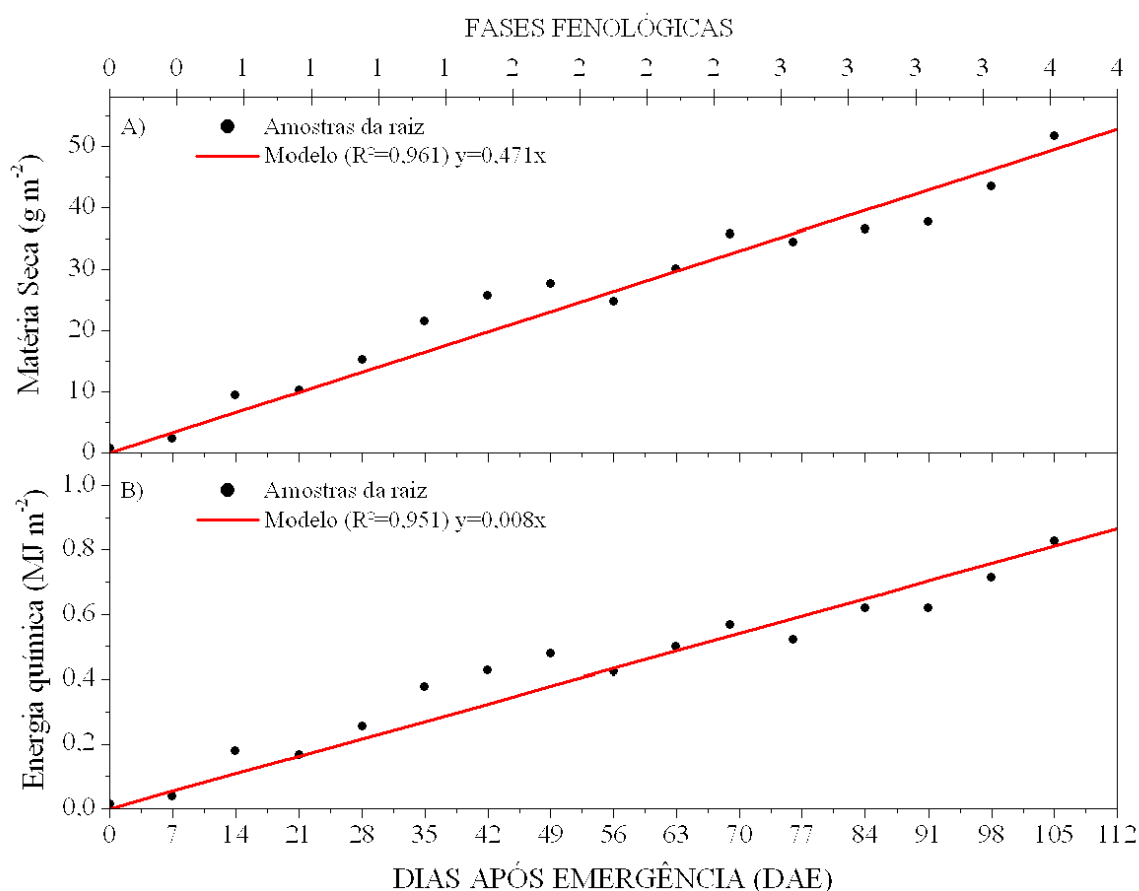


Figura 7. Modelos de produção para o sistema radicular do amendoim: A) matéria seca; B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.

Diferente do modelo de produção de biomassa nas raízes, o armazenamento de matéria seca no sistema caulinar do amendoim possui uma forma logística (Figura 8A). Nesta análise, o modelo aponta para um ponto de estagnação de 178 g m^{-2} de matéria seca, no final do ciclo, o que poderá acumular neste órgão até 3 MJ m^{-2} de energia química (Figura 8B). O estudo do acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos das plantas é

bastante útil porque permite avaliar o potencial produtivo da cultura, inclusive o uso energético potencial do resíduo gerado pós-colheita.

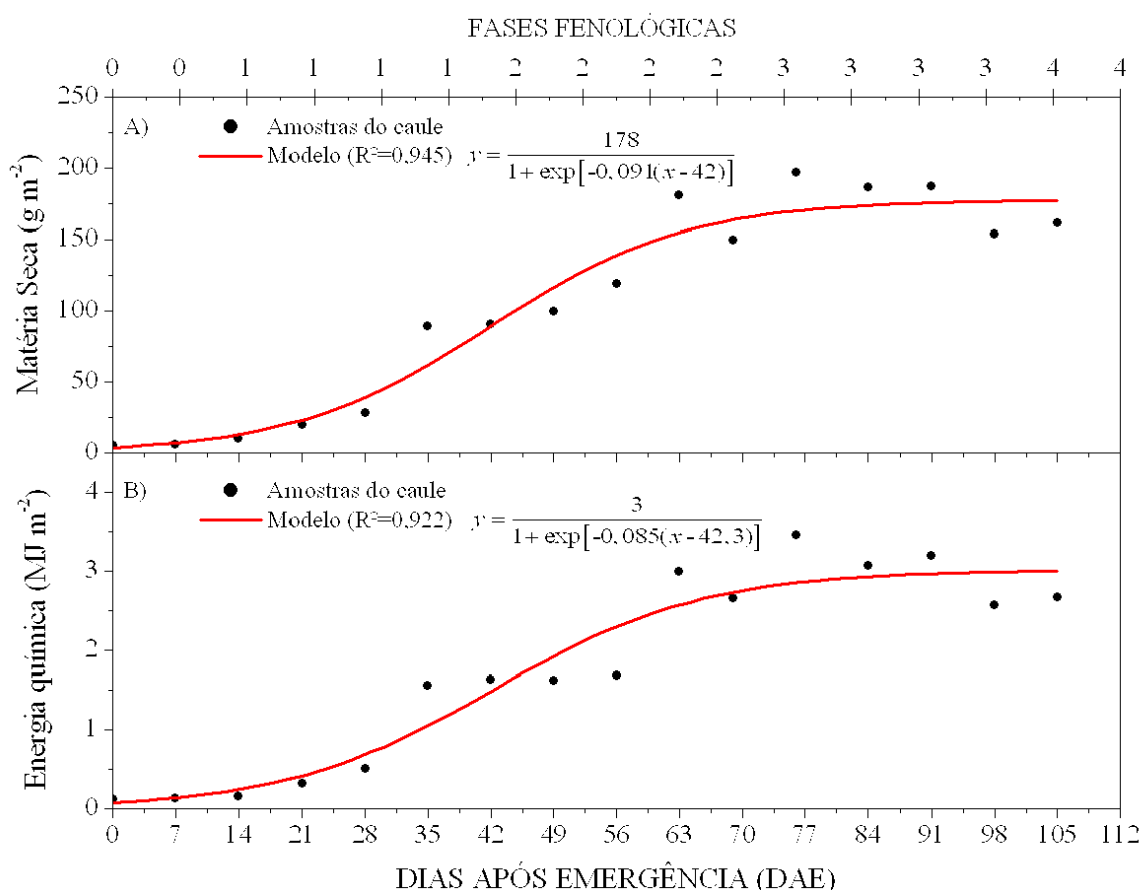


Figura 8. Modelos de produção para o sistema caulinar do amendoim: A) matéria seca e B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.

A Figura 9A mostra o modelo de produção da biomassa pelo sistema foliar, em função do tempo, o qual foi ajustado por uma função logística de pico. Este modelo apresenta uma fase crescente de produção de biomassa que vai do estabelecimento até o início do enchimento dos grãos, também aponta o período em que a cultura apresenta a produção máxima de matéria seca, fase intermediária de enchimento de grãos (aos 84 DAP), depois há uma perda de matéria seca, provavelmente devido à queda de folhas, decorrente do processo de maturação das vagens. Como a energia química acumulada da biomassa é uma função linear da qualidade das substâncias orgânicas presentes na matéria seca, o modelo deste

parâmetro também apresenta o mesmo comportamento, durante toda a fase fenológica da cultura (Figura 9B).

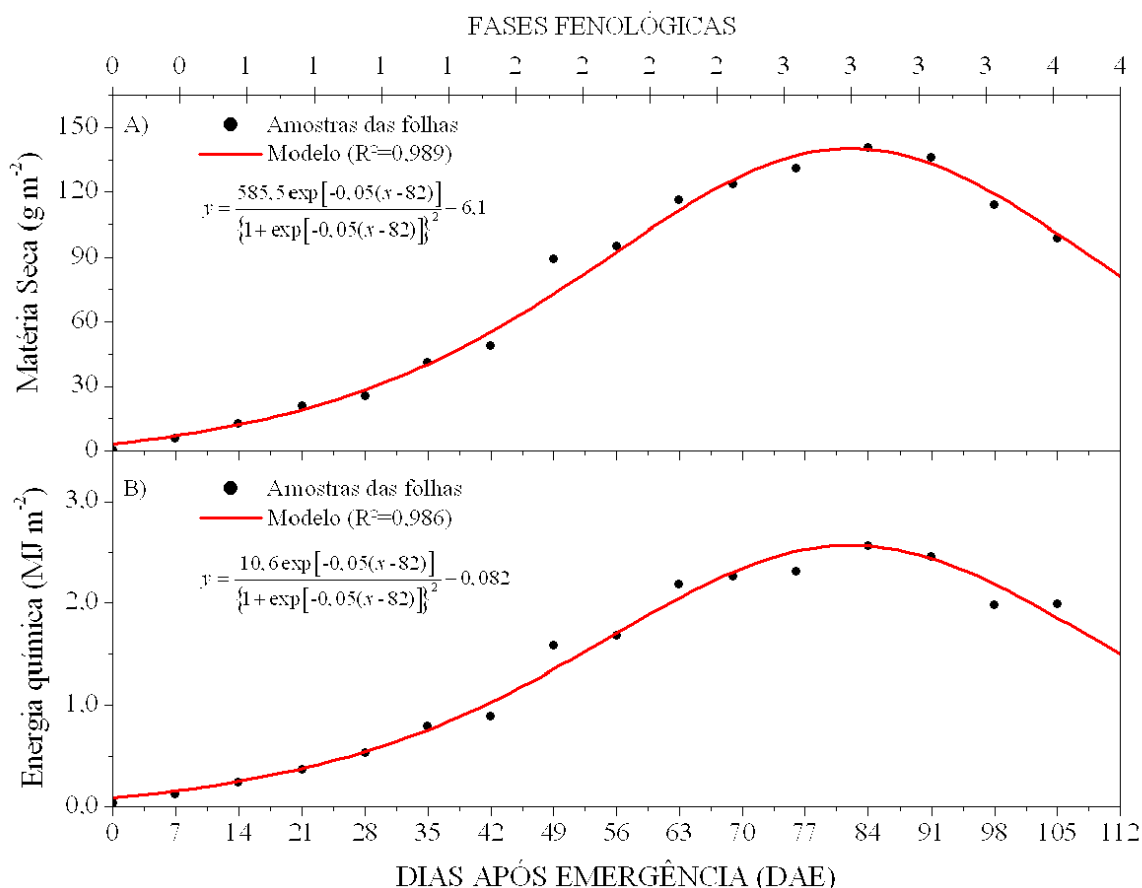


Figura 9. Modelos de produção para o sistema foliar do amendoim: A) matéria seca; B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.

Levando em consideração as formas de obtenção dos dados, neste estudo, foi possível determinar o coeficiente de extinção para a cultura do amendoim (k), dependendo da fase fenológica da cultura, este coeficiente variou entre 0,32 a 0,92, sendo que a média de todo o período foi de 0,68. Driessen e Konijn (1992) sugerem um valor médio de 0,6 para a cultura do amendoim.

Robertson et al. (2001) encontraram, para o feijão-de-pomba, valores do coeficiente de extinção variando de 0,6 para 0,9. Tsubo et al. (2001), em suas pesquisas,

encontraram $k=0,64$, para o feijão, $k=0,43$, para o milho, e $k=0,45$, para associação entre milho e feijão.

A Figura 10 mostra o modelo de produção da matéria seca exclusivamente dos frutos do amendoim, onde se nota que a frutificação ocorre simultaneamente com a floração, cuja matéria seca vai se acumulando nas vagens e nos grãos até atingir um ponto de estagnação de $515,3 \text{ g m}^{-2}$, neste ponto, a energia química acumulada nestes órgãos pode atingir um nível de $10,2 \text{ MJ m}^{-2}$, segundo aponta o modelo de crescimento, em função do tempo.

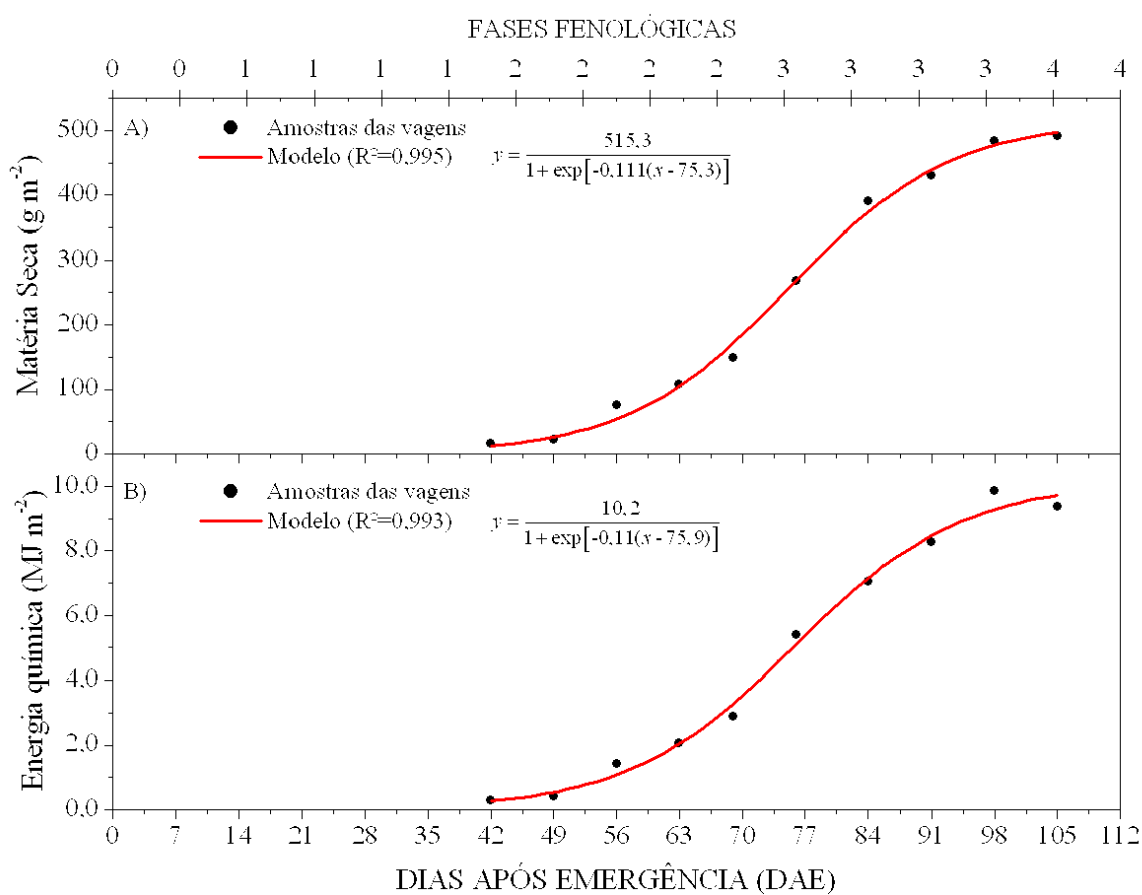


Figura 10. Modelos de produção de vagens do amendoim: A) matéria seca; B) energia química acumulada na biomassa, em função de dias após emergência.

A Tabela 3 apresenta a distribuição média do teor de água, matéria seca e energia química acumulada pela planta de amendoim nos diferentes órgãos. Nota-se que

raízes são os órgãos com menor produção de matéria seca, conseqüentemente, também acumula uma menor quantidade de energia, no entanto 88% delas são constituídas por água. Pela Figura 11 percebe-se que a partir dos 14 DAE, o acúmulo de matéria seca nas raízes vão reduzindo até atingir um nível constante de 5%, no final da fase de enchimento dos grãos.

O caule do amendoim, por ser um órgão de sustentação da planta e condutor da seiva bruta, detém cerca de 21% de matéria seca que equivale a 19% da energia química acumulada nos órgãos e tecidos de toda a planta, sendo que em sua constituição 85% é composta por água. Já as folhas apresentam menos água em suas constituições, 83%, isto porque possuem uma superfície passível de sofrer perda de água por evapotranspiração. Teoricamente seria um órgão com grande quantidade de matéria seca, no entanto isto não é observado devido ao fato de que a maioria da matéria seca produzida pelas folhas, pelo processo da fotossíntese, são carreada para formação e fortificação de outros órgãos, como raízes, caule e frutos, além da manutenção da taxa respiratória. A taxa máxima de ganho energético coincide com o período de enchimento dos grãos. Este fato pode ser acompanhado mediante a Figura 11, onde se nota que o acúmulo de matéria seca nas folhas é inversa à do caule. Apesar de ambos decaírem durante a fase de floração.

Durante a frutificação, a matéria seca acumula-se nas vagens e nos grãos. Em média, as vagens apresentam um teor de água em torno de 64%, o qual vai reduzindo até atingir um nível entre 23 a 28%.

Tabela 3. Distribuição média do teor de água, matéria seca e energia química acumulada nos diferentes órgãos da planta de amendoim, durante todo o ciclo da cultura.

ÓRGÃOS	Teor de H ₂ O (%)	Matéria seca (%)	Energia (%)
Raízes	88	6	5
Caule	85	21	19
Folhas	83	14	14
Vagens	64	59	61
Planta	82	100	100

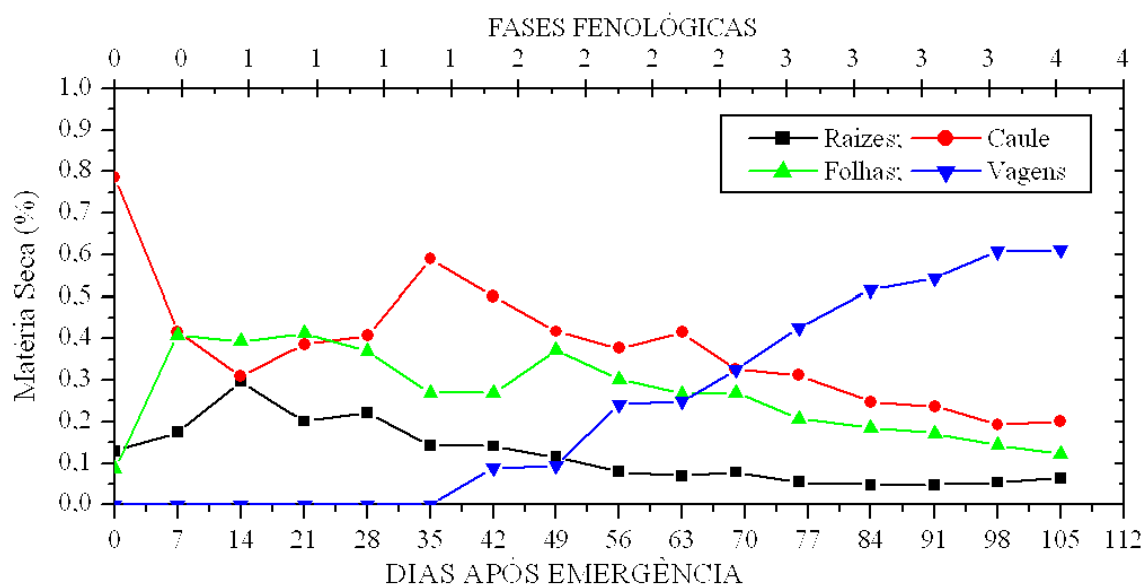


Figura 11. Distribuição da matéria seca, em percentagem do total, em diferentes órgãos das plantas de amendoim.

4.1.2 Planta do amendoim

A Figura 12 apresenta a variação média diária das frações PAR, interceptada, transmitida e refletida pelo dossel de plantas de amendoim. Esta figura indica que a fração PAR_I ficou constante (0,05) até o início da fase de desenvolvimento vegetativo, cresceu pouco até o início da fase de floração, onde permaneceu aproximadamente constante (0,90) durante a fase de floração e enchimento dos grãos e voltou a reduzir durante a maturação dos frutos. A PAR_T teve um comportamento invertido da PAR_I , e a PAR_R permaneceu aproximadamente constante (0,05) durante todo o ciclo da cultura. Isto é explicado pela densidade da folhagem das plantas. À medida que as plantas se desenvolvem, as folhas aumentam a capacidade de interceptação da radiação e reduz a quantidade de luz que chega ao solo, como a clorofila tem uma grande rejeição pela cor verde do espectro, as folhas praticamente só refletem esta nuance (LARCHER, 2000; AWAL e IKEDA, 2003).

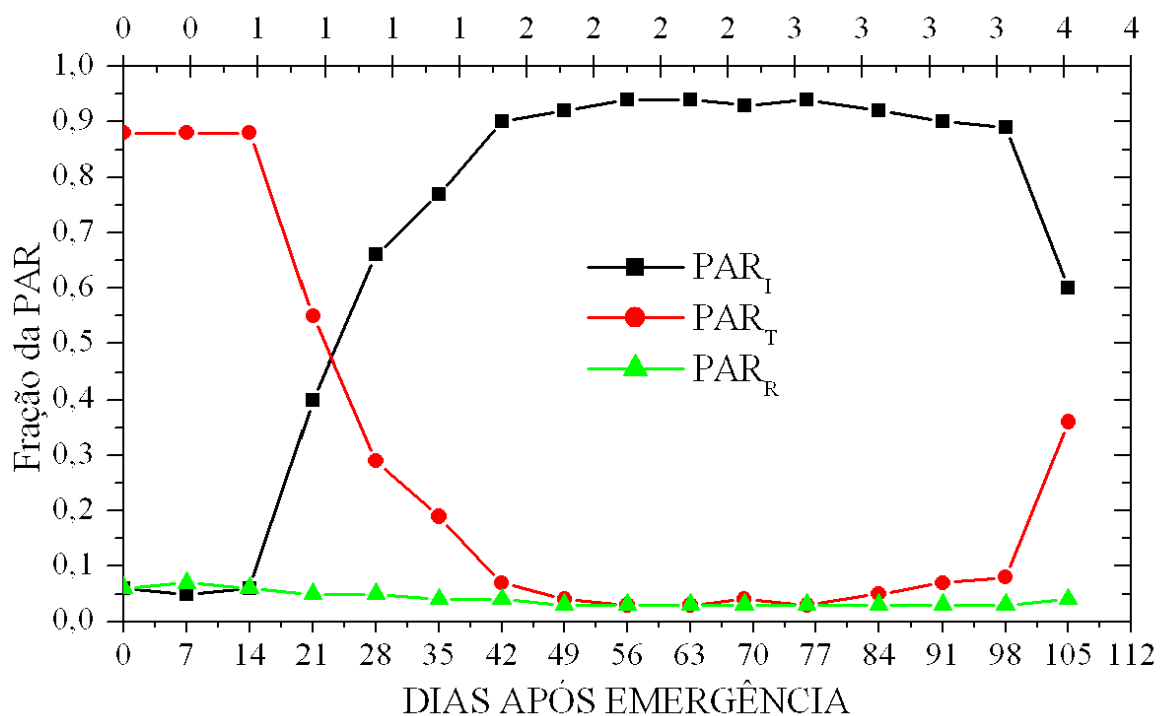


Figura 12. Variação média diária das frações PAR (interceptada, transmitida e refletida) sobre o dossel de plantas de amendoim.

A Figura 13 mostra a distribuição temporal da produtividade da biomassa acumulada (A) e a taxa de crescimento absoluta (B). A matéria seca acumulada cresceu sigmoidalmente até 803 g m^{-2} , e a taxa de crescimento absoluta cresceu com o tempo até um ponto máximo ($14 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \pm 4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), dos 56 aos 70 DAE, para posteriormente decrescer até o final do ciclo da cultura. Observando-se esta figura, nota-se que a taxa de crescimento absoluta é uma função derivada da matéria seca acumulada. Távora et al. (2002) encontraram taxas de rendimentos crescentes com a densidade de plantio do amendoim.

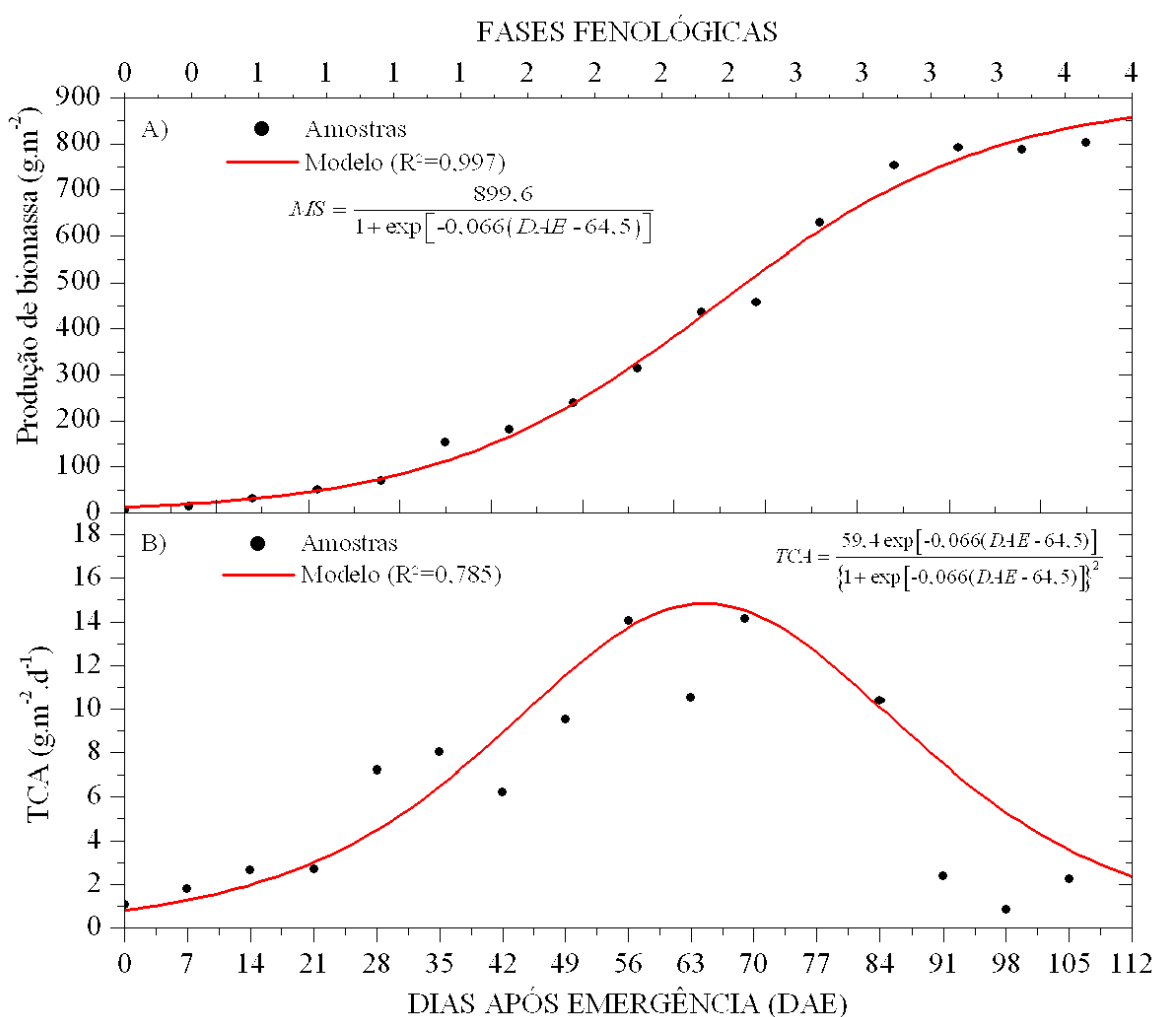


Figura 13. A) matéria seca acumulada (g m^{-2}) e B) taxa de crescimento absoluta em $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

A Figura 14 mostra a evolução do índice de área foliar (A), bem como a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (B), pelo dossel vegetativo da cultura do amendoim. Em ambos os casos o crescimento, em função do tempo, é não-linear, ou seja, à medida que as plantas desenvolvem, há um aumento proporcional do índice de cobertura do solo, que é uma função do índice de área foliar, conseqüentemente a porção de energia interceptada também aumenta com estes índices.

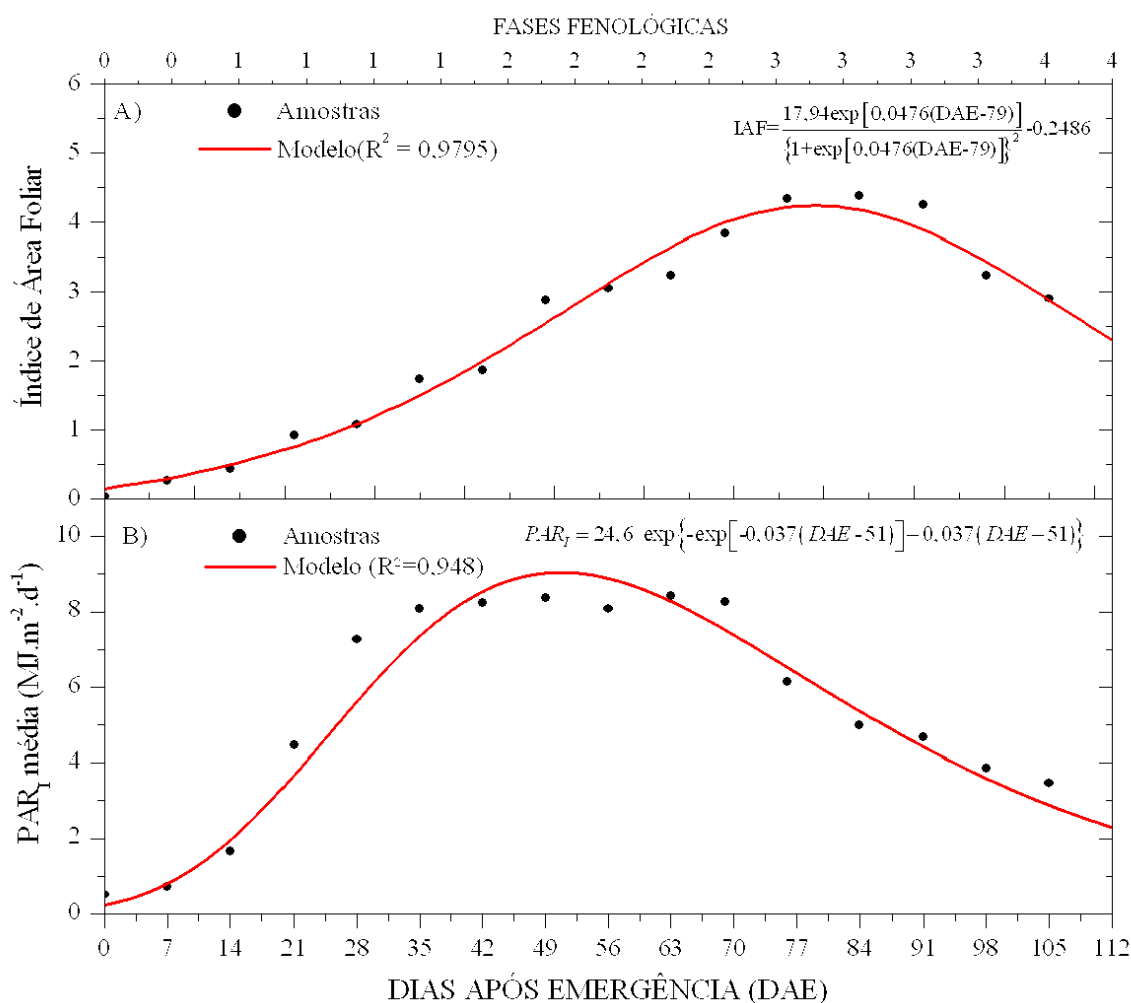


Figura 14. A) índice de área foliar e B) radiação fotossinteticamente ativa ($MJ \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$) interceptado pela cultura do amendoim, em função do tempo.

O índice de área foliar atingiu $4,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, aos 84 dias após emergência (início do enchimento dos grãos), enquanto a interceptação máxima ocorreu no período de 35 e 70 dias (período de floração) com um pico de $8,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Após a fase de formação dos frutos e enchimento dos grãos, a radiação interceptada diariamente decresce até o final do ciclo da cultura, período em que as plantas reduzem o índice de área foliar. Apesar de certas similaridades entre a Figura 14A e a Figura 14B, a defasagem entre os picos, de ± 14 dias, é explicada pelo acamamento sofrido pela cultura devido às frequentes chuvas ocorridas durante esta fase de desenvolvimento. O acamamento fez com que o instrumento embaixo do dossel

detectasse menos energia, sem que haja redução da área foliar efetiva (fato este comprovado pela foto na Figura 15).



Figura 15. Aumento da cobertura até os 64 DAE e acamamento observado no amendoim após os 64 DAE (dias após a emergência).

A Figura 16 mostra a radiação fotossinteticamente ativa acumulada diariamente durante o ciclo da cultura do amendoim, bem como a energia química acumulada nos órgãos e tecidos das plantas, determinada por calorimetria. Nota-se que ambas as curvas possuem o mesmo tipo de crescimento. Também é possível perceber que a Figura 14B tem a aparência da derivada da derivada da função da Figura 16A. Nota-se que foram necessários, aproximadamente, 600 MJ m^{-2} de radiação PAR interceptada em todo o ciclo da cultura, cerca de 105 dias. Estes valores estão próximos de 600 a 800 MJ m^{-2} , observados por Awal e Ikeda (2003), para o amendoim cultivado em 3 diferentes épocas de plantio. Lecoeur e Ney (2003) encontraram valores variando de 400 a 600 MJ m^{-2} , para 2 cultivares de ervilha.

A energia química acumulada na biomassa (Figura 16B) também é representada por uma função logística de crescimento. No final do ciclo da cultura, a energia da biomassa, determinada por calorimetria, atingiu a magnitude de 18 MJ m⁻². Tsubo et al. (2001) obtiveram valores calorimétricos na fase final da cultura, na ordem de 16,8 MJ m⁻² para o feijão, num período de 126 dias, e de 17,8 MJ m⁻² para o milho, com igual período.

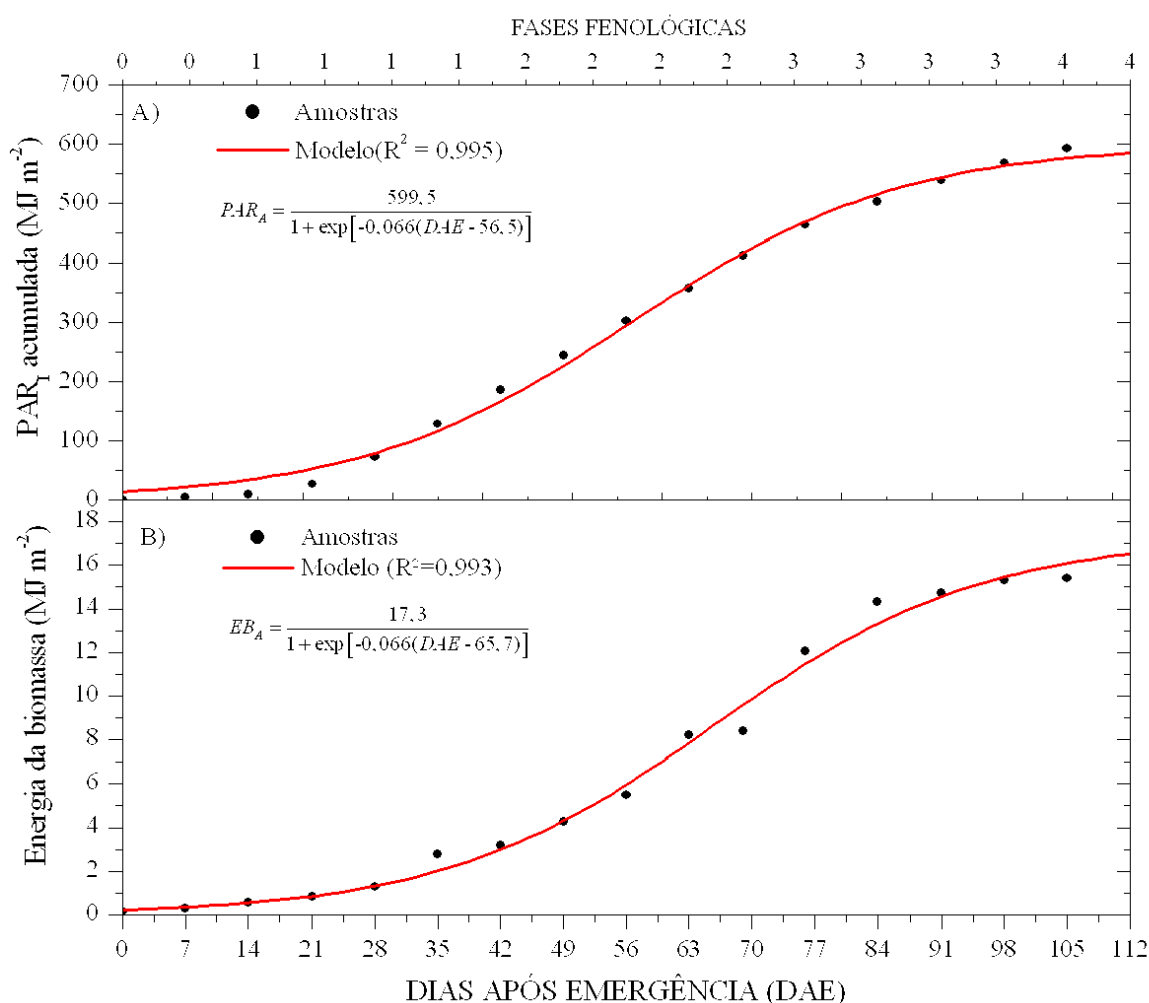


Figura 16. A) Radiação fotossinteticamente ativa acumulada diariamente durante o ciclo da cultura; B) Energia química acumulada na planta, medida calorimetricamente em todo o ciclo da cultura.

A Figura 17A mostra a correlação entre os valores acumulados da biomassa produzida e da PAR interceptada, em iguais períodos, o que determina a eficiência de uso da radiação pela planta para produção de matéria seca. Diante desta análise foi possível observar que a eficiência de uso da radiação média de $1,33 \text{ g MJ}^{-1}$, valor inferior àquele encontrado por Collino et al. (2001) que foi de $1,45 \text{ g MJ}^{-1}$ para um período de crescimento do amendoim de 113 DAE. Collino et al. (2001), em seu trabalho, afirma que o valor, acima mencionado, ficou levemente superior àquele sugerido por Sinclair e Muchow (1999), provavelmente porque a radiação interceptada foi tomada ao meio-dia, e conseqüentemente o seu valor ficou superestimado. Awal e Ikeda (2003) determinaram, para o amendoim, no Japão, valores variando de $1,07$ a $1,53 \text{ g MJ}^{-1}$. Porém, na literatura especializada são encontrados valores que variam de $0,95$ a $2,24 \text{ g MJ}^{-1}$ (REDDLY e WILLEY, 1981; MARSHALL e WILLEY, 1983; HARRIS et al, 1987; BELL et al., 1993). Segundo estes autores, esta ampla faixa de variação é atribuída às condições climáticas, à densidade de plantio e à localização geográfica.

Confalone e Navarro (1999) encontraram valores de EUR para soja, variando de $0,97$ a $1,92 \text{ g MJ}^{-1}$, dependendo do estágio de desenvolvimento e do tratamento hídrico. Para o tratamento com irrigação, o valor de EUR médio foi de $1,37 \text{ g MJ}^{-1}$. Lecoeur e Ney (2003) também observaram uma correlação positiva e não-linear entre estas duas variáveis, para ervilha, mesmo assim obtiveram uma eficiência média variando de $1,52$ a $2,99 \text{ MJ m}^{-2}$, dependendo do genótipo. Sinclair e Muchow (1999) relatam valores variando de $0,98$ a $1,37 \text{ g MJ}^{-1}$. França et al. (1999) obtiveram, para a cultura do milho, valores variando de $1,44$ a $2,60 \text{ g MJ}^{-1}$, enquanto Schöffel e Volpe (2001), obtiveram para a soja valores, variando de $1,13$ a $1,30 \text{ g MJ}^{-1}$, dependendo da cultivar. Müller et al. (2001) verificaram, que para o milho, o valor da EUR foi de $1,71 \text{ g MJ}^{-1}$, da emergência até a nona folha expandida, e de $3,58 \text{ g MJ}^{-1}$, do final do subperíodo vegetativo até o enchimento de grãos, indicando que este parâmetro fisiológico é variável com a idade da planta.

A Figura 17B mostra a eficiência das plantas de amendoim em converterem a energia luminosa interceptada em energia química contida na biomassa. Nota-se, portanto, que a distribuição da energia química da biomassa em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada mostrou correlação positiva e não-linear com o tempo. No entanto, a eficiência média de conversão da radiação interceptada (ECR) foi de

aproximadamente $0,025 \text{ MJ MJ}^{-1}$, ou seja, 2,5%, valor este compatível com aqueles citados em literatura (NOBEL, 1991; SINCLAIR e MUCHOW, 1999; TSUBO et al., 2001). Tsubo et al. (2001) obtiveram valores variando de 2,2 a 2,5% para o feijão, cultivado sozinho, de 4,2 a 4,4% para o feijão consorciado com milho e de 4,6 a 4,7% para milho cultivado sozinho. Estas diferenças são atribuídas à grande eficiência que as plantas C_4 (milho) têm em converter energia.

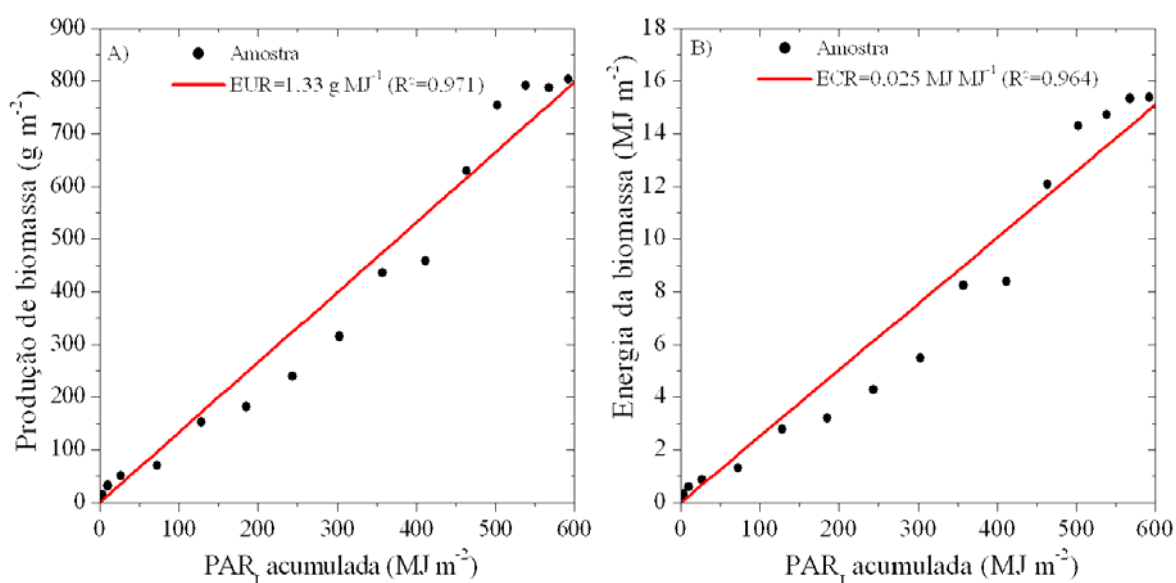


Figura 17. A) eficiência de uso da radiação interceptada pela cultura do amendoim para produção de biomassa (g m^{-2}) e B) eficiência de conversão da radiação interceptada (MJ m^{-2}) em energia química acumulada na biomassa do amendoim.

O índice de colheita (IC) é um coeficiente que representa a fração da produção comercialmente rentável dentro da produção total da biomassa de uma cultura, o qual é muito utilizado em modelos de produção (DOORENBOS e KASSAM, 1979; DRIESSEN e KONIJN, 1992). Neste trabalho, o valor do índice de colheita foi de 0,38, quando se adota as relações energéticas (energia armazenada nos grãos pela energia armazenada total) e de 0,27 quando se adota as relações entre a matéria seca (matéria seca do grão pela biomassa total). Diante deste fato, IC está de acordo com os valores recomendados por Doorenbos e Kassam (1979), na ordem de 0,25 a 0,35. Collino et al. (2001), trabalhando com 2 cultivares de amendoim, observaram $IC=0,60$ (base em energia) e $IC=0,48$ (base em

matéria seca) para uma cultivar com ciclo de 155 dias, e $IC=0,52$ (base em energia) e $IC=0,40$ (base em matéria seca), para uma outra cultivar com ciclo de 113 dias. Em média, Tsubo et al. (2001) observaram $IC=0,46$ para o milho e $IC=0,31$ para o feijão, enquanto Robertson et al. (2001) observaram, para o feijão-de-pomba, IC variando de 0,32 a 0,35.

A produtividade observada foi equivalente a $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de amendoim em casca. Considerando-se um rendimento médio de 70% de grãos, estima-se que a produtividade para esta área experimental foi equivalente a 3150 kg ha^{-1} , proporcionando uma relação plantio: colheita de 1:30.

5. CONCLUSÕES

1. A produção de biomassa e a energia acumulada durante o ciclo da cultura, crescem similarmente à radiação PAR interceptada, refletindo o efeito do índice de área foliar; com 600 MJ m^{-2} de radiação PAR interceptada em 105 dias;
2. A função que representa a taxa de crescimento absoluta do amendoim é similar à derivada da função que representa o modelo de produção da biomassa; sendo a eficiência média de uso da radiação PAR em biomassa na cultura do amendoim foi de $1,33 \text{ g MJ}^{-1}$;
3. A produtividade observada foi equivalente a $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de amendoim em casca, apresentando um índice de colheita, em base de energia de 0,38.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, W.A., RICHARDSON, A.J. Interaction of light with a plant canopy. **Journal of Optical Society American**, n. 58, p. 1023-1031, 1968.

ANDERSON, M.C. A comparison of two theories of scattering of radiation in crops. **Agricultural Meteorology**. n.6, p.399-405, 1969.

ASSUNÇÃO H.F., ESCOBEDO J.F., SILVA A. A. G., ASSIS ASSUNÇÃO I.C. Um modelo agrometeorológico para a estimativa da demanda de água do amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001a, p.379-380.

ASSUNÇÃO H.F., ESCOBEDO J.F., ASSIS ASSUNÇÃO I.C., CUNHA A. R., GALVANI E. Uso de imagem digital para determinação de áreas foliares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001b, p.895-896.

AWAL, M.A. and IKEDA, T. Effect of elevated soil temperature on radiation-use efficiency in peanut stands. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.118, p.63-74, 2003.

BELL, M.J.; WRIGHT, G.C.; HAMMER, G.L. Leaf nitrogen content and minimum temperature interaction affect radiation-use efficiency in peanut. **Crop Science**, Madison, v.33, p.476-481, 1993.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 2003, 42p.

- BERNINGER, F. Simulated irradiance and temperature estimates as a possible source of bias in the simulation of photosynthesis. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam: Elsevier, n.71, v.1, p. 19–32, 1994.
- BOARD, J.E., KAMAL, M., HARVIU.E, B.H. Temporal importance of greater light interception to increase yield in narrow row soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.575-579, 1992.
- BONNER, J. The upper limit of crop yield. **Science**, Phoenix, v.137, p.11-15, 1962.
- BROUGHAM, R.W. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growth rate of some pasture and crop plants. **Annals of Botany**, London, v.24, p. 463-473, 1960.
- BROWN, R.H., COOPER, R.B., BLASER, R.E. Effect of leaf age on efficiency. **Crop Science**, Madison, v.6, p. 206-209, 1966.
- CARLEY, D.H., FLETCHER, S.M. An overview of world peanut markets. In: PATTEE, H.S., STALKER, H.T. **Advances in peanut science**. American Peanut Resource and Education Society Incorporation, Stillwater. p. 554-557, 1995.
- COLLINO, D.J., DARDANELLI, J.L., SERENO, R. and RACCA, RW. Physiological responses of argentine peanut varieties to water stress. Light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. **Field Crops Research**, v.70, p.177-184, 2001.
- CONFALONE, A., NAVARRO, D.M. Influência do "déficit" hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.5 n.3, p.195-198, 1999.
- CUNHA, A.R.; KLOSOWSKI, E.S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP/FCA, 1999, p.487-491.
- DARDANELLI, J.L., BACHMEIER, O.A., SERENO, R., GIL, R. Rooting depth and water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. **Fild Crops Research**, v.54, p.29-38, 1997.
- DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. (**FAO – Irrigation and Drainage, paper 33**). Tradução: Efeito da água no rendimento das culturas; de

- GUEYI, H. R.; SOUZA, A. A.; DAMASCENO, F. A. V.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande, UFPB, 1994. 306p.
- DRIESSEN, P.M.; KONIJN, N.T. (Ed) Land-use systems analysis. Wageningen, The Netherlands, 230p. 1992.
- ERICKSON, P.I., STONE, J.F., GARTON, J.E. Critical evaporative demands for differential action in peanut growth in narrow and wide row spacing. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.254-257, 1986.
- 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, 1999.
- GALLAGHER, J.L., BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal of Agriculture and Sci. Camb.** V.91, p.47-60, 1978.
- GATES, D.M. **Biophysical ecology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 611p.
- GODOY, I.J., MORAES, S.A. **Produção de amendoim em São Paulo**. Campinas: IAC, 2000. 20p.
- HARRIS, D., NATARAJAN, M., WILLEY, R.W. Physiological basis for yield advantage in a sorghum/groundnut intercrop exposed to drought. 1. Dry-matter production, yield, and light interception. *Field Crops Research*. v.17, p.259–272, 1987.
- JAFFAR, Z., GARDNER, F.P. Canopy development, yield, and market quality in peanut as affected by genotype and planting pattern. **Crop Science**, Madison, v.28, 299-305, 1988.
- KASANAGA, H., MONSI, M. On the light transmission of leaves and its meaning for the production of matter in plant community. **Japanese Journal of Botany**, Tokio, v.14, p. 304-324, 1954.
- KLOSOWSKI, E.S. Determinação do consumo de água em cultura de pimentão (*Capsicum annum* L.) em ambiente protegido. Botucatu, 2001, 83p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: PRADO, C.H.B.A. São Carlos: Rima, 2000. 531p.
- LECOEUR, J. and NEY, B. Change with time in potential radiation-use efficiency in field pea. **European Journal of Agronomy**, v.19, p.91-105, 2003.

- MACHADO, E.C. et al. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas. v.44, n.1, p.229-238, 1985.
- MARSHALL, B., WILLEY, R.W. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet/groundnut. **Field Crops Research**. v.7, p.141-160, 1983.
- MARTINS, D., PITELLI, R.A. Interferência das plantas daninhas na cultura do amendoim das águas: Efeitos de espaçamentos, variedades e períodos de convivência. **Planta Daninha**, Londrina, v.12, n.2, p.87-92, 1994.
- MAYERS, J.D., LAWN, R.J., BYTH, D.E. Agronomic studies on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in the dry seasons of the tropics. I. Limits to yield imposed by phenology. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.42, p.1045-1092, 1991.
- McCREE, K.J. Infrared-sensitive colour film for spectral measurements under plant canopies. **Agricultural Meteorology**, n.5, p.203-208, 1968.
- MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1983. 376p.
- MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Phil. Trans. Royal Society**. London, v.B281, p.277-294, 1977.
- MONTEITH, J.L. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. **Agriculture and Forest Meteorology**. Amsterdam, v.68, p. 220- 231, 1994.
- MONTEITH, J.L., UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. 2.ed., London, Edward Arnold, 1990. 291p.
- MUCHOW, R.C. An analysis of the effects of water deficits on grains legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its use. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.11, p.309-323, 1985.
- MÜLLER, A.G., BERGAMASCHI, H., SILVA, M.I.G. Eficiências de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12 e REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3, 2001. Fortaleza, CE, **Anais...**, Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia,, 2001, p.565-566.
- NAKAGAWA, J., IASCA, D.H.C., NEVES, J.P.S., NEVES, G.S., SANCHES, S. V., BARBOSA, V., SILVA, M.N., ROSSETTO, C.A.V. Efeito da densidade de semeadura na produção do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.10, p.1547-1555, 1994.

- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego, California: Academic Press, 1991. 635p.
- PARVEZ, A.Q., GARDNER, F. P., BOOTE, K.J. Determinate-and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date. **Crop Science**, Madison, v.29, p.150-157, 1989.
- PEREIRA, A.R., MACHADO, E.C., PAES DE CAMARGO, M.B. Solar radiation regime in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) canopy. **Agricultural Meteorology**, Ames, v.26, p.1-10, 1982
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v.7, n.3, p.171-175, 1967.
- REDDY, M.S., WILLEY, R.W. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet/groundnut. **Field Crops Research**. v.4, p.13–24, 1981.
- ROBERTSON, M.J., SILIM, S., CHAUHAN, Y.S., RANGANATHAN, R. Predicting growth and development of pigeonpea: biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, v.70, p.89-100, 2001.
- ROSS, J. Radiative transfer in plant communities. In: MONTEITH, J.L., ed. **Vegetation and the atmosphere**. London, New York, Academic Press, 1975. v. 1, principles, p.13-55.
- RUSSELL, G., JARVIS, P.G., MONTEITH, J.L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSELL, G., MARSHALL, B., JARVIN, PG. **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, p.21-39, 1989.
- SANTOS, R.C. **Viabilização tecnológica do amendoim para região Nordeste**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1996. 46p.
- SCHÖFFEL, E.R., VOLPI, C.A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p.241-249, 2001.
- SIMMONDS, L.I., AZAM-ALI, N.S. Population, growth and water use of groundnut maintained on stored water. IV. The influence of population and water supply and demand. **Experimental Agriculture**, Reading, v.25, p.87-98, 1989.
- SINCLAIR, T.R., MUCHOW, R.C. Radiation use efficiency. **Adv. Agron.** v.65, p.215-265, 1999.

- SINHA, S.K., BHARGAVA, S.C., GOEL, A. Energy as the basis of harvest index. **Journal of Agricultural and Science in Cambridge**, v.99, p.237-238, 1982.
- SMITH, H. Light quality, photoperception, and plant strategy. **Annu. Review. Plant Physiology**, n.33, p.481-518, 1982.
- STALKER, H.T. Peanut (*Arachis hypogaea*, L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.53, p.205-217, 1997.
- STONE, J.E., ERICKSON, P.I., ABDUL-JABBAR, A.S. Stomatal closure behavior induced by row spacing and evaporative demand in irrigated peanuts. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.197-202, 1985.
- SZEICZ, G. Solar radiation for plant growth. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.11, p.617-636, 1974.
- TASSO JÚNIOR, L.C., MARQUES, M.O, NOGUEIRA, G.A. **A cultura do amendoim**. Jaboticabal: UNESP, 218p., 2004.
- TÁVOLA, F.J.F., NETO, D. H., SILVA, F.P., MELO, F.I.O. Peanut response to plant densities and planting patterns: light interception, growth analysis and yield. **Revista Ciência Agronômica**, v.33, n.2, p.5-12, 2002.
- TSUBO, M., WALKER, S., MUKHALA, E. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. **Field Crops Research**, v.71, p.17-29, 2001.
- TURNER, D. Radiation Interception and Plant Growth Analysis.
<http://www.agric.uwa.edu.au/plants/research/ps210/environment/prac2/section4.php>, Monday May 17, 2004.
- VOLGELMANN, T.C., BJÖRN, L.O. Plants as light traps. **Plant Physiology**, v.69, p.704-708, 1986.
- WHEELER, T.R., HADLEY, P., ELLIS, R.H., MORISON, J. Changes in growth and radiation use by lettuce crops in relation to temperature and ontogeny. **Agriculture and Forest Meteorology**. Amsterdam, v.66, p.173-186, 1993.
- WEHTJE, G., WALKER, R.H., PATTERSON, M.G., MCGUIRE, A. Influence of twin rows on yield and weed control in peanuts. **Peanut Science**, v.11, p.88-91, 1984.