

122

Circular  
Técnica

Campina Grande, PB  
Junho, 2008

**Autores**

**Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão**  
Eng. agrôn. D.Sc. da Embrapa  
Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143,  
Centenário, 58.428-095, Campina  
Grande, PB. E-mail:  
napoleao@cnpa.embrapa.br

**José Fidelis Filho**  
Meteorologista, D.Sc., da EMEPA,  
Estrada da Imbaúba, Km 3, CEP:  
58117-000, Lagoa Seca, PB. E-mail:  
fidelesfilho@uol.com.br

**Maria Isaura Pereira de Oliveira**  
Bióloga, D.Sc., estagiária da  
Embrapa Algodão.  
E-mail: oliveira\_mip@yahoo.com.br

**Embrapa**

## Estimativa da Respiração de uma Comunidade de Plantas, Via Valores Primários (Área Foliar e Fitomassa)



### 1. Introdução

Para entender como a planta e um biosistema, funcionam, interagem e produzem, é necessário conhecer as variáveis envolvidas e quais respostas são originadas neste processo complexo de

interação. Aspectos concernentes à ecofisiologia, ao conhecimento dos fundamentos fisiológicos da produção vegetal que basicamente envolve a produção de energia (fotossíntese), o uso da energia (respiração), partição dos assimilados e o balanço de carbono são essenciais para a sua compreensão.

A produtividade primária pode ser definida como o rendimento da conversão da energia radiante em substâncias. Isto é, a produção primária designa a quantidade de matéria orgânica que é produzida pelos organismos autotróficos a partir da energia solar (organismos fotossintéticos).

A produtividade primária é limitada basicamente por duas categorias de "restrições ecológicas". A primeira restrição diz respeito à qualidade da radiação solar que atinge a superfície da terra. Apenas cerca de 45% desta energia está compreendida na região do espectro da radiação que é efetivo para a fotossíntese (PAR = radiação fotossinteticamente ativa compreendida na faixa de comprimentos de onda entre 400 a 700 nm). Os restantes 55% do espectro não são convertidos em energia química, não formando biomassa (NABINGER, 1996). Assim, a partir dos trabalhos de Hodgson (1985), a medida dos fluxos de crescimento e de senescência dos tecidos foliares no interior de uma população vegetal tem permitido estimar a proporção da produção primária que pode ser considerada como colhível.

A análise quantitativa de crescimento representa o primeiro passo na análise de produção primária, sendo o elo de ligação entre o simples registro da produtividade vegetal e o estudo desta por métodos fisiológicos. Magalhães (1979), discorre sobre a análise quantitativa de crescimento como o método que descreve as condições

morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, propondo acompanhar a dinâmica da produção fotossintética. A análise quantitativa de crescimento pode ser usada para investigar a adaptação ecológica de culturas a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo e tratamentos culturais e a identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos (KVET et al., 1971).

Apesar da complexidade que envolve o crescimento das espécies vegetais, a análise quantitativa de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (BENINCASA, 2003). Entre os trabalhos envolvendo análise quantitativa de crescimento, citam-se os de Eastin e Gritton (1969), e Mahon (1990), em relação à densidade de plantio.

Na análise de crescimento clássica, a maioria de trabalhos sobre o assunto, e nas aplicações, não fornecem elementos para a estimativa da respiração celular que em ecofisiologia e na fisiologia da produção, significa perda de matéria seca ou fitomassa, bem diferente de uma definição do ponto de vista estritamente fisiológico, que significa oxidação dos compostos orgânicos complexos pelas plantas nas organelas especializadas denominadas de mitocôndria, esta obtém da célula que a hospeda os suprimentos de oxigênio e substratos derivados de glicose, aminoácidos e ácidos graxos e os converte numa molécula chamada adenosina-trifosfato (ATP), responsável pelo armazenamento de energia, além da formação de compostos intermediários precursores de importantes substâncias para todo o metabolismo da planta tais como citocromo, clorofila, caroteno, etc. (TAIZ; ZEIGER, 2006), tais substâncias intermediárias são ácidos orgânicos, derivados da fase glicolítica (glicólise) e do ciclo dos ácidos tricarboxílicos (Ciclo de Krebs).

A estimativa da respiração pode fornecer elementos para melhor manejo racional do agroecossistema, de modo a reduzir o custo metabólico, incremento da fotossíntese líquida, a exemplo da utilização de cobertura de solo para reduzir a temperatura, uso de sistemas de consórcio que propicie maior

aproveitamento da radiação solar incidente, de modo a obtenção de um ótimo ecológico para o desenvolvimento da cultura.

Com este trabalho objetiva-se fornecer informações sobre o crescimento clássico, incluindo a estimativa da respiração, calculada a partir de características do crescimento, com base nos valores primários de área foliar e da fitomassa.

## 2. Considerações Gerais

A respiração aeróbica é comum a quase todos os organismos eucarióticos, e, em linhas gerais, o processo respiratório em plantas é similar àquele encontrado em animais e eucarióticos inferiores (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Respiração aeróbica é o processo biológico pelo qual os compostos orgânicos reduzidos são mobilizados e subsequentemente oxidados de maneira controlada. Durante a respiração, a energia livre é liberada e transitoriamente armazenada em um composto, ATP, o qual poder ser prontamente utilizado para a manutenção e o desenvolvimento da planta. A função do processo é a obtenção de energia necessária para as atividades de crescimento, manutenção dos tecidos vegetais vivos, as atividades de absorção de água e nutrientes e a síntese de reservas complexas como amido, celulose, proteínas, óleos, DNA, RNA, etc.

Apesar de a atividade respiratória ser uma perda de biomassa vegetal, é imprescindível ao crescimento e ao desenvolvimento normal de plantas. Entretanto, qualquer fator que promova uma redução da atividade respiratória das folhas e demais órgãos, resulta em aumento da produtividade vegetal (LARCHER, 2000). De início primeiramente, com maior saldo fotossintético e dependendo do índice de colheita (coeficiente de migração) e do escores de produtividade, incrementa a produtividade econômica.

De acordo com Larcher (2000), há uma clara relação entre o aumento da matéria seca e a assimilação do carbono e nitrogênio pela planta porque o carbono que não é consumido pela respiração e aumenta a matéria seca da planta, pode ser aplicado para o crescimento e/ou reserva.

A taxa de crescimento de plantas, segundo Carvalho e Nakagawa (2000), é geneticamente controlada de maneira que, fatores que determinem diferentes taxas iniciais de crescimento terão efeito apenas durante a fase de crescimento exponencial das plantas, diminuindo de intensidade à medida que as plantas se crescem.

A análise de crescimento de plantas é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo entre duas amostras sucessivas, dentro do seu ciclo (REIS; MULLER, 1979). Conforme descrito por Benincasa (2003), a análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos para o crescimento total. A partir dos dados de crescimento, pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar, de forma bastante precisa as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes.

A quantidade de tecido metabolicamente ativo que compõe uma comunidade vegetal é chamada fitomassa, embora algumas partes da planta não possam ser estritamente consideradas como tecidos vivos, como o xilema e parte da casca de caules e raízes, os quais não são comumente separados para os cálculos da matéria seca. A fitomassa representa os tecidos vivos das plantas, o simplasto, sem considerar o apoplasto (tecidos mortos) e do ponto de vista ecofisiológico, a fitomassa representa a massa ( $P = ma$ ) da planta, sendo um dos valores primários da análise do crescimento clássico, destrutiva (MAGALHÃES, 1979).

Para Radford (1967), um dos principais fatores característicos do crescimento é a razão da área foliar que se compõe em área específica foliar, razão do peso foliar, índice de área foliar e duração da área foliar.

Pouca utilização das técnicas de análises de crescimento tem sido observada em Genética Vegetal e Melhoramentos de Plantas. O método é de grande valor na avaliação das diferenças intervegetais e interespecíficas das diversas características que definem a capacidade produtiva da planta (MAGALHÃES, 1979).

Baseado no exposto objetivou-se neste trabalho, apresentar métodos para determinação de estimativa das taxas de assimilação e respiração de comunidades vegetais, a partir dos valores de área foliar e fitomassa total da planta. Este método também se aplica a qualquer experimento de manejo cultural, desde que o pesquisador faça a previsão do tamanho das parcelas e tenha linhas específicas para o intervalo que dependerá do ciclo da cultura, fazer o sacrifício para a coleta do material, valores primários, fitomassa e área foliar. Para tal, deve-se observar as interações cooperativas e competitivas entre as plantas da população e somente retirar plantas em cada colheita biológica que estejam em condições ecofisiológicas, ou seja, junta das suas competidoras. Deve-se ter pelo menos cinco coletas do material biológico com intervalos reguladores e bem estabelecidos em função do ciclo da cultura. Assim, se faz por exemplo, com uma cultivar de mamona (*Ricinus communis* L.) com 100 dias de ciclo, para se ter pelo menos cinco colheitas, deve-se fazer cada uma com 20 dias de intervalo e em cada uma delas devemos ter uma amostra de plantas que represente bem a unidade experimental (parcela). Em geral escolhe-se de 3 a 5 plantas por parcela em cada colheita, onde se mede a área foliar por planta e a fitomassa total (matéria seca), para a partir deles estimar as características do crescimento e a respiração das plantas.

A medida mais apropriada para a avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulada, é a taxa de crescimento relativo (MAGALHÃES, 1979), equação 1.

$$K = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} = \text{TCR} \quad (1)$$

$K$  = taxa de crescimento relativo (TCR)

$P_2$  e  $P_1$  = crescimento (em peso seco ou fitomassa) nos tempos  $t_2$  e  $t_1$ , respectivamente.

O resultado é expresso em unidades de material vegetal produzido por material vegetal existente, durante o intervalo de tempo pré-fixado. Se a taxa de crescimento relativo é calculada em termos de

peso seco, a unidade poderá ser  $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dia}$ . Pode ser também aplicado ao crescimento de área foliar, diâmetro caulinar e altura de planta, conforme pode ser observado no trabalho de Beltrão et al. (2000).

A soma das taxas de crescimento relativo de cada um dos componentes da planta deve igualar a taxa de crescimento relativo da planta toda. O particionamento dos compostos assimilados durante o crescimento pode ser calculado pela determinação das taxas de crescimento de cada parte da planta, separadamente, comparando o crescimento de um componente mais diretamente afetado pelas variações climáticas consideradas.

Segundo Magalhães (1979) o crescimento da área foliar (A) e o da biomassa (P) podem estar diretamente associados, ou a relação pode ser mais complexa. A relação geral entre A e P pode ser expressa pela equação 2:

$$P = a + bA^\alpha \quad (2)$$

em que  $a$  e  $b$  são constantes.

Se o valor de  $a$  for considerado desprezível,  $\alpha$  indica a relação entre a taxa de crescimento relativo da biomassa (TCRP) e a taxa de crescimento relativo da área foliar (TCRA), equação 3.

$$\alpha = \frac{\text{TCRP}}{\text{TCRA}} \quad (3)$$

Este quociente descreve a relação alométrica entre A e P e mostra como a proporção relativa dos tecidos assimiladores se altera durante o crescimento.

O valor da taxa de crescimento relativo resulta da contribuição de dois componentes: o primeiro se refere à taxa de aumento do crescimento, por unidade de tempo e por unidade de área foliar, denominada taxa de assimilação aparente (TAA); o segundo é definido pela razão entre a área foliar e o peso seco da planta, chamada de razão da área foliar (RAF).

A TAA reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvido na produção de matéria seca, ou

seja em uma estimativa de fotossíntese líquida (MAGALHÃES, 1979), equação 4.

$$\text{TAA} = \frac{P_2 - P_1}{A_2 - A_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

O resultado é expresso em unidades de crescimento (peso) por superfície de área foliar (área), por unidade de tempo:  $\text{g} \cdot \text{dm}^2 \cdot \text{dia}$ .

Considerando que P e A aumentam exponencialmente, a equação TAA somente poderá ser utilizada se as duas variáveis crescerem com o mesmo expoente, e de maneira contínua, no intervalo de tempo considerado entre duas amostragens sucessivas. A descontinuidade entre as duas variáveis pode ser causada por perda de área foliar, devido a seca ou ataque de insetos, por exemplo, seguida de renovação das folhas.

A TAA depende de fatores ambientais, principalmente da radiação solar. Devido ao efeito do auto sombreamento, A TAA diminui com o aumento da área foliar e, conseqüentemente, durante o crescimento da comunidade vegetal.

A razão da área foliar (RAF) é definida como o quociente entre a superfície foliar e o peso seco da planta e pode ser representada pelo produto da área foliar específica (AFE), que é a área das folhas dividida pelo peso das mesmas, e a razão de peso foliar (RPF). Este último parâmetro é calculado pela relação entre o peso seco das folhas e o peso seco total das plantas, equação 5. A AFE reflete a espessura da folha e a proporção relativa da superfície assimiladora e os tecidos mecânicos e condutores da folha.

$$\text{RAF} = \frac{A}{P} = \frac{A}{P_t} \times \frac{P_f}{P} \quad (5)$$

Em que  $P_f$  é o peso das folhas.

A razão da área foliar é medida da dimensão relativa ao aparelho assimilador, e serve como um parâmetro apropriado para as avaliações dos efeitos genotípicos, climáticos e do manejo de comunidades vegetais.

A relação entre a razão de área foliar, taxa de assimilação aparente e taxa de crescimento relativo de acordo com Magalhães (1979) são as equações 6 e 7:

$$TCR = TAA \times RAF \quad (6)$$

Portanto:

$$\frac{1}{P} \times \frac{dP}{dt} = \frac{1}{A} \times \frac{dP}{dt} \times \frac{A}{P} \quad (7)$$

A equação acima indica que a taxa de crescimento de uma comunidade pode ser alterada por fatores que afetam a eficiência, ou a dimensão do sistema assimilador, ou ambos. A RAF é normalmente calculada para cada amostra de material vegetal, separadamente. Assim, a variação da RAF, no período de tempo compreendido entre duas amostragens, não pode ser calculada a partir da relação  $RAF = TCR/TAA$ , a não ser que se considere uma variação exponencial de A e P como o mesmo expoente.

A razão da área foliar média, durante o intervalo de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , pode ser obtida, segundo Magalhães (1979) pela equação 8:

$$\overline{RAF} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{A}{P} dt \quad (8)$$

A integração pode ser feita quando existir uma relação linear entre A e P, da mesma forma considerada para o cálculo da TAA.

A variação do índice de área foliar durante o ciclo de determinada cultura é um dado importante para a determinação da data de semeadura e transplante. Não se considerando a intervenção de outros fatores, as culturas devem ser semeadas de modo que os valores máximos do índice de área foliar (IAF) coincidam com a época de elevada radiação, quando a fotossíntese líquida será máxima. A área foliar e, conseqüentemente, o índice de área foliar (IAF) foram definidos inicialmente por Watson (1947a,b) e representam a unidade de área de folhas por unidade de área de terreno sendo, portanto, adimensional. Sua variação durante todo o ciclo de uma cultura é

de extrema importância para que se possa modelar o crescimento (aumento em massa ou volume de certo órgão ou planta como um todo, dentro de um intervalo de tempo) e o desenvolvimento (aparecimento de uma fase da planta) das plantas e, em conseqüência, a produtividade e a produção total da cultura (TERUEL, 1995).

A taxa de produção de matéria seca se uma comunidade (TCC) depende do IAF e da TAA, e pode ser calculada pela equação 9 e 10:

$$TCC = TAA \times IAF \quad (9)$$

$$\frac{dP}{dt} \times \frac{1}{At} = \frac{dP}{dt} \times \frac{1}{A} \times \frac{A}{At} \quad (10)$$

Em que  $At$  representa a área do terreno, ocupada pela comunidade vegetal.

O IAF é, portanto, o principal fator a determinar a produtividade de uma cultura. O IAF aumenta durante o crescimento da comunidade e atinge um valor ótimo quando TCC é máxima (Figura 1). O IAF ótimo difere daquele que determina a produtividade econômica máxima, estimada em termos de produção de grãos.

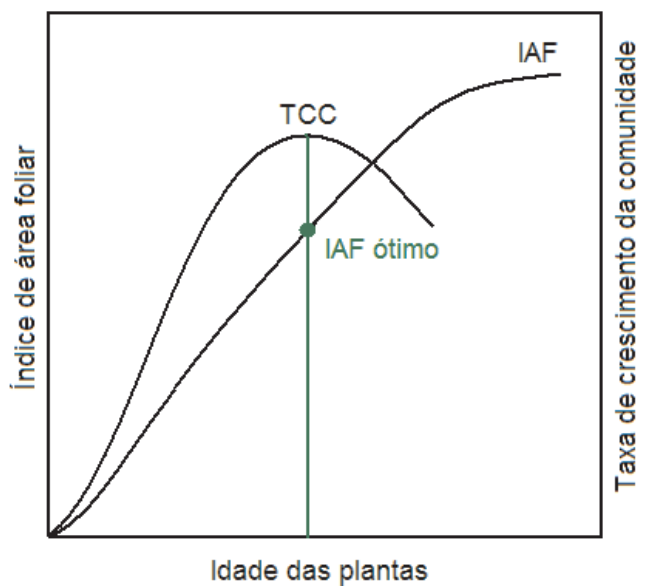


Fig. 1. Relação entre a taxa de crescimento da comunidade e o índice de área foliar, com valor indicativo do IAF ótimo (Adaptada de Magalhães, 1979).



A eficiência fotossintética de uma copa é afetada pela taxa fotossintética por unidade de área foliar e pela forma como a radiação solar é interceptada. A interceptação da radiação depende das características da copa, como sua arquitetura e dimensão. O índice de área foliar e a duração da área foliar (D) são os fatores mais importantes na determinação da produção de matéria seca e, conseqüentemente, do crescimento (BERNARDES et al. 1996).

O crescimento vegetal é decisivamente influenciado pelo tempo em que a planta mantém ativa sua superfície foliar. Esta característica é definida pela duração da área foliar (D) e pode ser representada pela equação 11:

$$D = \int_{t_1}^{t_2} A dt \quad (11)$$

A solução mais simples para a equação é utilizar o método gráfico, através da medida da área sob a curva representativa das variações da área foliar com o tempo (Figura 2).

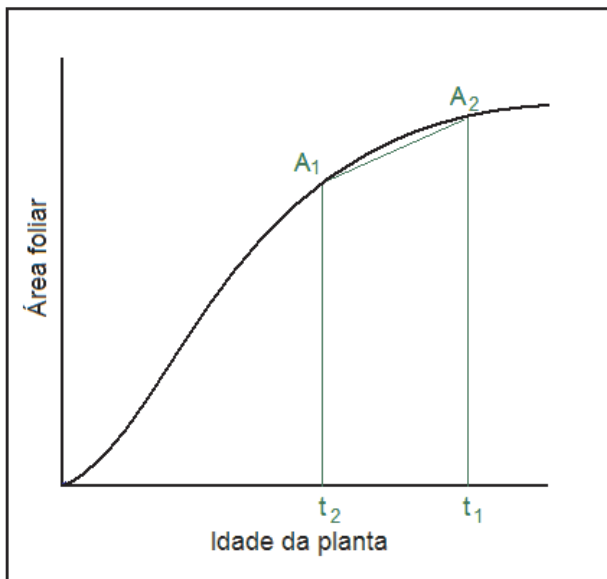


Fig. 2. Determinação gráfica da duração da área foliar calculada pela área do trapézio:  $D = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)(t_2 - t_1)$  (Adaptada de Magalhães, 1979).

### 3. Características do crescimento ligadas diretamente as produtividades econômica e primária, coeficiente primário e escore de produtividade

Na análise de crescimento clássico destrutiva, várias características do crescimento podem ser estimadas, via mensuração dos valores primários, área foliar e fitomassa, e entre elas destacam-se as que estão diretamente ligadas a produtividade primária, taxa assimilatória líquida e índice de área foliar que juntos determinam a taxa de crescimento da cultura, equação 12:

$$c = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dw}{dt} c' dt = \frac{1}{P}(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} \frac{dw}{dt} dt = \frac{(w_2 - w_1)}{P}(t_2 - t_1) \quad (12)$$

sendo  $t_2$  e  $t_1$  os tempos de medição de  $w_2$  e  $w_1$  (fitomassas) e P é a superfície do solo no qual  $w_2$  e  $w_1$  são estimados (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993).

As características do crescimento denominadas de índices por alguns autores, mais ligadas as produtividades primárias econômica, além das retro-mencionadas que definem a taxa de produção da cultura, são o índice de colheita ou coeficiente de migração ou de emissividade (equação 13):

$$\left( IC = \frac{\text{Produtividade econômica}}{\text{Produtividade biológica}} \times 100 \right) \quad (13)$$

e na derivação é o escore de produtividade (EP) que é somatório do índice de colheita, da produtividade primária do agroecossistema e da produtividade econômica da cultura.

Por exemplo, um campo de mamona que produz 2,26 t de grãos.ha<sup>-1</sup>, 12,65 t.ha<sup>-1</sup> de produtividade biológica e índice de colheita de 36, o EP é de 53,7, que é importante para descrever as relações entre as produtividades das plantas e o que realmente é colhido e comercializado.

### 4. Estimativa das taxas de assimilação e respiração em comunidades

A taxa de assimilação aparente (TAA) resulta da contribuição de dois componentes: taxa de assimilação bruta (TAB) e taxa de respiração (TR) (MAGALHÃES, 1979), equação 14.

$$TAA = nTAB - TR \quad (14)$$

Em que n é o número de dias durante os quais a planta realizou fotossíntese.

Considerando a TAB proporcional à superfície assimiladora, e TR proporcional à biomassa total, a seguinte equação pode ser escrita (equação 15):

$$dP = \delta Adt - \rho p dt \quad (15)$$

Em que:

P = biomassa total (peso seco total da planta);

A = superfície assimiladora (área foliar);

$\delta$  = taxa de assimilação bruta ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

$\rho$  = taxa de respiração ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ );

(os coeficientes  $\delta$  e  $\rho$  representam a média dos valores obtidos durante um período de tempo indeterminado).

Resolvendo a equação 16:

$$P_2 - P_1 = \delta \int_{t_1}^{t_2} Adt - \rho \int_{t_1}^{t_2} Pdt \quad (16)$$

A expressão  $\int_{t_1}^{t_2} Adt$ , representa a duração da área foliar (D);

A expressão  $\int_{t_1}^{t_2} Pdt$  é a biomassa acumulada (Pt).

Assim, o incremento de peso seco ( $P_2 - P_1$ ) é proporcional ao coeficiente  $\delta$  e a duração da área foliar (D), representa a taxa de assimilação bruta. Da TAB é subtraída a quantidade de biomassa perdida por respiração, que proporcional ao coeficiente  $\rho$  e é biomassa acumulada (Pt).

Os valores de D e Pt podem ser estimados por integração ou por método gráfico, através do cálculo das áreas sob as curvas de A e P, em relação ao tempo. Considerando que, no período de tempo  $t_2 - t_1$ , A e P crescem exponencialmente, as taxas de crescimento relativo (TCRA e TCRP) devem ser incluídas no cálculo, equação 17:

$$TCRP = \delta \frac{A_2 - A_1}{TCRA} - \rho \frac{P_2 - P_1}{TCRP} \quad (17)$$

Reescrevendo:  $TCRP = \delta \frac{TCRP}{TCRA} \times \frac{A_2 - A_1}{P_2 - P_1} - \rho$

Considerando a relação, descrita anteriormente:

$$\frac{TCRP}{TCRA} = \alpha$$

Substituindo na equação 3, tem-se equação 18:

$$TCRP = \delta \cdot \alpha \frac{A_2 - A_1}{P_2 - P_1} - \rho \quad (18)$$

A estimativa dos coeficientes  $\delta$  e  $\rho$  pode ser feita, graficamente (Figura 3), através de uma equação de regressão cujas variáveis são TCRP e  $\alpha \frac{A_2 - A_1}{P_2 - P_1}$  (MAGALHÃES, 1979).

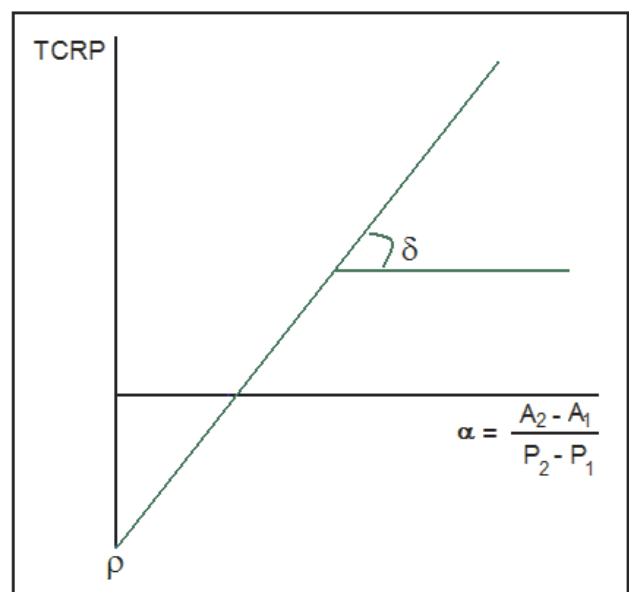
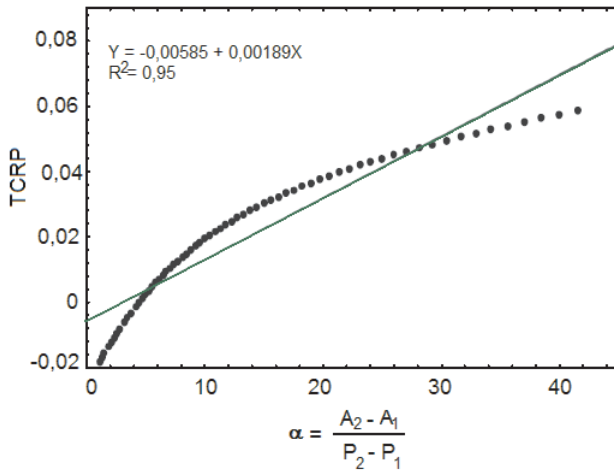
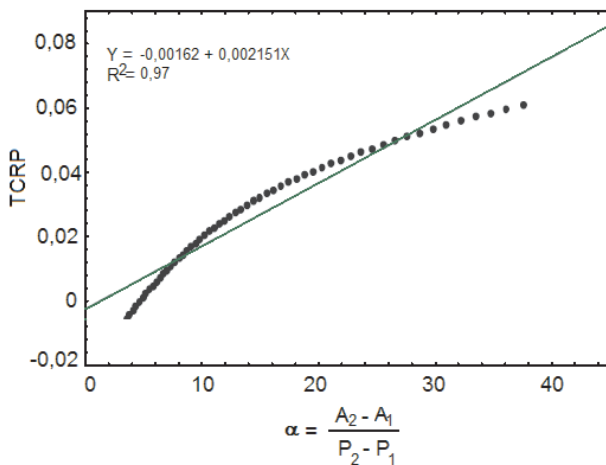


Fig. 3. Estimativa dos coeficientes  $\delta$  e  $\rho$  (Adaptada de Magalhães, 1979).

A partir das relações entre as características do crescimento e a taxa de respiração, ecofisiologicamente colocada como perda de fitomassa, e proporcional à fitomassa formada, tendo o componente de manutenção e o do crescimento (HESKETH et al., 1971). Beltrão et al. (2000) estimaram a respiração graficamente para duas variedades de algodão: a cultivar perene 7MH nas condições ecofisiológicas do Seridó Paraibano, em duas populações de plantas (20.000 plantas e 33.333 plantas) aos 100 dias após a emergência, e encontraram os valores colocados nas Figuras 4 e 5, respectivamente para 33.333 plantas. $\text{ha}^{-1}$  e 20.000 plantas. $\text{ha}^{-1}$ . A respiração da comunidade vegetal da 7MH, como perda de fitomassa, foi bem maior na maior população 33.333 plantas. $\text{ha}^{-1}$ .



**Fig. 4.** Estimativa da respiração da cultivar algodão 7MH, na configuração 1,0 m x 0,3 m, 33.333 plantas.ha<sup>-1</sup>. Patos, PB. 1997. Adaptada de Beltrão et al. (2000).



**Fig. 5.** Estimativa da respiração da cultivar algodão 7MH, na configuração 1,0 m x 0,5 m, 20.000 plantas.ha<sup>-1</sup>. Patos, PB. 1997. Adaptada de Beltrão et al. (2000).

As plantas verdes possuem uma substância, a clorofila, capaz de absorver a radiação luminosa. A energia absorvida é usada para transformar o gás carbônico do ar (CO<sub>2</sub>) e a água (absorvida pelas raízes) em glicose (um açúcar), através de um processo chamado fotossíntese. A produção de matéria orgânica também pode ser expressa em unidades de energia, considerando que a radiação solar é em última análise, transformada em biomassa. A caloria ou o joule são as unidades mais utilizadas para o cálculo do conteúdo de energia da radiação incidente, e também da energia acumulada na matéria orgânica. Em geral, o conteúdo energético de um grama de matéria seca varia de 3,500 a

4,800 kcal, o que corresponde a 14,650 e 20,100 J (1,000 cal  $\cong$  4,186 J). As plantas herbáceas apresentam, em média, valores em torno de 4,000 kcal.g<sup>-1</sup> (16,744 J.g<sup>-1</sup>), enquanto espécies lenhosas atingem aproximadamente 4,700 kcal.g<sup>-1</sup> (19,674 J.g<sup>-1</sup>) de valor energético (LIETH, 1969).

A estimativa de eficiência de conversão de energia solar (E<sub>c</sub>) pode ser feita pela equação 19, proposta por Kamel (1959):

$$E_c = \frac{PB \times QE}{RS \times 0,45} \quad (19)$$

Em que:

PB = produtividade biológica = variação da produção de matéria seca, por unidade de terreno, por unidade de tempo (g.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>);

QE = Quantidade de energia contida na matéria seca (kcal.g<sup>-1</sup> ou KJ.g<sup>-1</sup>);

RS = radiação solar incidente (kJ.m<sup>-2</sup>.dia);

0,45 = fração da radiação solar total, que pode ser aproveitada para a realização da fotossíntese.

O valor E<sub>c</sub> mostra alterações apreciáveis com a quantidade da radiação solar incidente e com a idade da planta.

## 5. Implicações práticas do conhecimento da respiração e seu controle

Em condições de campo, a nível ecofisiológico, em especial nos trópicos onde a temperatura é elevada, em geral acima dos 25 °C em média, podendo chegar a mais de 34 °C, a respiração oxidativa ou mitocondrial é elevada, reduzindo substancialmente a fotossíntese líquida, ou saldo fotossintético, expresso pela equação 20 simplificada:

$$Y = \int_{t_1}^{t_2} (\text{netP}) dt \quad (20)$$

Onde:

Y é o total de fitomassa da planta (peso seco), t é o tempo e P é a taxa de fotossíntese líquida de um "stand" de plantas, segundo Baker e Meyer (1966), como já foi comentada anteriormente.

Em ecofisiologia, a respiração significa perda de



fitomassa, e que pode representar até mais de 60% do que já foi produzido via assimilação clorofiliana, sendo muito expressivo para a produtividade primária do agroecossistema e depende da partição de assimilados para a produtividade econômica do mesmo. Para se incrementar a produtividade da comunidade de plantas, além dos fatores de produção e insumos e manejo cultural adequado, deve-se ter mecanismos de se reduzir o processo respiratório, ou seja, aumentar o saldo e assim o coeficiente fotossintético e tornar o máximo possível, positivo, o balanço de CO<sub>2</sub> (equação 21):

$$P_B = P_N + R \quad (21)$$

ou seja, P<sub>B</sub> = fotossíntese bruta, P<sub>N</sub> = fotossíntese líquida e R é a respiração total do agroecossistema.

Para se elevar a produtividade primária (equação 22)

$$P_{PP} = \frac{P_B}{R} = \frac{P_N + R}{R} = \frac{P_N + (\text{Resp}_{\text{OXIDATIVA}} + \text{Fotorrespiração})}{\text{Resp}_{\text{TOTAL}}} \quad (22)$$

no caso das plantas de metabolismo C<sub>3</sub>, tais como a mamona, algodão, arroz, trigo, e outras (a maioria espermatófitas) deve-se reduzir a respiração.

De modo geral, Primavesi (1980) recomenda para as condições tropicais várias práticas para incrementar a fotossíntese e reduzir a respiração, destacando-se: (1) suprimento adequado de água, para que a planta incremente a eficiência no uso da água, não fique em estresse hídrico, por deficiência ou excesso, e assim não feche os seus estômatos durante o dia, para que o CO<sub>2</sub> penetre e seja utilizado no processo fotossintético; (2) manter a cultura sadia, sem pragas e doenças, via manejo adequado do agroecossistema, envolvendo época de plantio, cultivo adequado, ausência de plantas daninhas, adubação equilibrada, etc.; (3) reduzir a respiração, via diminuição da temperatura do solo, ou seja, via proteção do solo reduzindo a insolação direta, utilizando o consórcio de culturas, menos espaçamento e outras técnicas; (4) ter água, açudes, e outros reservatórios de água para reduzir a temperatura ambiente, e assim colaborar para aumentar o saldo fotossintético.

## 6. Conclusão

O conhecimento pleno da análise do crescimento destrutivo, com a estimativa da respiração de um "stand" de plantas monoculturas ou comunidades vegetais, no caso de sistemas consorciados, com duas ou mais culturas, pode representar uma "ferramenta" de elevada importância para o entendimento da funcionalidade de um agroecossistema e a melhoria de uma produtividade, em especial a econômica, com elevação do índice de colheita e até da qualidade do produto final e co-produtos.

## 7. Referências Bibliográficas

- BAKER, D. N.; MEYER, R. E. Influence stand geometry on light interception and net photosynthesis in cotton. **Crop Science**, v. 6, p. 15-19, 1966.
- BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELES FILHO, J.; SOUZA, J. G. Produtividade, qualidade de fibra e análise do crescimento com estimativa da respiração, do algodão perene 7MH, nas condições ecofisiológicas do Seridó paraibano, comparado a CNPA 5M. **Revista de Oleaginosas e Fibras**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 13-21, jan-abr. 2000.
- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVÊDO, D. M. P de. **Defasagem entre produtividades real e potencial do algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas e fisiológicas e ambientais**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1983, 108 p. (EMBRAPA CNPA, DOCUMENTOS, 39).
- BENINCASA, M. M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.
- BERNARDES, M. S.; CASTRO, P. R. C.; MARTINS, A. N. **Formação da copa e resistência de árvores ao vento: modelo de seringueira**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 88 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.
- EASTIN, J. A.; GRITTON, E.T. Leaf area development, light interception, and the growth of canning peas (*Pisum sativum* L.) in relation to plant population and spacing. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, p. 612-15, 1969.

HESKETH, J. D.; BAKER, D. N.; DUNCAN, W. G. Simulation of growth and yield in Cotton: respiration and the carbon balance. **Crop Science**, v. 11, p. 394-398, 1971.

HODGSON, J. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., 1985, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: The Science Council of Japan, 1985. p.31-34.

LIETH, H. Mathematical modeling for ecosystem analyses. In: SYMPOSIUM ON THE PRODUCTIVITY OF FOREST ECOSYSTEMS OF THE WORLD, 1969, Brussels. [**Proceedings...**]. Brussels: UNESCO, Oct. 1969.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

KAMEL, M. S. A physiological study of shading and density effects on the growth and the efficiency of solar energy conversion in some field crops. **Netherlands Journal of Agriculture Science**, Wageningen, v. 59, n. 1, p. 5-16, 1959.

KVET, J.; ONDOCK, J. P.; NECAS, J. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P. G., (Ed.). **Plant photosynthetic production**. The Hague: Dr. W. Junk, 1971. p. 343-384.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Coord.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1979. p. 331-349.

MAHON, J. D. Photosynthetic carbon dioxide exchange, leaf area, and growth of field-grown pea

genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 5, p. 1093-1098, 1990.

NABINGER, C. **Aspectos ecofisiológicos de manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidade de pesquisa**. In: SAIBRO, J.C. Reunião do grupo técnico em melhoramento e utilização de grupos forrageiros das áreas tropical e subtropical do cone sul. Porto Alegre: UFRGS, 1996. p. 17-61.

PRIMAVESI, A. **O Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões Tropicais**. São Paulo, SP: Nobel, 1980, 541p.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v. 7, p.171-175, 1967.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas: mensuração do crescimento**. Belém: FCAP, 1979. 39 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TERUEL, D. A. **Modelagem do índice de área foliar de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos**. 1995. 93 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I - Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**. London, v. 11, n. 44, p.41-76, 1947a.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the studies on the growth of field crops. II - The effect of varying nutrient supply on net assimilation rate and leaf area. **Annals of Botany**. London, v. 11, n. 44, p. 375-407, 1947b.

**Circular  
Técnica, 122**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
Embrapa Algodão  
Rua Osvaldo Cruz, 1143 Centenário, CP 174  
58.428-095 Campina Grande, PB  
Fone: (83) 3182 4300 Fax: (83) 3182 4367  
E-mail: sac@cnpa.embrapa.br

1ª Edição  
Tiragem: 500

**Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento**



**Comitê de  
Publicações**

Presidente: Carlos Alberto Domingues da Silva  
Secretário Executivo: Valter Freire de Castro  
Membros: Fábio Aquino de Albuquerque  
Giovani Greigh de Brito  
João Luiz da Silva Filho  
Maira Milani  
Maria da Conceição Santana Carvalho  
Nair Helena Castro Arriel  
Valdinei Sofiatti  
Wirton Macedo Coutinho

**Expedientes:** Supervisor Editorial: Valter Freire de Castro  
Revisão de Texto: Maria José da Silva e Luz  
Tratamento das ilustrações: Geraldo Fernandes de S. Filho  
Editoração Eletrônica: Geraldo Fernandes de S. Filho