



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ
SERVIÇO DE DOCUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO

FCAP. INFORME DIDÁTICO

1

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTA
MENSURAÇÃO DO CRESCIMENTO.

GERALDO GONÇALVES DOS

MANFRED WILLY MÜLLER

BELEM

**FINALIDADE DAS SÉRIES: FCAP. INFORME TÉCNICO
FCAP. INFORME DIDÁTICO
FCAP. INFORME EXTENSÃO**

Divulgar informações sob as formas de:

- a) Resultados de trabalhos de natureza técnica realizados na região.
- b) Trabalhos de caráter didático, principalmente os relacionados ao ensino das ciências agrárias.
- c) Trabalhos de caráter técnico direcionados à comunidade e relacionados ao desenvolvimento regional.
- d) Revisões bibliográficas sobre temas de interesse para as ciências agrárias.

NORMAS GERAIS:

- A normalização dos artigos segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas — ABNT;
- O título deve ser representativo e claro;
- Partes essenciais no artigo: — resumo
 - introdução
 - corpo do trabalho
 - conclusão
 - referência bibliográfica
- O resumo deverá ser traduzido para um idioma de difusão internacional, de preferência o inglês;
- As referências bibliográficas deverão seguir a norma NB-66 da ABNT.

GERALDO GONÇALVES DOS REIS
Engenheiro Florestal, MS, Fi-
siologista Vegetal do CENTRO
DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO
TRÓPICO ÚMIDO/EMBRAPA.

MANFRED WILLY MÜLLER
Engenheiro Agrônomo, MS, Pro-
fessor Assistente da FACULDA-
DE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO
PARÁ.

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS; MENSURAÇÃO
DO CRESCIMENTO

Belém

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ
SERVIÇO DE DOCUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO

1979

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA

MINISTRO: Eduardo Mattos Portella

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ

DIRETOR: Francisco Barreira Pereira

VICE-DIRETOR: Carlos Alberto Moreira de Melo

CHEFE DO SERVIÇO DE DOCUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO

Sandra Bordallo Robilotta

COMISSÃO EDITORIAL

Lúcio Salgado Vieira

Rui de Souza Chaves

Paulo de Jesus Santos

EDIÇÃO: Serviço de Documentação e Informação

ENDEREÇO: Caixa Postal, 917

CEP. 66.000 — Belém-PA-Brasil

REIS, Geraldo Gonçalves dos & MULLER, Manfred
Willy. Análise de crescimento de plantas;
mensuração do crescimento. Belém, FCAP .
Serviço de Documentação e Informação, 1979.
39p. (FCAP. Informe Didático, 1)

CDD 581.31

CDU 581.143



FCAP. Informe Didático, 1

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS; MENSURAÇÃO DO CRESCIMENTO

SUMÁRIO

p.

1 - INTRODUÇÃO	2
2 - CONCEITOS BÁSICOS EM ANÁLISE DE CRESCIMENTO	3
2.1 - CRESCIMENTO	3
2.2 - PESO FRESCO OU PESO DA MATÉRIA FRESCA (PF)	4
2.3 - PESO SECO OU PESO DA MATÉRIA SECA (PS)	5
2.4 - COMPRIMENTO	5
2.5 - ÁREA	5
2.5.1 - Métodos de determinação da área foliar	6
2.5.1.1 - Modelos Matemáticos	6
2.5.1.2 - Método Planimétrico	7
2.5.1.3 - Método da Pesagem de Disco	8
2.5.1.4 - Método das Cópias Heliográficas ou Fotocópias	9
2.5.1.5 - Método dos Pontos	9
2.5.1.6 - Uso de Medidores de Área - Integradores ...	10
2.6 - VOLUME	11

3 - PARÂMETROS DA ANÁLISE DE CRESCIMENTO - DÉRIVAÇÕES	11
3.1 - PARÂMETROS E CONCEITOS IMPORTANTES EM ANÁLISE DE CRESCIMENTO	18
3.1.1 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR)	18
3.1.2 - Razão de Área Foliar (RAF)	18
3.1.3 - Taxa Assimilatória Líquida (TAL)	18
3.1.3.1 - Empregos Imediatos da TAL	19
3.1.3.1.1 - TAL x Condições Ambientais	19
3.1.3.1.2 - Comparação entre Espécies	20
3.1.3.1.3 - Importância Agronômica	20
3.1.4 - Taxa de Crescimento Foliar Relativo (TCFR)	21
4 - CRESCIMENTO DE PLANTAS EM COMUNIDADE	21
4.1 - ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA COMUNIDADE	22
4.2 - INFLUÊNCIA DA LUZ	30
5 - CONCLUSÃO	34
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE ABREVIATURAS

- IAF - Índice de área foliar
- TAL - Taxa assimilatória líquida
- TCA - Taxa de crescimento absoluto instatâneo
- TCR - Taxa de crescimento relativo instatâneo
- TCFR - Taxa de crescimento foliar relativo
- RAF - Razão de área foliar
- TCC - Taxa de crescimento do cultivo
- W - Peso seco da planta
- L - Área foliar
- A - Área foliar na comunidade
- AT - Área do terreno
- Io - Intensidade de luz incidente fora da copa ou do dossel
- I - Intensidade de luz em um ponto da copa ou do dos sel da vegetação
- γ - Taxa de interesse
- PS - Peso seco ou peso da matéria seca
- PF - Peso fresco ou peso da matéria fresca
- Ln - Logarítmo neperiano
- e - Base dos logarítmos neperianos
- t - Tempo
- wt - Peso seco no tempo "t"
- Wo - Peso seco no tempo "o"
- C₄ - Metabolismo das plantas C₄
- C₃ - Metabolismo das Plantas C₃
- K - Coeficiente de extinção

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS; MENSURAÇÃO DO CRESCIMENTO¹

GERALDO GONÇALVES DOS REIS

Engenheiro Florestal, MS, Fisiologista Vegetal do CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO ÚMIDO/EMBRAPA.

MANFRED WILLY MÜLLER

Engenheiro Agrônomo, MS, Professor Assistente da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ.

RESUMO: Foi feita uma abordagem didática sobre análise de crescimento de plantas isoladas e em comunidade. A descrição dessa técnica visa oferecer subsídios a estudantes e pesquisadores para, em bases fisiológicas, entenderem as variações do crescimento e desenvolvimento, bem como da eficiência fotossintética de plantas e o interrelacionamento com as condições ambientais. Dentre os índices estudados, especial referência é feita à área foliar, às taxas de crescimento absoluto e relativo, à razão de área foliar, à taxa assimilatória líquida, à taxa de crescimento foliar relativo, à taxa de crescimento do cultivo, ao índice de área foliar e ao coeficiente de extensão da luz e suas interações.

¹ Parte do Curso Multinacional de Capacitação de Sistemas Integrados de Produção Agrícola para a Amazônia, promovido pelo IICA-TRÓPICOS e Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, em maio de 1978, Belém-PA-Brasil.

1 - INTRODUÇÃO

Análise de crescimento é a parte da fisiologia vegetal em que se usam modelos matemáticos para avaliar índices de crescimento das plantas, muitos deles relacionados com atividade fotossintética. Esta técnica tem-se mostrado de muito valor no estudo das reações das plantas.

Desde o início deste século, tem-se observado variações na eficiência do crescimento das plantas, de acordo com a idade e as condições ambientais a que estão submetidas. Através da análise de crescimento é possível quantificar diferenças entre plantas e entre espécies.

Nos estudos ecofisiológicos das plantas não se pode prescindir da análise de crescimento, pois, os fatores ambientais como a luz, a temperatura, a concentração de CO_2 e as disponibilidades de água e nutrientes, próprios de cada local, afetam sensivelmente a taxa assimilatória líquida, a taxa de crescimento relativo, a razão de área foliar, etc, destas plantas. Através do estudo das interações destes parâmetros com cada fator ambiental, em particular, e/ou estágio de desenvolvimento da planta, podem ser conhecidos a eficiência do crescimento e a ha

bilidade de adaptação às condições ambientais em que estas plantas crescem. É possível, também, avaliar, através da análise de crescimento, a potencialidade das plantas em serem mais produtoras, de interesse, portanto, nos programas de fitomelhoramento.

As espécies variam enormemente em suas habilidades assimilatórias (plantas C4 x C3 e de sol x sombra) e os controles do crescimento inerentes à planta exercem muita influência sobre a performance desta. Os impulsos físicos sustentam o crescimento, mas a regulação biológica dita o padrão de utilização e define sua expressão. Se desejamos entender a natureza desta regulação ao nível da planta toda e apreciar as interações entre plantas e os ambientes em que vivem, nós necessitamos de medições mais detalhadas do que simplesmente a produção final. A análise de crescimento e os modelos matemáticos do crescimento e desenvolvimento fornecem tais parâmetros.

2 - CONCEITOS BÁSICOS EM ANÁLISE DE CRESCIMENTO

2.1 - CRESCIMENTO - é o aumento irreversível do tamanho, especialmente, do material protoplasmático. Implica em aumentos de peso, forma, etc.,

do material protoplasmático (aumento no tamanho e no número de células). Assim, quando um determinado órgão aumenta de tamanho, não significa, necessariamente, que ele esteja crescendo. Pode ser, por exemplo, que este aumento das dimensões seja devido à turgescência.

Nas plantas, o crescimento é promovido por um número limitado de células (células meristemáticas de modo geral).

2.2 - PESO FRESCO OU PESO DA MATÉRIA FRESCA (PF) é o peso do material em equilíbrio com o ambiente. Geralmente, o crescimento da matéria seca é acompanhado por aumento do teor de água nos tecidos das plantas. Mas, em determinadas situações, nem sempre o aumento do PF é acompanhado de aumento de peso seco. O ambiente pode hidratar o material e, com isto, ter-se uma impressão distorcida como, por exemplo, acontece com sementes embebidas, onde se denota aumento do volume sem aumentar peso seco.

As desvantagens do uso de PF é que as medições podem conter algum grau de imprecisão, pelas razões já expostas. Além do mais, destrói o indivíduo.

2.1 - CRESCIMENTO - é o aumento irreversível do tamanho, especificamente, do material protoplasmático. Implica em aumentos de peso, forma, etc.

2.3 - PESO SECO OU PESO DA MATÉRIA SECA (PS) - é o peso constante de determinada amostra, numa determinada temperatura (tecidos vegetais, 75°C, outros materiais, 105°C). Há, também destruição do indivíduo, sendo muito usado quando se está interessado em produtividade. É uma base bastante precisa.

2.4 - COMPRIMENTO - é mais usado para órgãos que crescem mais em uma só direção, monodimensional.

2.5 - ÁREA - usado quando o crescimento é bidimensional.

Na planta a determinação da área foliar apresenta um interesse particular. Seu conhecimento é de importância na determinação de inúmeros parâmetros fisiológicos (especialmente alguns relativos ao crescimento e desenvolvimento) como a intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar e outros.

Costuma-se considerar a área foliar como a área plana da folha e não a área das faces, ou seja, só se registra a área de uma das faces da folha, para usá-la nos demais cálculos destinados a determinar índices de crescimento da planta ou do cultivo. De modo geral, a maioria dos autores preferem expressar a área foliar em dm^2 .

2.5.1 - Métodos de determinação da área foliar

2.5.1.1 - Modelos Matemáticos - estabelecem-se modelos matemáticos em que as dimensões (comprimento e/ou largura, ou o produto delas) ou mesmo o peso seco da folha, para uma mesma espécie (variedade ou cultivar), em condições ambientais restritas, estão altamente correlacionadas com suas dimensões lineares. Apresenta a vantagem de ser um método relativamente rápido em relação a outros, não exigir destruição do material e ser de ampla utilização em condições de campo. Exige-se, para tal, que as folhas sejam simples (em folhas compostas, usa-se um modelo para cada folíolo de formas geométricas aproximadamente definidas) REIS et alii (v.6-15) e apresentem altas correlações com suas dimensões lineares e /ou peso seco.

Alguns Exemplos:

Café (*Coffea arabica*, L. var. Bourdon)

$y = 0,667x$ e $y = 0,262 + 0,664x$ - Viçosa - MG, Brasil BARROS et alii (v.6-4).

$y = 0,615x - 0,417$ - Colombia HUERTA (v.6-9).

Café (*Coffea robusta*)

$y = 0,10 + 0,9958x$ - India AWATRAMANI & GOPA-
LAKRISHNA (v.6-3).

Onde y = área da folha; x = área do retângulo circunscrito à folha (produto do maior comprimento pela maior largura).

Cacau (*Theobroma cacao*, L. var. catango) - Itabuna - BA, Brasil MARQUES & RODRIGUES (v.6-12).

$y = - 0,93060 + 0,67309x$ (x = área do retângulo); $r^2 = 0,97$

$\text{Log } y = - 0,37079 + 0,81866x$ (x = comprimento); $r^2 = 0,83$

Juta (*Corchorus oliatorius* L. var. GG.) CHAUDHURI & PATRA (v.6-7).

$\text{Log } y = - 0,5038 + 1,8748 \log x$ (x = comprimento); $r^2 = 0,94$

$\text{Log } y = 0,6691 + 1,4343 \log x$ (x = largura); $r^2 = 0,84$

$\text{Log } y = 0,0611 + 0,7293 \log x$ (x = peso seco - 60°C);
 $r^2 = 0,76$

2.5.1.2 - Método Planimétrico - pode-se fazer o contorno da folha com um planímetro obtendo diretamente a área de uma das faces da folha. Coloca-se uma placa transparente sobre a folha (placa de vidro ou plástico) para facilitar a operação. É mais comum fazerem-se as "impresões" das folhas, em um papel, e usar o planímetro no contorno destas.

2.5.1.3 - Método da Pesagem de Disco - retiram-se, em posições aleatórias da lâmina foliar (limbo), discos ou fragmentos de qualquer outra forma conhecida (quadrado, retângulo, etc.), através de punções ou outros meios. Estes discos (ou outros fragmentos) e o restante das folhas são levados à estufa e determinado os seus pesos secos. Por interpolação dos pesos secos determinados dos discos e da folha e a área conhecida dos discos, calculam-se as áreas das folhas.

Exemplo - Foram retirados 10 discos de 2,0cm de diâmetro, numa folha de guaranazeiro. A folha inteira pesou 0,1375g e os discos pesaram 0,0350g (peso seco à 75°C). Determinar a área foliar.

Dados:

10 discos

ϕ 2,0cm

Peso da folha (PF) = 0,1375g

Peso dos discos (Pd) = 0,0350g

L = ?

$$\frac{3,14 \cdot (2,0)^2 \cdot 10}{4} \rightarrow 0,0350$$

$$AF \rightarrow 0,1375$$

$$L = \frac{31,4 \cdot 0,1375}{0,0350} = 123,3571 \text{cm}^2$$

2.5.1.4 - Método das Cópias Heliográficas ou Fotocópias - são feitas cópias heliográficas ou fotocópias das folhas e do mesmo papel são retiradas figuras com formas em que a área pode ser facilmente conhecida (quadrado, círculo, retângulo, etc.). Por interpolação dos pesos da figura de área conhecida e o peso da "impressão" recortada da folha, determina-se a área de uma das faces da folha.

2.5.1.5 - Método dos Pontos BLEASDALE (v.6-5) - coloca-se um papel quadriculado, dividido em 1cm^2 , sob uma placa de vidro ou plástico. Marca-se com pontos os cantos de cada quadrado. Obtém-se uma placa transparente com diminutos pontos espaçados a intervalos regulares de 1cm . Se esta placa é depois colocada sobre uma folha e o número de pontos é contado, o resultado desta contagem é a área da folha em cm^2 . É essencial que se usem pontos pequenos, cuidando-se para que o centro esteja sobre a folha e a contagem dos pontos deve ser feita em ângulo reto para evitar erros de paralaxe. Este sistema funciona mesmo se a folha for extremamente dividida ou filamentosa. Pode-se provar que, do ponto de vista matemático, ele é seguro e sua precisão pode ser facilmente de-

monstrada, usando-se figura de área conhecida. Colocando-se os pontos a intervalos diferentes, podem-se usar outras escalas. Para garantir precisão através deste método é necessário que se registre um número mínimo de pontos. Isto se consegue usando escalas menores e/ou a média de leituras múltiplas. Naturalmente, pode ser medida mais de uma folha ao mesmo tempo. Quando se cobrem parcialmente ou quando ocorrem dobras na folha é fácil contar aquele(s) ponto(s) duas vezes. Às vezes, quando a placa está completamente ocupada, é mais rápido contar os pontos das lacunas e subtraí-los de número total existente. Este método apresenta a desvantagem de ser demorado.

2.5.1.6 - Uso de Medidores de Área - Integradores - são equipamentos, quase sempre portáteis, que utilizam o método eletrônico de aproximação retangular, o que lhes confere alta precisão. Compõem-se de uma "unidade sensível" e de outra de "controle da leitura da área". A área é integrada com a passagem da folha sobre a "parte sensível" do aparelho. As folhas com margens irregulares ou aquelas com perfurações, tais como nos casos de danos por insetos são medidas por esta técnica. As perfurações na folha permitem a livre passagem da luz e, portano

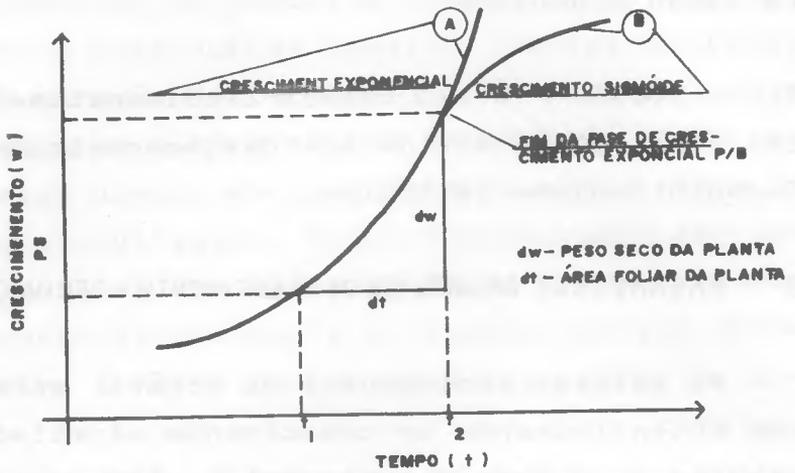
to, não contribuem para a área da folha que es
tá sendo acumulada.

2.6 - VOLUME - é uma medida tridimensional. Mui
tas vezes ela é obtida por deslocamento de água.
Exemplo: volume de frutos.

3 - PARÂMETROS DA ANÁLISE DE CRESCIMENTO - DERIVAÇÕES

As células individuais ou órgãos apresen-
tam potencialmente um crescimento ilimitado que
obedece a um padrão exponencial. Interações mú-
tuas entre indivíduos impõem limitações ao cres-
cimento e a curva de crescimento sofre uma in-
flexão tomando a conformação sigmóide. Também
os microorganismos, mostram um crescimento sig-
móide, devido eventuais limitações de espaços
e/ou nutrientes ou acúmulo de produto final. Os
parâmetros como o volume, peso, superfície, al-
tura, número de células ou mesmo o conteúdo de
proteína, mostram padrão sigmóide quando anali-
sados no decorrer da vida da planta.

FIGURA 1



O crescimento vegetativo inicial das plantas tende ser exponencial, mas o padrão sigmóide é o mais característico.

O crescimento das plantas superiores está na fase (faixa) exponencial, quando os acúmulos se processam continuamente. Neste caso, o embrião representa a participação inicial, enquanto a eficiência fotossintética lhe proporciona a aceleração.

O crescimento, nestas condições, segue a seguinte equação:

$$W_t = W_o \cdot e^{rt}, \text{ ou (I)}$$

$$\ln W_t = \ln W_o + rt \ln e, \text{ ou}$$

$$\ln W_t = \ln W_o + rt$$

onde: W_t = crescimento depois de determinado tempo (t).

W_o = crescimento inicial

t = intervalo de tempo

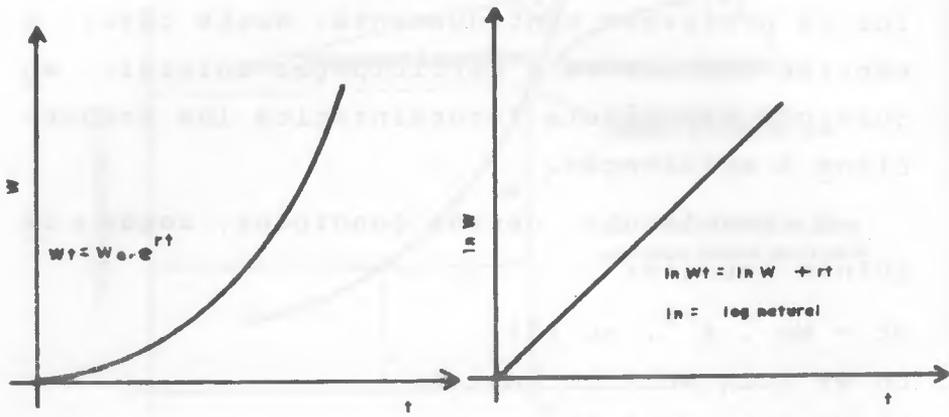
r = taxa de crescimento

e = base dos logarítmos naturais (2,7182)

Num gráfico semi-logarítmo do peso seco x tempo, a equação (I) transforma-se na equação da linha reta.

r = coeficiente de interesse ou índice de eficiência, etc., e define-se como sendo a capacidade da planta adicionar peso seco em si própria.

FIGURA 2



Representações gráficas do crescimento exponencial.

Pode-se, da equação exponencial do crescimento, obter a seguinte relação, conforme mostra a figura 1.

$$TCA = \frac{dw}{dt}; \quad TCA = \text{Taxa de crescimento absoluto instatânea.}$$

Em valores médios, TCA pode ser obtida da seguinte relação:

$$TCA = \frac{W_t - W_o}{t}$$

TCA = Taxa de crescimento em peso seco da planta por unidade de tempo (g/dia)

Mas, para os biólogos, é mais interessante expressar esta taxa de crescimento segundo uma base comum, que o próprio peso da planta. Neste caso, trata-se da taxa de crescimento relativo instatâneo (TCR), que tem a seguinte expressão matemática:

$$TCR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{W}, \quad \text{onde: } W = \text{é a base em que se relaciona a taxa de crescimento absoluta instatânea.}$$

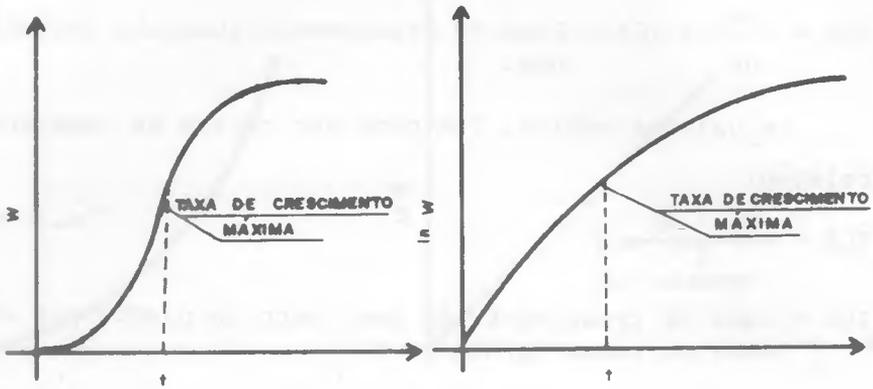
Em valores médios, a TCR pode ser obtida da seguinte relação:

$$TCR = \frac{(\ln W_t - \ln W_o)}{t}$$

TCR = g/g/dia

Mas, na prática, as curvas observadas para o crescimento das plantas são um pouco diferentes (exponencial \rightarrow sigmóide) e a taxa do crescimento passa por um máximo.

FIGURA 3



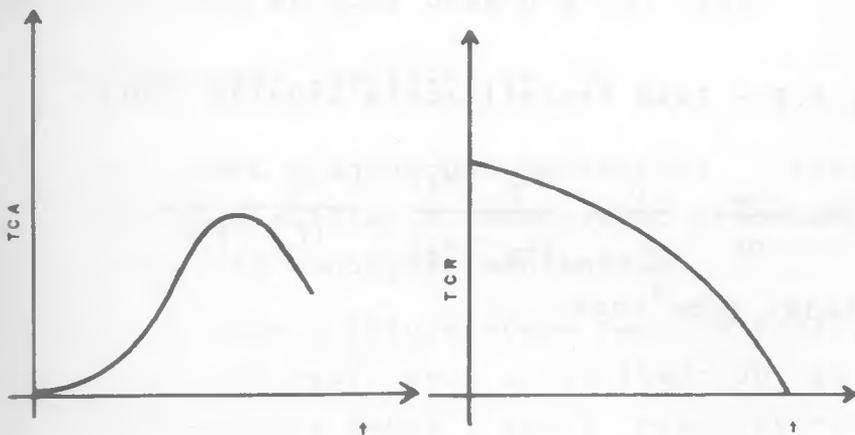
Representações gráficas do crescimento no modelo sigmóide.

Há uma fase de crescimento acelerado sendo, depois, seguida de uma desaceleração. Esta desaceleração corresponde ao aparecimento das limitações já discutidas anteriormente.

É interessante observar, também que a TCR entre plantas e animais é diferente devido, nestas primeiras, o crescimento ser feito por um número limitado de células (meristemas), enquanto, nos últimos, é generalizado; todas as células contribuem.

As curvas das taxas de crescimento absoluto e relativo apresentam conformações distintas:

FIGURA 4



Representações gráficas das taxas de crescimento absoluto e relativo do crescimento no modelo sigmóide.

3.1 - PARÂMETROS E CONCEITOS IMPORTANTES EM ANÁLISE DE CRESCIMENTO

3.1.1 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR)

$$TCR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{W} = \frac{\text{Ln}W_2 - \text{Ln}W_1}{T_2 - T_1}; \text{ unidade g/g/dia}$$

TCR - é o incremento no peso, por unidade de peso inicial, sobre um intervalo de tempo.

3.1.2 - Razão de Área Foliar (RAF)

$$RAF = \frac{L}{W} = \frac{L_1 + L_2}{W_1 + W_2}; \text{ unidade: dm}^2/\text{g}$$

RAF - é o quociente (razão) entre a área foliar (L) e o peso seco da planta toda (W).

3.1.3 - Taxa Assimilatória Líquida (TAL)

$$TAL = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{L} = \frac{(W_2 - W_1)}{(L_2 - L_1)} \cdot \frac{\text{Ln} L_2 - \text{Ln} L_1}{(T_2 - T_1)}; \text{ unidade: g/dm}^2/\text{dia.}$$

TAL - representa a capacidade da planta aumentar peso em termos da área de sua superfície assimilatória, num intervalo de tempo. Portanto, relaciona-se com a eficiência fotossintética da planta de modo generalizado. Conjuntamente, a RAF e a TCR podem ser usadas para analisar resposta de crescimento da planta em diferentes condições ambientais.

Para que haja precisão no uso desta fórmula da TAL, é necessário que W e L estejam relacionados linearmente. Mas, isto não é rigidamente observado, mesmo na fase de crescimento exponencial das plantas. Pode-se minimizar este erro, diminuindo o intervalo de tempo entre as colheitas sucessivas, para uns poucos dias.

3.1.3.1- Empregos Imediatos da TAL

3.1.3.1.1 - TAL x Condições Ambientais - pode ser usada para avaliar a resposta do crescimento da planta às condições ambientais.

TAL não mede a fotossíntese real (FS real), uma vez que ela representa o resultado do ganho fotossintético sobre a perda respiratória e, portanto, varia com a magnitude da respira

ção. Se a respiração de uma planta é também expressa em termos de área foliar, este parâmetro (TAL) comumente aumenta com a idade, mas a RAF é decrescente (maior autossombreamento, devido a maior quantidade de tecidos não fotossintetizantes), de modo que a TAL cai, independente, de mudança na atividade fotossintética da planta.

3.1.3.1.2 - Comparação entre Espécies - A TAL não oferece indicações diretas das perdas respiratórias. Este índice, portanto, não necessariamente serve como uma medida direta da capacidade fotossintética inerente às plantas de determinada espécie.

3.1.3.1.3 - Importância Agronômica - A TAL indica a eficiência de uma planta na produção de matéria seca. No entanto, a produção econômica está sob controles adicionais e não necessariamente estão relacionados com a eficiência fotossintética.

3.1.4 - Taxa de Crescimento Foliar Relativo (TCFR)

TCFR é análoga à TCR

$$TCFR = \ln L_2 - \ln L_1$$

$$\cong TCR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{W} ; \text{RAF} = \frac{L}{W} \text{ e } TAL = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{L}$$

$$TCFR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{W} \cdot \frac{L}{L} \text{ ou}$$

$$TCFR = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{L}{W} \text{ ou}$$

$$TCFR = TAL \cdot \text{RAF}$$

4 - CRESCIMENTO DE PLANTAS EM COMUNIDADE

O principal fator de diferenciação do cre
scimento de plantas individuais para a perfor
mance de uma comunidade é a mútua interfer
ência. Na comunidade, os indivíduos devem fazer o me
lhor uso dos recursos disponíveis. Assim, den
tro de certos limites estabelecidos pela capa
cidade inerente das plantas para o cre
scimento, a perfor
mance geral é uma consequência direta do
sucesso na utilização do ambiente local. Tais

fatores como luz, temperatura, disponibilidade de água e nutrição mineral assumem destacada importância. A análise de crescimento ao nível de uma comunidade pode ajudar a indagação de como as plantas utilizam efetivamente seu ambiente aéreo.

4.1 - ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA COMUNIDADE

O crescimento de uma planta isolada pode ser usualmente analisado em termos do incremento de matéria seca por unidade de tempo, como uma função da área foliar. O crescimento de uma comunidade de plantas ou de um cultivo, por outro lado, não pode ser adequadamente descrito desta mesma maneira, porque outros fatores, além da TAL, ajudam determinar a produção de matéria seca total. Mesmo em espaçamento largo, a produção não está necessariamente correlacionada com a TAL, porque a alta atividade fotossintética é facilmente compensada pela baixa RAF. A área foliar tende a ser um índice mais comum no estudo do crescimento das plantas que a capacidade fotossintética de folhas individuais, de modo que a efetiva exposição da superfície foliar torna-se crítica. Altas densidades de plantio favorecem maior área foliar por unidade de solo e, portanto, um maior potencial de

produção, mas, a atividade fotossintética de folhas individuais tenderá ser reduzida, devido ao mútuo sombreamento. A densidade de copa e a TAL interagirão, portanto, para determinar a produtividade total e, para compreender estas interações, nós necessitamos de parâmetros que descrevam quantitativamente o crescimento e a densidade foliar ao nível da comunidade.

Os primeiros trabalhos que se preocuparam com a determinação de parâmetros para a análise de crescimento, em comunidade de plantas, são os de WATSON (v.6-18, -19).

$$TCC = \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt}, \text{ onde: } w = \text{peso seco das plantas.}$$

$$TAL = \frac{1}{A} \cdot \frac{dw}{dt}, \text{ onde: } A = \text{área foliar.}$$

Por analogia, a taxa de crescimento do cultivo (TCC) é definida como:

$$TCC = \frac{1}{AT} \cdot \frac{dw}{dt}, \text{ onde: } AT = \text{superfície do solo}$$

A TCC representa a produção total de matéria seca da comunidade, por unidade de área de solo, sobre um determinado tempo.

A cobertura fotossintética em uma comunidade tem sido expressada por um número puro, resul

tante da relação entre a área foliar e a área do terreno, que é chamada de "Índice de Área Foliar" (IAF). Este conceito é básico para a análise do crescimento de uma comunidade de plantas ou na interceptação de luz e, especialmente, para informar sobre a performance de folhas individuais (TAL).

Mesmo sendo o IAF simplesmente a razão de A/AT, ele apresenta interações com a TAL e a produtividade, porque:

$$TCC = TAL \cdot IAF; \text{ unidade: } g/m^2 \text{ de solo/dia}$$

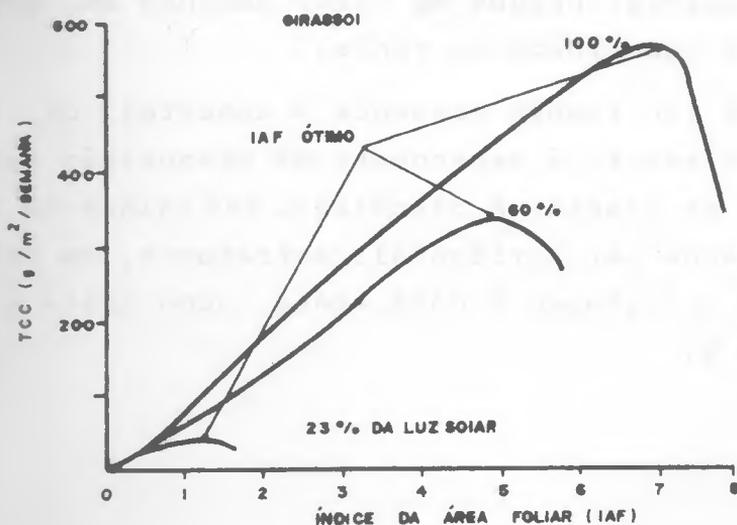
O IAF pode ser medido, experimentalmente, colhendo-se todo material de uma área de terreno fixada, determinando a área foliar total das plantas desta área e relacionando a área foliar para a superfície do terreno.

Sob cobertura contínua de planta, os valores do IAF geralmente estão entre 1 e 8. Onde a radiação solar impõe limitações ao crescimento, valores em torno de 1,0 são comuns; entretanto, as florestas podem apresentar um IAF de aproximadamente 8,0. Não sendo limitado por fatores ambientais, a comunidade de folhas utilizará toda a luz do sol disponível, em maior extensão, e a superfície foliar total (relativa à área de solo) requerida será determinada mais pelo arranjo foliar do que pelas propriedades

óticas de folhas individuais. A extinção de luz dentro da copa está, portanto, mais estreitamente relacionada com o IAF do que a "concentração de clorofila" do stand.

Se toda a radiação solar incidente sobre uma cultura pudesse ser interceptada e totalmente utilizada pelos tecidos fotossintetizantes, a produção máxima por unidade de superfície do solo seria assegurada, pois, sendo a TCC o produto da TAL pelo IAF, a maior produtividade ocorre quando aqueles índices são maximizados. A TCC mostra uma estreita dependência com o IAF e as comunidades de plantas apresentam um IAF ótimo, conforme mostra a figura 5.

FIGURA 5



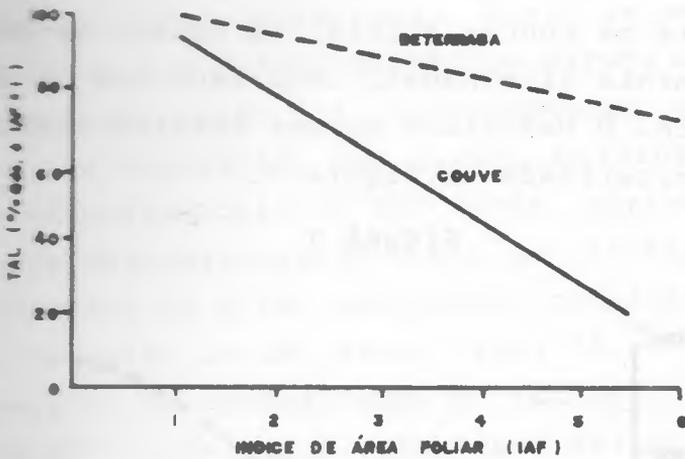
O IAF no qual o TCC é máxima depende da intensidade da luz.

Aumentando excessivamente o IAF, o grau de sombreamento mútuo na folhagem intensifica-se, a ponto que a TAL começa declinar-se. É atingido um ponto em que aumentos na superfície foliar (maior IAF) não compensam a redução na fotossíntese líquida, devido as perdas respiratórias pelos tecidos não fotossintetizantes. No IAF ótimo as perdas serão excedidas.

A intensidade de luz e a forma da planta são envolvidas na determinação das relações entre TCC e IAF. A TCC pode ser maximizada num IAF que aumenta com a intensidade de luz (Fig.5). Num IAF supra-ótimo, as perdas respiratórias pelos tecidos fotossintetizantes começam assumir maior significância, ou seja, a razão dreno/fonte aumenta, porque há maior demanda em drenos que a capacidade da fonte.

A TAL também responde a aumentos de IAF, mas o efeito é dependente da disposição das folhas na planta. A disposição das folhas na couve tende ser horizontal, entretanto, em beterraba a folhagem é mais ereta, como mostra a figura 6.

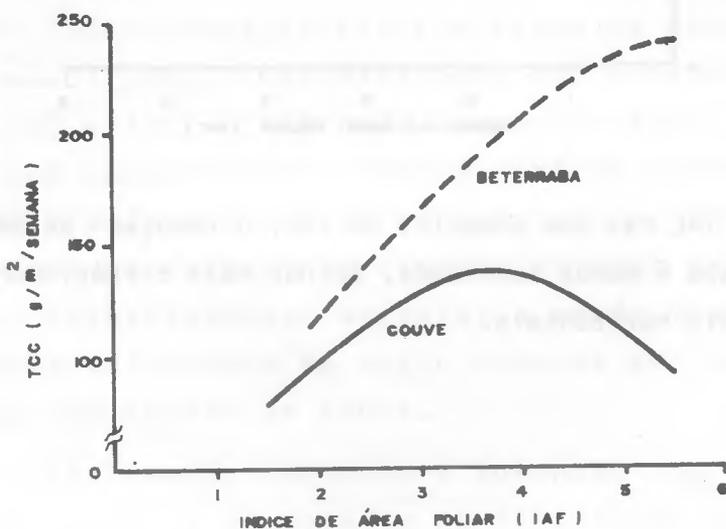
FIGURA 6



A TAL cai com aumentos do IAF. A redução da TAL na beterraba é menos acentuada, folhas mais eretas; couve folhas mais horizontais.

O declínio na TAL é portanto, mais acentuado em couve que em beterraba e isto é consequência de poucas folhas, na couve, serem adequadamente iluminadas, comparado com as de beterraba. O resultado desses fatores combinados é caracterizado na figura 7.

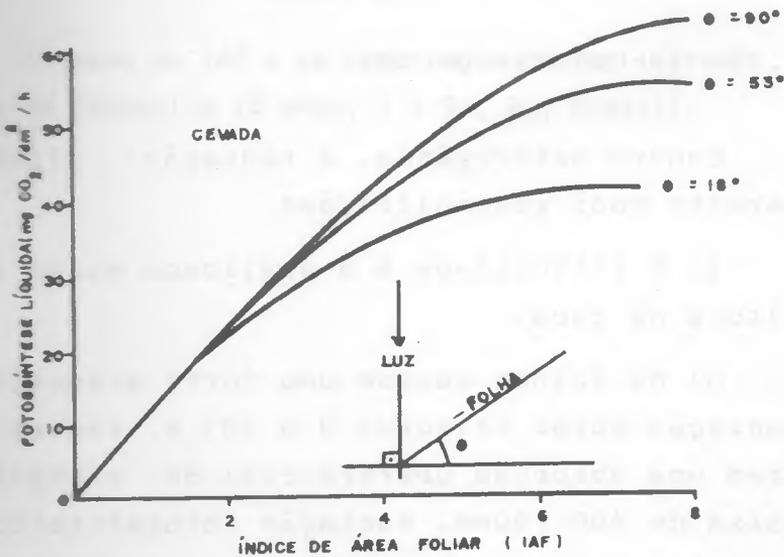
FIGURA 7



A geometria do stand influencia a relação entre TCC e IAF, pela penetração de luz.

A orientação foliar assume maior importância devido, numa comunidade de plantas com folhas verticalmente orientadas, fazer-se melhor uso tanto da luz difusa quanto da direta do sol e pode atingir maior IAF, interceptando totalmente a luz incidente, que quando as folhas são dispostas horizontais. A TCC seria, portanto, sustentada pela disposição ereta da folhagem, especialmente em altas densidades de plantio, em que se obtém um IAF maior (fig. 7). A figura 8 mostra, em cevada, como a fotossíntese líquida \times IAF varia com a orientação foliar.

FIGURA 8



Maior fotossíntese líquida é obtida num alto IAF, grandemente influenciado pelo ângulo de orientação da folha.

O aumento na densidade de plantio resulta de uma maior superfície fotossintetizante, mas à eficiência dentro da comunidade torna-se diminuída por outros fatores, tal como a aceleração da senescência nas camadas inferiores da folhagem. A adaptação na taxa respiratória pelas folhas inferiores é uma característica da comunidade, e tem implicações na fotossíntese líquida, mas declina na copa, tanto que as camadas inferiores da folhagem podem ser autossustentadas, mesmo sob uma intensidade de luz que seria insuficiente para compensar as perdas respiratórias na folhagem mais exposta à luz.

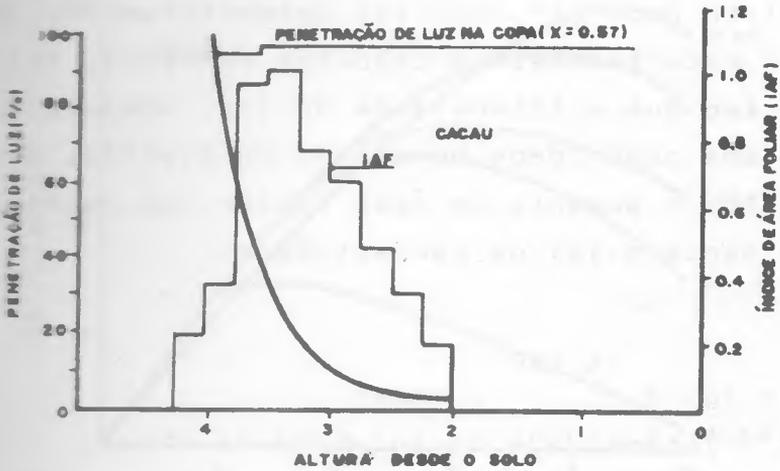
4.2 - INFLUÊNCIA DA LUZ

Embora heterogênea, a radiação climática permite duas generalizações.

a) A intensidade e a qualidade mudam com a altura na copa.

b) As folhas causam uma forte atenuação na radiação solar (figuras 9 e 10) e, também, mostram uma absorção preferencial de energia na faixa de 400-700mm. Radiação fotossinteticamente ativa é o termo mais comum usado para designar os comprimentos de onda responsáveis pela fotossíntese.

FIGURA 9



Esquema do IAF e da penetração de luz através da copa em cacaueiro (8 anos, 3 x 3m, BA, Brasil).

Em uma copa densa, a intensidade de luz diminui obviamente com o aprofundamento na copa, e isto pode ser descrito matematicamente. Em bases experimentais e cálculos teóricos, foi sugerido que a intensidade de luz, numa altura, em uma comunidade homogênea de plantas, decrece com o aumento da área foliar, de maneiras semelhante à lei de Lambert-Beer:

$$I = I_0 \cdot e^{-K \cdot IAF}, \text{ onde:}$$

I_0 = Intensidade de luz fora da copa

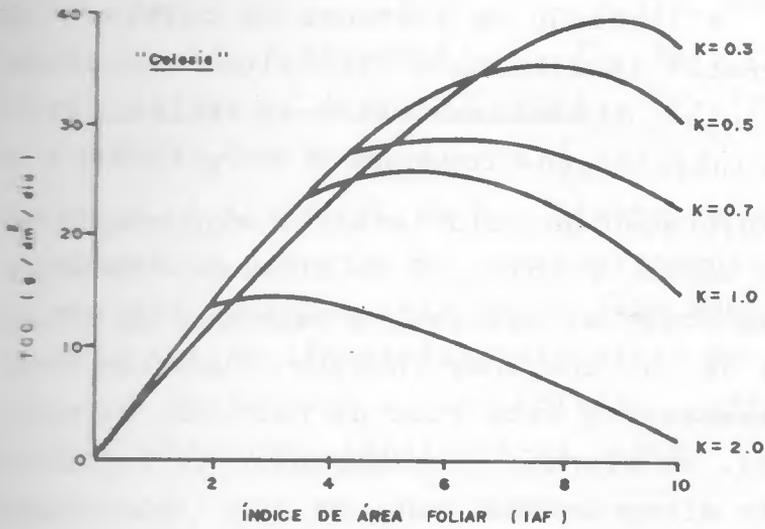
I = Intensidade de luz no interior da copa

K = Coeficiente de extinção, característico de cada copa.

K varia entre 0,3 e 0,5 (folhagem vertical), entretanto, comunidades com folhas quase horizontais têm coeficientes de extinção entre 0,7 e 1,0.

Em termos gerais, a intensidade de luz e produtividade podem ser relacionados com o IAF, porque a geometria do stand oferece um denominador comum K . Uma vez que K caracteriza um stand, a relação entre a produtividade e o IAF depende do valor de K .

FIGURA 10



A produtividade é dependente da densidade foliar-K e IAF.

5 - CONCLUSÃO

A formação de sistemas de cultivo "multi-strata" implica numa disposição associada de plantas, de maneira a obter-se máxima eficiência na intercepção e conversão da energia solar e integral exploração do solo (efetiva exploração do espaço aéreo e solo). É de interesse denotar que nem todas as plantas, a depender da intensidade de luz que lhes incidem, suportam indiscriminadamente este tipo de cultivo. De modo geral, as plantas tradicionalmente cultivadas exigem altas intensidades de luz (heliófilas). É indispensável ter consciência dessas exigências básicas, especialmente dos graus de tolerância a esta sombra relativa. As plantas, quando próximas de seus pontos de compensação (exigência dos drenos-respiração \geq capacidade das fontes - fotossíntese) não tem condições de oferecer a produtividade desejada. O índice de área foliar (IAF) da comunidade, também, deverá estar o mais próximo possível do ótimo, para evitar excessivo sombreamento.

A técnica de análise de crescimento de plantas, que ora foi apresentada, pode oferecer subsídios a pesquisadores para se orientarem, em bases fisiológicas, de modo a conseguirem sucesso nos sistemas de cultivo "multi-strata".

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .

- 1 - ALVIM, Paulo de T. Cacao. In: ALVIM, Paulo de T., ed. & KOZLOWSKI, T. T., ed. Eco-physiology of tropical crops. New York, Academic Press, 1977. p.279-313.
- 2 - ALVIM, R. & ALVIM, P. de T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris*), em culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba, Turrialba, 19(3):389-93, 1969.
- 3 - AWATRAMANI, N. A. & GOPALAKRISHNA, H. K. Measurement of leaf area in Coffee - I *Coffea arabica*. Indian Coffee, Bangalore , 29(1):25-30, jan. 1965.
- 4 - BARROS, R. S. et alii. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). Revista Ceres, Viçosa, 20(107):44-52, 1973.
- 5 - BLEASDALE, J. K. A. Plant growth and crop yield; the fourth Barnes Memorial Lecture. Annals of Applied Biology, Cambridge, 57(2):173-82, 1966.

- 6 - BRANDES, D. et alii. Efeitos da população de plantas e épocas de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). II. Análise de crescimento. Experientiae, Viçosa, 15(1):1-21, 1973.
- 7 - CHAUDHURI, B. B. & PATRA, A. P. Note on a rapid method of terminating leaf area in tossa jute (*Corchorus olitorius* L.). The Indian Journal of Agricultural Sciences, New Delhi, 42(12):1142-43, 1972.
- 8 - EVANS, G. C. The quantitative analysis of plant growth. Berkeley, University of California Press, 1972. 734p. (Studies of Ecology, 1).
- 9 - HUERTA, S. A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo para medir el área foliar del cafeto. Cenicafe, Chinchina, 13(1):33-42, 1962.
- 10 - KVET, J. et alii. Methods of growth analysis. In: SESTÁK, Z. Plant photosynthetic production; manual of methods. The Hague, W. Junk N. V. Publishers, 1971. p.343-91.

- 11 - LEOPOLD, A. C. & KRIEDEMANN, P. Plant growth and development. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 1965. 545 p.
- 12 - MARQUES, E. S. & RODRIGUES, E. M. A. Estimativa da área foliar do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) baseada nas dimensões da folha. Boletim Técnico do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Leste, Cruz das Almas, (8):5-20, 1968.
- 13 - MORAES, V. H. F. Bases fisiológicas da produtividade das culturas. Boletim de Escola de Agronomia da Amazônia, Belém (4):15-32, 1971.
- 14 - RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. Crop Science, Madison, 7(3):171-5, 1967.
- 15 - REIS, G. G. et alii. Determinação da área foliar do guaranazeiro. I. Folhas compostas. Belém, CPATU, 1978.
- 16 - RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F. C. Plant physiology; a treatise. New York, Academic Press, 1969. p.3-76.

- 17 - WAREING, P. F. & PHILLIPS, I.D.I. The control of growth and differentiation in plants. Oxford, Pergamon Press, 1970. 303p.
- 18 - 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, n.s., Oxford, 11(41):41-76, 1947.
- 19 - WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy, 4:101-145, 1952

REIS, Geraldo Gonçalves dos & MULLER, Manfred Willy. Análise do crescimento de plantas; mensuração do crescimento. Belém, FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 1979. 39p. (FCAP, Informe Didático, 1)

ABSTRACT: A pedagogical approach on growth analysis of isolated plant and plant community was made. The description of this technique objectifies to offer to forestry and agronomy students and plant researchers support, in physiological bases, understanding of the growth and development as well as plant photosynthetic efficiency and the interactions with environmental conditions. Among the studied indexes, special emphasis is given to the leaf area, absolute and relative growth rates, foliar area ratio, net assimilation rate, relative foliar growth rate, crop growth rate, leaf area index and coefficient of the extension of light and its interactions.

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO

Setor de Produção Gráfica

Serviço de Documentação e Informação

Faculdade de Ciências Agrárias do Pará