ANÁLISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS: Conceitos e Prática

Clovis Pereira Peixoto[1], Thyane Viana da Cruz[2], Maria de Fátima da Silva Pinto Peixoto[3]

[1]Prof. Dr. Associado Fisiologia Vegetal do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
[2]Pós- doutoranda em Ciências agrárias (CCAAB/UFRB)
[3]Profª. Drª. Associada Biologia do solo (CCAAB/UFRB)
Data de recebimento: 07/10/2011 - Data de aprovação: 14/11/2011

O objetivo é discutir os princípios e práticas da análise quantitativa do crescimento vegetal através de uma abordagem conceitual com elucidações por meio de diversos experimentos realizadas pelo Grupo de Pesquisa Manejo de Plantas em Ecossistemas Neotropicais – MAPENEO, onde foram aplicadas tais técnicas para inferir sobre o crescimento e o desenvolvimento de plantas oleaginosas (soja, mamoneira, amendoim e girassol) nos sistemas agrícolas do Estado da Bahia. O estudo evidencia que em todas as culturas, os índices fisiológicos permitem identificar o potencial de adaptação e produtivo dos genótipos estudados, sob as diferentes condições ecofisiológicas.

Palavras-chave: fitomassa, área foliar, índices fisiológicos e produtividade.

ABSTRACT

The objective of the present work was to discuss the principles and practices of quantitative analysis of plant growth through a conceptual approach with elucidations through various experiments conducted by plant Management Research Group in Neotropical Ecosystems – MAPENEO, where they were applied these techniques to infer about the growth and development of oil plants (soybean, sunflower, peanuts, and castor beans) in the agricultural systems of the State of Bahia. The study reveals that in all cultures, physiological indices identifying the potential for adaptation and production of the genotypes studied, under different conditions ecophysiological.

Keywords: phytomass, leaf area, physiological indices and productivity.

INTRODUÇÃO

Os princípios e as práticas da análise quantitativa do crescimento vegetal têm como objetivo descrever e interpretar o desempenho de determinada espécie crescendo em condições de ambiente natural ou controlado (HUNT, 1990). Esta análise é uma aproximação explicativa, holística e integrativa usada para interpretar a forma e a utilidade da planta (HUNT et al., 2002). Tais técnicas foram desenvolvidas, no início do século 20, por investigadores britânicos (BLACKMAN, 1919; BRIGGS et al. 1920) e é considerada internacionalmente como método padrão para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária de comunidades vegetais (PEIXOTO, 1998; PEIXOTO, 2002; CRUZ, 2007; PEIXOTO & PEIXOTO, 2009; TSUMANUMA, 2009).

A dinâmica do crescimento vegetal pode ser acompanhada por meio de fórmulas matemáticas, sendo o primeiro passo utilizado para quantificar a produção vegetal, possibilitando avaliar a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento final das plantas. Sua principal vantagem está na obtenção de informações a intervalos regulares, sem a necessidade de laboratórios e/ou equipamentos sofisticados, uma vez que as informações necessárias para levar avante tais análises, são a massa da matéria seca (fitomassa) da planta e a dimensão do aparelho fotossintetizante (área foliar). Nos estudos ecofisiológicos das plantas não se pode prescindir da análise de crescimento, pois, os fatores ambientais como luz, temperatura, concentração de CO_2 e a disponibilidade 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 estádio de desenvolvimento da planta, podem ser conhecidas a eficiência do crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais em que estas plantas crescem. Portanto, independente das dificuldades inerentes ao nosso conhecimento sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise quantitativa do crescimento é uma ferramenta e o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o desenvolvimento vegetal e a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o seu desempenho, nas diferentes condições agroecológicas a que são submetidos.

A tecnologia de exploração de plantas envolve a aplicação de diversas ciências. Na Agronomia, a horticultura e a silvicultura, entre outras, são disciplinas no campo da agricultura que utilizam conhecimentos provindos da Botânica, da Edafologia, da Mecânica, da Zoologia (pragas), da Climatologia e de outros setores do conhecimento, visando a produção agrícola que decorre do crescimento e desenvolvimento das plantas. Um controle da produtividade das plantas só é possível, pois, conhecendo-se os fatores que atuam sobre o crescimento e desenvolvimento nos vegetais.

Este trabalho visa atender aos iniciantes no estudo da Fisiologia Vegetal e, em particular, aos alunos dos cursos de Agronomia e áreas afins, sendo esta, uma revisão simplificada sobre a dinâmica do crescimento e desenvolvimento das plantas, permitindo que o leitor tenha uma noção básica geral e, caso queira aprofundar o conhecimento, poderá utilizar-se das bibliografias sugeridas e/ou buscar aquelas mais específicas.

CONCEITOS BÁSICOS

A análise quantitativa de crescimento tem sido usada por pesquisadores de plantas, na tentativa de explicar diferenças no crescimento, de ordem genética ou resultante de modificações no ambiente. Seu uso torna-se apropriado quando são usados conceitos básicos de análise de crescimento e os critérios essenciais para a obtenção dos dados.

Crescimento: Aumento irreversível de algum atributo físico, especialmente do material protoplasmático (Reis e Muller, l979). Pode-se medir a massa, tamanho ou volume, a depender do: a) Do objetivo do experimentador, b) Da disponibilidade do material a ser estudado e c) Da disponibilidade do equipamento para efetuar a medida. Muitos autores restringem o termo crescimento aos processos de divisão e alongamento celular. Crescimento, entretanto, nem sempre significa um aumento de

tamanho (Felippe, 1985). Assim, alguns organismos utilizam materiais de reservas para produzir novas células, havendo multiplicação celular sem, contudo, aumento em extensão, o qual se dá por vacuolização. Tanto é que, em “déficit hídrico”, o crescimento em extensão é o mais sensível, pois depende da pressão de turgor.
Desenvolvimento: Diferentes etapas por que passa o organismo ou o vegetal (germinação, juvenilidade, maturação, reprodução, senilidade e morte). O desenvolvimento é caracterizado pelo crescimento e por mudanças na forma da planta, as quais ocorrem por meios de padrões sensíveis de diferenciação e morfogênese.

Diferenciação: Aumento em complexidade. Diz respeito a todas as diferenças qualitativas entre células: especialização de células e tecidos para funções particulares durante o desenvolvimento. Os tecidos diferenciam-se em sistemas vasculares (floema e xilema), de reservas, preenchimentos e síntese (parênquimas), entre outros.

Através da Fenologia (estudo dos fenômenos periódicos da vida em relação às condições ambientais), pode-se observar que o crescimento e o desenvolvimento de um organismo resultam da ação conjunta de três níveis de controle (Lucchesi, 1987):

Controle Intracelular: Controle genético; envolve as características da planta que ela carrega em sua bagagem genética. A atividade celular depende da ação gênica para a síntese protéica e enzimática. Estes conhecimentos são muito utilizados em programas de Biotecnologia.

Controle Intercelular: Envolve as substancias reguladoras. Os hormônios, compostos orgânicos não nutrientes, de ocorrência natural, produzidos na planta que, em baixas concentrações promovem, retardam ou inibem processos fisiológicos e morfológicos. Os reguladores vegetais possuem as mesmas propriedades, sendo, porém exógenos. Suas atuações acontecem ao nível de gene, portanto, são capazes de promover as mais variadas modificações nos vegetais (Castro e Vieira, 2001). As principais classes de hormônios vegetais são as Auxinas, Giberelinas e Citocininas (promotores), o Etileno (ligado a senescência), e o Ácido abscísico (Inibidor). Alguns reguladores sintéticos como a Hidrazina maleica, têm ação inibidora. Enquanto outros, como o Daminozide (SADH) e Chlormequat (CCC), agem como retardadores do crescimento, com ação no meristema subapical, sobre a síntese de auxína e giberelina, respectivamente.

Controle Extracelular: É o controle ambiental. Seriam as condições do ambiente onde está inserido o vegetal, pois seu desenvolvimento depende de vários componentes ambientais como: luz, temperatura, água, sais minerais, etc. Estão envolvidos fatores do meio físico (climáticos e edáficos) e fatores do meio biológico (pragas, doenças, plantas daninhas, animais e o homem). O ambiente, constituído do Biótopo (lugar onde há vida) e da Biocenose (conjunto dos seres vivos), afeta a morfologia, o crescimento e a reprodução vegetal, através dos fatores climáticos (altitude, latitude, vento, temperatura, luz e água) e edáficos (topografia, propriedades físicas: textura, estrutura, profundidade e permeabilidade e propriedades químicas: fertilidade, pH e matéria orgânica).

Como podemos observar, o desenvolvimento da planta como um todo é um processo complexo que envolve fatores externos e internos. Sendo que o processo compreende o crescimento e a diferenciação. O crescimento reflete um aumento em tamanho e peso (massa), sendo, por isto, um processo quantitativo. A diferenciação é um processo qualitativo que pode ser observado, mas não medido, constituído por modificações internas e externas na forma e posição relativa de várias partes da planta durante seu ciclo de vida.

As técnicas de análise de crescimento foram desenvolvidas, no início do século XX, por investigadores britânicos (Blackman, 1919; Briggs et al. 1920; West et al., 1920) que além de apresentarem as fórmulas de análise de crescimento, suas derivações e condições necessárias para seu uso correto, discutem alternativas e métodos que envolvem uma descrição matemática do peso da matéria seca e da área foliar em função do tempo, seguida de cálculos de diferentes parâmetros de crescimento.

O fundamento dessa análise é a medida seqüencial da acumulação de matéria orgânica na planta, sendo que a sua determinação é feita, normalmente, considerando a massa da matéria seca ou a sua fitomassa (Magalhães, 1985). Entretanto, devido ao fato deste procedimento ser destrutivo, as plantas tomadas como amostra a cada tempo, devem representar a população em estudo.

A medida da massa da matéria seca das diferentes partes da planta é simples e exige poucos equipamentos (réguas graduadas em milímetros, tesouras, paquímetro, estufas de aeração forçada, sacos plásticos, sacos de papel, etc.). Isto é, não exige laboratório nem material sofisticado, o que é considerado uma vantagem da análise do crescimento, segundo Castro et al. (l984), uma vez que as informações necessárias para se levar avante tais análises, são a massa da matéria seca (fitomassa) da planta inteira ou parte dela e a dimensão do aparelho fotossintetizante (área foliar). Estas informações são obtidas a intervalos de tempo regulares, normalmente uma semana ou cada 14 dias para plantas de ciclo curto (Castro et al., l984; Magalhães, 1985; Peixoto, 1995; Peixoto, 1998; Brandelero, 2000; Brandelero et al., 2002 e Benincasa, 2004).

A fim de que o crescimento total da planta possa ser estimado, as raízes devem ser consideradas como importantes componentes do vegetal. No entanto, em geral, a recuperação das raízes, principalmente no campo, pode se tornar um trabalho adicional, o que faz com que esta parte da planta seja desconsiderada nos cálculos de análise de crescimento. Por outro lado, em determinados vegetais onde as raízes são responsáveis pela produção econômica, faz-se necessário que a tomada de suas medidas, seja em massa, volume, diâmetro ou tamanho.

A determinação da superfície foliar é muito importante no que diz respeito a inúmeros parâmetros fisiológicos como a taxa de crescimento relativo, a taxa assimilatória líquida e o índice de área foliar, entre outros. A área foliar representa a matéria prima para a fotossíntese e, como tal, é de grande importância para a produção de carboidratos, óleos, proteínas e fibras.

Basicamente, os parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal abordam a área foliar (AF ou L) e matéria seca (MS ou W) acumulada pela planta por representarem esses fatores a “fabrica” e o “produto final”, respectivamente (Peixoto, l995). Na prática, as principais medidas de W e L são o peso da matéria seca total (MST) e a área foliar total (AF) da planta.

As fases de crescimento de uma planta ou de qualquer outro organismo vivo podem ser resumidas na Figura 1 e representam as modificações no tamanho, na massa ou no volume desse organismo, ou de qualquer órgão dele, em função do tempo. Neste tipo de curva, podemos distinguir uma fase inicial de crescimento lento, passando posteriormente a uma fase exponencial e, em seguida, a uma de crescimento linear e um novo período de crescimento lento, com a paralisação eventual do processo.

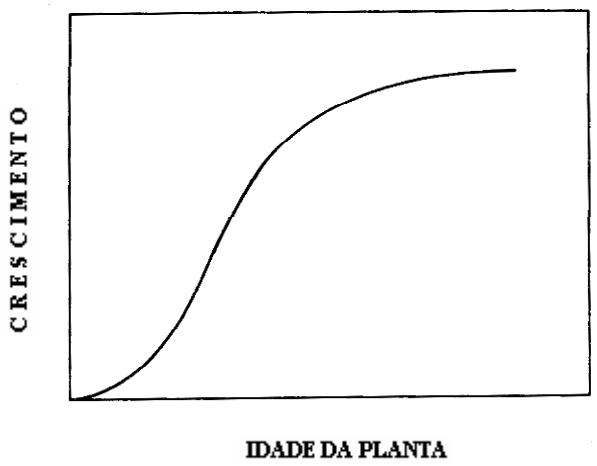

Figura 1. Curva ilustrativa do crescimento sigmoidal de uma planta (Magalhães, 1985).

A interpretação fisiológica dessas diferentes fases do crescimento pode ser compreendida da seguinte forma:

No inicio, a planta depende das reservas da semente para a produção dos diferentes órgãos componentes. O espaço ainda não foi ocupado pelas plantas. Cada nova folha que é formada contribui para maior interceptação da luz. Não há sombreamento mútuo ainda e a contribuição das poucas folhas é semelhante. A taxa de crescimento relativa é constante e a cultura é principalmente vegetativa, caracterizando a fase exponencial.

Após o desenvolvimento do sistema radicular e a expansão das folhas, a planta retira água e nutrientes do substrato em que se desenvolve e inicia os processos anabólicos dependentes da fotossíntese. As folhas serão gradualmente auto-sombreadas, aumenta o índice de área foliar (IAF), passando a uma fase de crescimento linear, com o maior incremento na taxa de matéria seca (MS). Quando água e nutrientes não são limitantes, o IAF poderá facilmente exceder o seu ótimo sem, contudo, significar maior aumento em fitomassa.

Ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra para a fase de senescência, diminuindo o IAF, com menor interceptação da energia luminosa, resultando em decréscimo no acúmulo de matéria seca, com a translocação desta para os órgãos de reservas, e conseqüente degeneração do sistema fotossintético.

Segundo Lucchesi (l987), um vegetal anual em condições ecológicas adequadas, ocupa no período de crescimento, em termos de percentagem, 10% para germinar, 6% para emergir, 51% no grande período de crescimento (fase

linear), 15% para a reprodução, 8% na maturação e 10% até a colheita. Portanto, durante o seu desenvolvimento, o vegetal ocupa, nas diferentes fases, diferentes períodos de crescimento, naturalmente afetados pelos fatores externos (fenologia) e os inerentes à própria planta.

A análise do crescimento constitui uma parte da fisiologia vegetal em que se faz uso de fórmulas e modelos matemáticos para avaliar índices de crescimento das plantas, sendo muito deles relacionados com a atividade fotossintética (Benincasa, 2004). Como o crescimento é avaliado por meio de variações de tamanho de algum aspecto da planta, geralmente morfológico, em função da acumulação de material resultante da fotossíntese líquida, esta passa a ser o aspecto fisiológico de maior importância para a análise de crescimento. Exceções ocorrem como, por exemplo, o alongamento de caules por alta atividade auxínica, sob condições de ausência de luz (estiolamento).

A fotossíntese líquida (FL) é definida como a diferença entre a fotossíntese bruta (FB -tudo que é literalmente produzido pela fotossíntese no interior dos cloroplastos) e o que é consumido pela respiração (R). Em algumas plantas, outro processo compete com a fotossíntese bruta: a fotorrespiração (FR). Portanto, FL = FB – (R + FR).

A respiração é um processo de combustão lenta dos carboidratos produzidos na fotossíntese, resultando na liberação de energia armazenada nesses compostos, a qual é utilizada para a manutenção do metabolismo vegetal e de todos os processos fisiológicos. Portanto, é de se esperar que, na medida em que a planta cresça, ocorra um aumento no processo respiratório, e, conseqüentemente, a fotossíntese bruta terá de ser bem maior para atender às necessidades metabólicas do material existente e, ainda, promover adições de novos materiais, isto é, promover o crescimento. Na Figura 2 tem-se o fluxo de matéria e energia a partir da fotossíntese, no qual o esquema se apresenta em três níveis:

No nível A, mediante o processo fotossintético, são produzidos os produtos primários (PP), basicamente carboidratos (1), que formarão inicialmente os açucares simples (monossacarídeos como glicose e frutose), ou podem ser armazenados (2) em formas mais complexas (dissacarídeos ou polissacarídeos como a sacarose e o amido).

Estes carboidratos poderão ser diretamente “queimados” pela respiração (3) e/ou, são utilizados para a síntese de material metabólico e estrutural (4), como proteínas, lipídeos e demais componentes orgânicos produzidos pela planta - nível B.

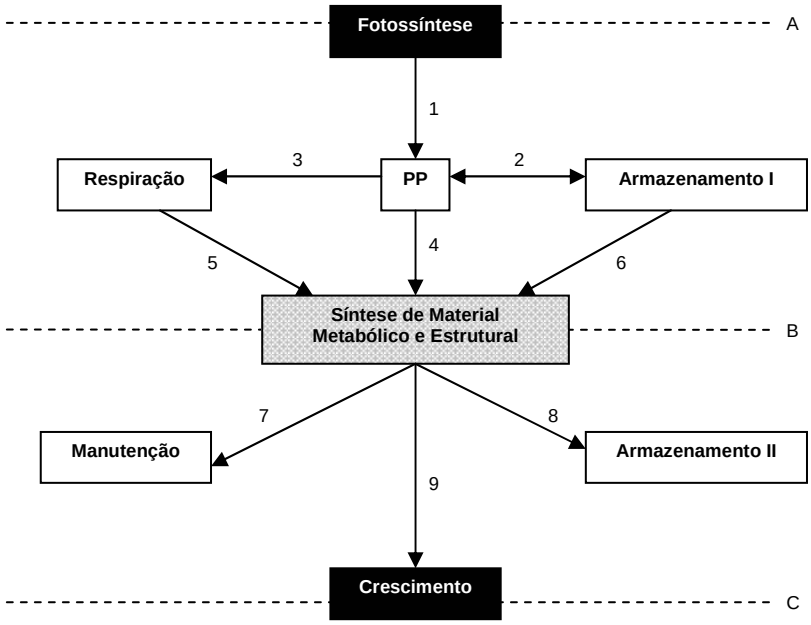

Figura 2. Fluxo de matéria e energia, a partir do processo fotossintético (Benincasa, 2004).

Em direção ao nível B, o caminho (5) constitui o fluxo de energia obtida pela respiração que será utilizada na síntese de novo material e (6) é fluxo de material armazenado que, eventualmente, poderá ser mobilizado para as novas sínteses. Em caso de estresses, esse material armazenado poderá ser utilizado diretamente pela respiração.

O crescimento da planta como um todo, em termos de aumento de volume, de massa, de dimensões lineares, de unidades estruturais, é função do que a planta armazena (armazenamento I e II) e do que a planta produz em termos de material estrutural (nível B).

Os compostos elaborados no nível B são, em parte, utilizados para manutenção do material já existente (7), armazenado secundariamente (8) ou serão utilizados para promover aumento do material estrutural (9), resultando em crescimento - nível C.

MEDIDAS DO CRESCIMENTO

A análise de crescimento permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar-se, de forma bastante precisa, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes.

Do ponto de vista agronômico, a análise de crescimento atende àqueles pesquisadores que estão interessados em conhecer diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie, de forma a poder selecioná-los para melhor atender aos seus objetivos ou mesmo utilizar a análise de crescimento no estudo do desenvolvimento vegetal sob diferentes condições ambientais, incluindo condições de cultivo, de forma a selecionar cultivares ou espécies que apresentem características funcionais mais apropriadas aos objetivos do experimentador.

O crescimento de uma planta pode ser estudado através de medidas de diferentes tipos, quais sejam: lineares, superficiais, volumétricas, peso e número de unidades estruturais. Os tipos de medidas a serem realizadas dependem de vários aspectos: (a) objetivos do experimentador; (b) disponibilidade de material a ser estudado; (c) disponibilidade de mão-de-obra; (d) disponibilidade de tempo do experimentador ou da equipe; (e) disponibilidade de equipamentos para executar as medidas.

Dimensões lineares: (altura de planta, comprimento e diâmetro de caule, comprimento e largura de folhas, etc.). Estas medidas de dimensões lineares podem ser feitas em plantas intactas ou não. São muito úteis e, em alguns casos, são as únicas possíveis.

Número de unidades estruturais: o crescimento pode ser acompanhado a partir da contagem de unidades estruturais morfológicas ou anatômicas (folhas, flores, raízes e frutos) que podem fornecer informações sobre a fenologia e são, muitas vezes, usadas para detectar diferenças entre os tratamentos estabelecidos.

Número e distribuição de estômatos, número e distribuição de células do parênquima clorofiliano, acompanhadas ou não, de outras medidas destes órgãos, dão importantes informações sobre as diferenças funcionais entre plantas ou interações destas com o ambiente;

Medidas de superfície: estas medidas estão relacionadas com a determinação ou estimativa da superfície fotossinteticamente ativa da planta que, com raríssimas exceções, são as folhas, os órgãos vegetais responsáveis pela fotossíntese.

A superfície foliar é determinada diretamente ou estimada por meios indiretos, em vez de se medir a folha inteira, definindo-se como área foliar, a medida dessa superfície. Em caso de plantas que não apresentem folhas funcionais, como algumas cactáceas, o aparelho fotossintetizante é a superfície do caule e ramificações.

A área foliar é determinada por diferentes métodos. A maioria com alto grau de precisão. Dentre estes métodos, destacamos:

Uso do Planímetro - A partir de contornos foliares impressos em papel, estima-se a área foliar. Pode-se fazer o contorno da folha, obtendo-se diretamente a área foliar. Coloca-se uma placa transparente sobre a folha (vidro ou plástico) para facilitar a operação. É mais comum usar-se a “impressão da folha” em um papel e usar o planímetro no contorno destas.

Massa seca de discos foliares - Com um perfurador de área conhecida (de metal), através de punções, toma-se amostras de discos foliares, relacionando a massa seca da área conhecida do disco com a massa seca da folha.

Fotocópias - Comparação da massa de uma área conhecida de papel com a massa dos recortes do perímetro das folhas. Para isso, são feitas cópias heliográficas das folhas e do mesmo papel são retiradas figuras com formas em que a área pode ser conhecida (quadrado, círculo, retângulo, etc.). Por interpolação das massas das figuras de áreas conhecidas e a massa da “impressão” recortada da folha, determina-se a área de uma das faces da folha.

Uso de integradores - Medidor de área foliar. Integra a área de qualquer material opaco, através da utilização de células fotoelétricas, componentes de instrumentos

eletrônicos. Existem os portáteis e os maiores, “de bancadas”, que ficam nos laboratórios.

Método dos pontos - Desenvolvido por Bleasdale (l977), consiste no uso de uma placa de vidro ou papel transparente (material utilizado em radiografias) com pontos distanciados de 1,0cm. A placa deve ser colocada sobre a folha, sendo essencial que se use pontos pequenos, cuidando para que a visada seja feita em ângulo reto, a fim de evitar erro de paralaxe. É muito trabalhoso, pois se deve fazer várias repetições.

Modelos matemáticos - A partir da área foliar obtida por integrador ou por outro método, de um número representativo de folhas, calcula-se a razão entre a área foliar (AF) e o produto do comprimento pela largura (C x L) de cada folha medida (R = AF / C x L). Se não houver diferenças estatísticas entre estas razões, determina-se o valor médio das razões que será utilizado como fator de correção (F) para estimativa da área, de acordo com o tipo de planta usada, a partir de medidas lineares como comprimento (C) e largura (L) da lâmina. Estabelecem-se os modelos matemáticos quando estas dimensões estão altamente correlacionadas. Apresentam a vantagem de serem métodos relativamente rápidos, não exigirem destruição do material e serem 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 forma geométrica aproximadamente definida e que apresentem altas correlações com suas dimensões lineares ou peso seco (Reis et al., l979). São exemplos, café, seringueira, mandioca, soja, entre outras plantas.

Cada um destes métodos poderá ser usado em situações específicas, em função do tipo da folha (forma, tamanho, espessura), da disponibilidade do material e do rigor científico do trabalho.

Massa da matéria fresca: é a massa do material em equilíbrio com o ambiente. Geralmente o crescimento da matéria seca é acompanhado pelo aumento do teor de água nos tecidos da planta. Entretanto, existem exceções como é o caso de embebição de sementes, onde se denota aumento de volume, sem, contudo, aumento na massa seca. A desvantagem do uso de massa da matéria fresca (MMF), é conter algumas imprecisões como o tempo entre a colheita e a pesagem, além de destruir o indivíduo. O teor de água é bastante variável a partir da colheita da planta, principalmente dependente da umidade relativa do ar, desde o local da amostragem até o local de pesagem, por exemplo: perda de água por transpiração (Reis e Muller, l978).

Massa da matéria seca - É a massa constante de determinada amostra, numa dada temperatura (tecidos vegetais: mais ou menos 65 a 70 graus Celsius). Há também destruição do indivíduo. É muito usado quando se está interessado em produtividade, pois é uma medida bem mais precisa que o peso da matéria fresca.

A relação entre massa da matéria fresca e massa da matéria seca pode nos informar sobre o Teor de Água (TA) ou Teor Relativo de Água (TRA) nos tecidos, considerado mais preciso (envolve o “peso túrgido”), o que seria um indicativo do “status” de água na planta. Para tanto, usa-se também o potencial de água (ψ_a) como medida, relacionando-se o potencial osmótico (ψ_o), o matricial (ψ_m) e o potencial pressão (ψ_p): $\psi_a = \psi_o + \psi_m + \psi_p$.

Volume - É uma medida tridimensional. Muita das vezes é obtido por deslocamento de água em determinado recipiente graduado (proveta graduada). Exemplo: Volume de frutos (imersão dos frutos em água para conhecimento de seu volume).

CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM

O tamanho da comunidade ou da área experimental (homogênea ou não) em estudo, o tipo de plantas a serem analisadas, a duração do ciclo, o hábito de crescimento, além de outros aspectos, vão determinar os critérios para a tomada de dados. Indiscutivelmente, os objetivos do trabalho são de maior relevância na definição desses critérios. Na observância dos parâmetros que se quer medir (órgão da planta, a planta inteira, etc.), além do ciclo da planta e do seu hábito de crescimento, leva-se em consideração os seguintes itens: o tamanho da amostragem e o intervalo de amostragens.

Tamanho da amostragem: refere-se ao número de plantas colhidas ou à vegetação que cobre uma determinada área de solo. Vai depender, principalmente de três aspectos: a) Do número de plantas disponíveis; b) Da área total a ser amostrada; c) Do número de amostragens a serem realizadas durante todo o período de observação.

Se o número de plantas for restrito ou pequeno, a amostra tenderá a ser pequena. O mesmo poderá ser entendido para a área amostrada. Por outro lado, com um número restrito para amostras, procura-se se limitar às plantas disponíveis e as medidas não deverão ser destrutivas. Deve-se avaliar dados de comprimento, largura, altura de plantas, número de folhas, número de flores, bem como da área foliar (através das dimensões comprimento (C) x largura (L), diâmetro de caule, de frutos, etc.). Enfim, quaisquer medidas que permitam uma avaliação do crescimento serão válidas.

Se o número for pequeno, no caso de plantas envasadas ou em casa de vegetação ou ripado, poderão ser medidas todas as plantas. Será determinado um número que permita se fazer todas as medidas previstas num mesmo período de observação (meio dia ou o dia todo), em todas as plantas.

Muitas vezes não há disponibilidade de plantas ou a área cultivada é pequena, mas se tem necessidade de matéria seca. Neste caso, a colheita de plantas será feita com base em uma amostragem prévia de plantas marcadas e intactas. Podem ser medidos um ou dois aspectos listados para plantas intactas, em um número representativo e, com base na média dessas medidas, será colhido um número de plantas. Este tipo de amostragem só é possível quando se colhem plantas individuais. Quando se tem uma área cultivada ou coberta por vegetação, os dois critérios descritos são de difícil aplicação, a não ser que se tenha mão-de-obra disponível para executar as medidas. Caso contrário, a amostragem será com destruição de uma área mínima e representativa da área total e deverão ser respeitados alguns princípios usados para amostragens com destruição de plantas.

Quando se tem uma área suficientemente grande que se possa colher um número maior de plantas ao acaso, o número de plantas colhidas deverá ficar entre o mínimo de 10 e o máximo de 20 plantas, uma vez que valores abaixo de 10 podem induzir a erros e acima de 20, não aumentam significativamente a precisão da amostragem (Benincasa, 2004). Deve-se tomar cuidados com a seqüência de amostragens para que as plantas a serem retiradas em amostragens seguintes não estejam próximas das plantas que foram retiradas na amostragem anterior, para não haver mascaramento, uma vez que as remanescentes crescerão em ambiente diferente daquele previamente estabelecido.

Se a amostragem for por área e não por planta, é possível colher-se áreas maiores em menor número, embora seja melhor aumentar o número de áreas colhidas, cuja soma deverá corresponder a uma fração significativa da área total.

Intervalo de amostragem: este aspecto dependerá da disponibilidade de plantas e do tempo do pesquisador, respeitando o ciclo das plantas em estudo. No caso de plantas de ciclo curto (rabanete), o intervalo não deverá ultrapassar 5 dias. Normalmente, intervalos de uma semana ou múltiplo da semana são estabelecidos, escolhendo-se o dia mais desejável. Para plantas de até 130 dias, o intervalo de uma semana é o mais recomendável (Benicasa, 2004). Entretanto, Castro et al. (l984) e Magalhães (l985), aconselham para plantas de ciclo curto o intervalo de l4 dias durante a estação de crescimento.

Determinação em raízes: As medidas de raízes ou do sistema radicular são bastante difíceis de serem feitas, principalmente quando se trabalha em condições de campo. Considerando-se que a análise de crescimento usa medidas morfológicas ou anatômicas, para inferir processos fisiológicos, a imprecisão das medidas de raízes no campo é de tal ordem, que é preferível não executá-las. Quando há um interesse muito grande, entretanto, é possível fazer-se uma estimativa a partir de medidas indiretas no campo (estima-se a superfície radicular ou a quantidade de raízes em um determinado volume de solo, o qual é mantido para todas as amostragens feitas).

Quando se trabalha com plantas envasadas, essas medidas tornam-se bastante viáveis, podendo ser detectadas quase que integralmente. Medidas do sistema radicular tornam-se mais importantes quando se trabalha com estresse hídrico e, neste caso, existe toda uma metodologia para fazer estas avaliações. O tipo de recipiente pode ser fundamental, sendo comum o uso de tubos com altura e diâmetros diferentes e com conexões para permitir estudos de profundidade.

Em déficit hídrico, é importante estabelecer a relação Raiz/Parte aérea, para se determinar à gravidade do estresse. No caso de órgãos de armazenamento (raízes e caules subterrâneos), as medidas podem ser feitas normalmente.

PADRÕES DE CRESCIMENTO EXPONENCIAL E SIGMÓIDE

As células individuais ou órgãos apresentam potencialmente um crescimento ilimitado que obedece a um padrão exponencial. Interações mútuas entre indivíduos impõem limitações ao crescimento e a curva de crescimento sofre uma inflexão, tomando uma conformação sigmóide. Também os organismos mostram uma conformação sigmóide, devido eventuais limitações de espaço e/ou nutrientes ou acúmulo de produto final. Normalmente, os produtos estudados como volume, massa ou superfície, altura, número de células ou mesmo conteúdo de proteína, mostram padrão sigmóide quando analisados no decorrer da vida da planta.

O crescimento de plantas superiores está na fase exponencial quando os acúmulos se processam continuamente. Neste caso, o embrião representa a participação inicial, enquanto a eficiência fotossintética lhe proporciona a aceleração. Durante a fase inicial a planta depende fundamentalmente das substâncias de reservas da semente (período de crescimento lento), passando posteriormente, a uma fase exponencial (de crescimento rápido, fase linear), dependente da absorção das raízes e da atividade fotossintética. Em seguida, ocorre um período de redução no crescimento, podendo cessar com o final da senescência. Esta redução do

processo pode ser traduzida como uma paralisação na produção de matéria orgânica (Figura 3).

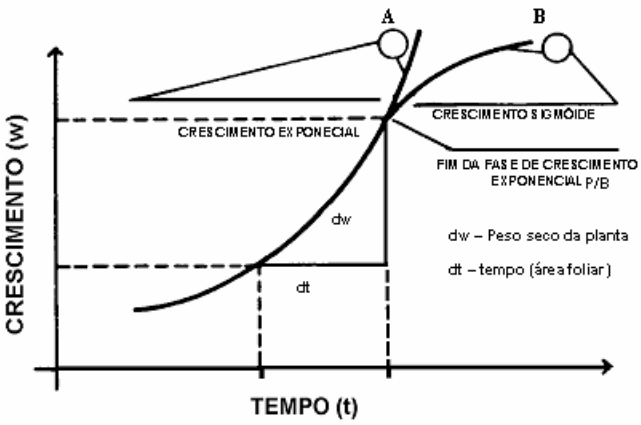

Figura 3. Padrões de crescimento em planta: exponencial (A) e sigmóide (B). (REIS E MULLER, 1987).

O crescimento das células e de órgãos individuais seguiria um modelo exponencial caso não houvesse certas limitações no crescimento. Com isso, a curva que melhor expressa o crescimento é a sigmóidal. O crescimento inicial dos organismos inclui uma fase exponencial de crescimento, semelhante ao acúmulo de capital através da "taxa de juros compostos", onde o embrião representa o capital inicial, enquanto a eficiência fotossintética determina a taxa de juros (Leopold e Kriedman, l975). É semelhante a uma poupança. Só que no banco seu dinheiro rende ou vai crescer exponencialmente, enquanto que no caso da planta, o crescimento exponencial é limitado. O crescimento nestas condições segue a seguinte equação: $Wt = Wo \times e^{rt}$ (1), sendo Wt, o crescimento depois de determinado tempo.

Num gráfico semilogarítmico do peso da matéria seca em função do tempo, a equação (1) acima torna-se uma equação da linha reta: $\ln Wt = \ln Wo + rt \ln e$ (2), onde: Wo representa o crescimento inicial, ou $\ln Wt = \ln Wo + r\,t$; onde: t = intervalo de tempo e r = taxa de crescimento; ln = logaritmo natural e e = base dos logaritmos naturais (2,7182). Assim, r significa o índice de eficiência ou coeficiente de interesse; definindo-se como a capacidade da planta adicionar matéria seca a si própria, ou seja, indica a "taxa de crescimento".

PARÂMETROS DE ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Embora muitas vezes o pesquisador se depare diante de situações difíceis de serem explicadas quanto à complexidade do crescimento vegetal, ele procura utilizar uma "lógica" estabelecida com base em vários parâmetros, considerando que a análise de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição dos diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal.

As medidas obtidas ao longo do ciclo da cultura, em plantas intactas ou colhidas, são tabeladas de forma que possam ser analisadas por meio de fórmulas

matemáticas e/ou graficamente. Para tanto, podem ser utilizados várias funções, equações ou programas. A utilização de equações de regressão não só corrige as oscilações normais, como permite avaliar a tendência do crescimento em função dos tratamentos (Benincasa, 2004).

Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Para Reis e Muller (1979), taxa de crescimento absoluto é a variação ou incremento entre duas amostras ao longo de um determinado período de tempo. É uma medida que pode ser usada para se ter idéia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação.

TCA = (W2-W1)/(T2-T1) = g dia^{-1} ou semana. Onde, W1 e W2 é a variação da massa da matéria seca em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T1 e T2. Indica a variação de crescimento em um determinado intervalo de tempo; ou um incremento de matéria seca neste intervalo de tempo.

Segundo Benincasa (2004), a TCA indica variação ou incremento entre duas amostragens sucessivas, isto é, indica a velocidade de crescimento (g dia^{-1} ou semana). A TCA pode ser usada para se ter uma idéia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação. Em valores médios, tem-se que a TCA = Wt - Wo/T = g dia^{-1}.

Taxa de crescimento relativo (TCR)

Para os biologistas, é mais interessante expressar essa taxa de crescimento segundo uma base comum, que é o próprio peso da planta. Neste caso, trata-se da taxa de crescimento relativo: TCR = dW/(dT x 1/W), onde: W = base em que se relaciona a TCA. Esta medida foi estabelecida por Briggs (l920). É apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material acumulado gradativamente. A TCR expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (Reis e Muller, l979). Para valores médios, usa-se: TCR = (lnW2 - lnW1) / (T2 -T1) = g g^{-1} dia^{-1}, onde ln é o logaritmo neperiano; Wl e W2 representam a massa da matéria seca nos tempos T1 e T2. Em trabalhos onde se faz necessário o calculo dos valores instantâneos, deve-se aplicar a fórmula: R = C t / W t, onde: C t = Taxa de produção de matéria seca total e W t = massa da matéria seca total.

As curvas de taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) são distintas, conforme mostra a Figura 4. Magalhães (1985), considera a taxa de crescimento relativo como a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado. A TCR varia ao longo do ciclo vegetal, pois depende de dois outros fatores do crescimento: a área foliar útil para a fotossíntese ou razão de área foliar (RAF), e da taxa fotossintética bruta, descontando a respiração (mais a fotorrespiração nas plantas C_3) ou taxa assimilatória líquida (TAL). Portanto, a taxa de crescimento relativo poderá ser obtida utilizando-se as equações: TCR = TAL x RAF ou TCR = lnW2 - lnW1 / T2-T1.

Segundo Benincasa (2004), todo crescimento resultará da produção de material suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente e, ainda, para armazenar ou construir novo material estrutural, uma vez que conceitualmente, a análise de crescimento estabelece que a taxa de crescimento de uma planta é função do tamanho inicial (período em que se inicia a observação).

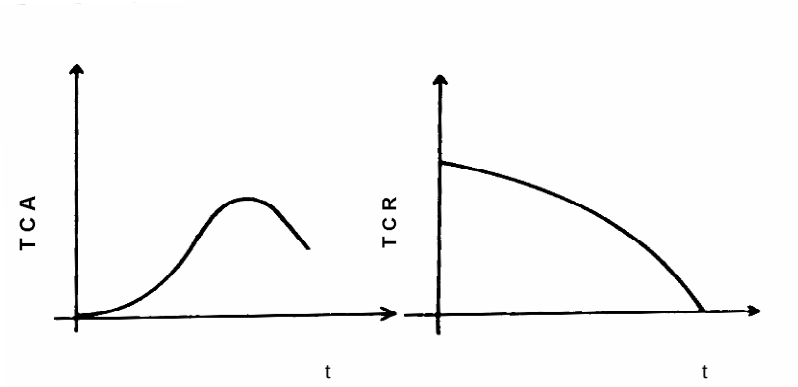

Figura 4 Taxas do crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) no modelo sigmóide (Reis e Muller, 1979).

Razão de área foliar (RAF ou QAF)

Representa a relação entre a área foliar (L) e o peso da matéria seca total da planta (W). É também chamado quociente de área foliar (West et al., 1920): RAF = L/W ou L1 + L2 / W1 + W2; expressa-se em cm^2 ou dm^2 g^{-1}. A RAF declina enquanto a planta cresce, em função do autossombreamento, com a tendência da diminuição da área foliar útil ou fotossinteticamente ativa (responde pela interceptação da radiação luminosa e captação do CO_2 na fotossíntese), para a produção de matéria seca. O quociente de área foliar varia com a Área foliar específica (AFE) e a Razão de massa de folha (RMF). Assim, qualquer variação em um deles, ou nos dois, implicará em alterações na RAF.

A área foliar específica relaciona a superfície com a massa da matéria seca da própria folha (AF/MSF). A superfície é o componente morfológico e a fitomassa é o componente anatômico, pois está relacionado com a composição interna formada pelo número e/ou tamanho de células do mesófilo foliar. A razão de massa da folha se constitui numa componente fisiológica, já que é razão de massa de matéria seca retida nas folhas e massa de matéria seca acumulada na planta (MSF/MSP). Considerando que as folhas são o centro de produção de matéria seca através da fotossíntese e, que o restante da planta depende da exportação dessa fitomassa, a RMF expressa a fração de matéria seca não exportada. Assim, pode-se utilizar a seguinte expressão: RAF = AFE x RPF.

Taxa assimilatória líquida (TAL)

Representa a taxa de incremento de massa de matéria seca (W) por unidade de área foliar (L) existente na planta, assumindo que tanto L como W, aumentam exponencialmente (West et. al., 1920). Outros órgãos fotossintéticos, além das folhas, podem ser levados em consideração para o cálculo da TAL que reflete a capacidade da planta em aumentar sua fitomassa em função de sua superfície assimilatória, em determinado intervalo de tempo. Portanto, relaciona-se com a eficiência fotossintética da planta de modo generalizado.

Segundo Magalhães (1985), a TAL reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvida na produção de matéria seca, ou seja, é uma estimativa da

fotossíntese líquida. Depende dos fatores ambientais, principalmente da radiação solar. Devido ao auto-sombreamento a TAL diminui com o aumento do IAF e, conseqüentemente, com o crescimento da comunidade vegetal. Avalia a resposta do crescimento da planta às condições ambientais, serve para estudos de comparação entre espécies e mede a eficiência de uma planta na produção de matéria seca. Expressa-se em g dm^{-2} dia^{-1}, sendo TAL = (W2 - W1)(lnL2 - lnL1) / (L2 - L1)(T2-T1).

Para Benincasa (2004), a taxa assimilatória líquida deve ser aplicada quando existe uma correlação linear entre a área foliar e a matéria seca total. Ou seja, para que haja precisão total da fórmula, é necessário que L e W estejam relacionados linearmente. Entretanto, isto não é rígido, mesmo na fase de crescimento exponencial das plantas. Pode-se minimizar os erros, diminuindo os intervalos de tempo entre as amostragens. A TAL representa o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido pela respiração (Pereira e Machado, 1987) e indica a eficiência de uma planta na produção de matéria seca. No entanto, a produção econômica está sob outros controles e não necessariamente relacionado com a eficiência fotossintética.

Taxa de crescimento foliar relativo (TCFR)

Avalia o relativo crescimento da planta, em termos de matéria seca formada na parte aérea, mais precisamente nas folhas (área foliar) em função do peso inicial. É obtida através da equação: TCFR = LnL2 - LnL1 / T2 - T1. Representa o aumento de área foliar em um determinado período de tempo. É também chamada de Taxa de crescimento relativo de folhas (TCRF). A análise de TCFR segue o mesmo raciocínio observado com o parâmetro taxa de crescimento relativo (TCR), diferenciando-se deste, em virtude de relacionar mais a parte aérea e não a planta como um todo.

Os termos da equação possuem o mesmo significado da taxa assimilatória líquida (TAL), podendo ser expressa apenas como: TCFR = lnL2 - lnL1 ou ainda pode ser empregada a seguinte fórmula: TCFR = TAL x RAF, sendo, portanto, uma medida análoga da taxa de crescimento relativo (TCR).

Taxa de crescimento da cultura (TCC)

Parâmetro considerado o mais importante em fisiologia da produção e empregado para comunidades vegetais. Representa a quantidade total de matéria seca acumulada por unidade de área de solo ou outro substrato (vegetação aquática, por exemplo, caso se trate de cultivo hidropônico), em um determinado tempo. É a taxa de produção de matéria seca (TPMS) de uma comunidade vegetal. Expressa-se em g m^{-2} dia^{-1} e é obtida através da equação: TPMS = (W2 - W1) / S / (T2 - T1), onde S, representa a área ocupada pela cultura no substrato disponível. A taxa de crescimento da cultura ou a taxa de produção de fitomassa de uma comunidade vegetal avalia a produtividade primária líquida, constituindo o somatório das taxas de crescimento dos diversos componentes das plantas (Reis & Muller, 1978; Pereira & Machado, 1987; Peixoto, 1998; Brandelero, 2001 e Brandelero et. al., 2002).

A cobertura fotossintética em uma comunidade tem sido expressa por um número puro (admensional), resultante da área foliar (L) e da área do terreno ou substrato (S), o índice de área foliar (IAF). Este conceito é básico para análise de crescimento em comunidade de plantas ou na interceptação de luz e,

especialmente, para informar sobre o desempenho de folhas individuais. Mesmo sendo o IAF a simples razão L/S, ele apresenta interações com a TAL e a produtividade, por que a taxa de crescimento da cultura pode ser obtida por: TCC = TAL x IAF (g m^{-2} dia^{-1}).

Índice de área foliar (IAF)

A área foliar de uma planta constitui sua matéria prima para fotossíntese e, como tal, é muito importante para a produção de carboidratos, lipídeos e proteínas. O IAF representa a área foliar total por unidade de área do terreno. Funciona como indicador da superfície disponível para interceptação e absorção de luz. O IAF pode variar com a população de plantas, distribuição de plantas e variedades. Existe um IAF ótimo para cada cultura, que varia geralmente de 2,0 a 5,0. Isto por que: a) Durante o crescimento da comunidade vegetal o IAF deve ser suficiente para interceptar o máximo de luz; b) O IAF deve atentar para os objetivos que controlam o cultivo da planta. Isto é, se o interesse é a produtividade econômica (produto comercializado, deseja-se um IAF ótimo) ou a produtividade biológica (fitomassa total, quando interessa um IAF máximo).

O índice de área foliar é computado em diferentes estádios de crescimento e é muito variável entre plantas e entre épocas de amostragens. Ele avalia a capacidade ou a velocidade com que as partes aéreas do vegetal (área foliar) ocupam a área de solo ou de um outro substrato disponível àquele vegetal. Em determinadas circunstâncias, além das folhas, outras partes do vegetal devem também ser integradas à ürea foliar, como pseudocaules, pecíolos, brácteas, etc. Um IAF igual a 2,0 significa $2m^2$ de área foliar (AF) ocupando $2m^2$ de solo ou de outro substrato (S): IAF = AF / S.

A interceptação de luz por uma superfície foliar é influenciada pelo seu tamanho e forma, ângulo de inserção e orientação azimutal, separação vertical e arranjo horizontal, e pela absorção por estruturas não foliares. O ângulo foliar é um parâmetro importante na produção; folhas eretas são mais eficientes para a fotossíntese máxima, quando o IAF é grande. A forma cônica de planta induz um maior potencial produtivo que a globosa, pois reduz o auto-sombreamento.

Duração de área foliar (DAF)

O aparelho assimilatório das plantas é constituído pelas folhas que definem a produtividade do vegetal. Assim, o crescimento das plantas é fortemente influenciado pelo tempo em que é mantida ativa sua superfície foliar. Tal característica é definida pela duração da área foliar: tempo em que é mantida fotossinteticamente ativa a superfície foliar.

Sendo a fotossíntese o processo responsável pelo fornecimento da energia para o crescimento e desenvolvimento das plantas, parece lógico supor-se que, quanto mais rápido a cultura atingir o máximo do IAF e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa, maior será a produtividade biológica da cultura. Portanto, a DAF nada mais é que a integral do IAF contra o tempo. Pereira & Machado (1987), encontraram correlação positiva entre a produtividade econômica e a DAF na cultura do feijoeiro. A duração da área foliar pode ser expressa da seguinte forma: DAF = ½ (L1 + L2) (T2 - T1) e a sua unidade em dm^2 dia^{-1}.

Índice de colheita (IC)

Pereira e Machado (1987) fazem referência ao índice de colheita como um quociente freqüentemente usado para medir a eficiência de conversão de produtos sintetizados em material de importância econômica. Em relação a uma cultura madura, o IC define-se como a razão entre a massa da matéria seca da fração econômica produzida (grão, raiz, fruto) e a fitomassa seca total colhida: IC = MSFEP / FSTC.

A eficiência de conversão de produtos sintetizados (matéria seca total ou produtividade biológica) em material de importância econômica (produto comercializado ou produtividade econômica), é determinada pelo genótipo e pelo ambiente. O objetivo é obter variedades com alto IC em alta densidade populacional. As culturas apresentam IC diferenciados, dependendo do seu uso. A cana-de-açúcar é um bom exemplo (Tabela 1).

Tabela 1. Diferentes produtos comercializados e índices de colheitas na cana-de-açúcar.

Produto comercializado (PE)	Índice de colheita (IC)
Sacarose	0,20
Todos os açucares	0,23
Bagaço	0,63
Vinhaça + cinza	1,00

Fonte: Lucchesi (1985)

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE CRESCIMENTO EM PESQUISAS COM OLEAGINOSAS NAS REGIÕES OESTE E RECÔNCAVO DA BAHIA

Visando atender as demandas locais, regionais e nacionais, o Grupo de Pesquisa Manejo de Plantas em Ecossistemas Neotropicais – MAPENEO, com o objetivo de avaliar o crescimento e desenvolvimento de diferentes oleaginosas nas condições climáticas das regiões do Oeste e Recôncavo da Bahia, para subsidiar informações com vista à diversificação dos sistemas agrícolas regionais, foram instalados experimentos com as diferentes culturas oleaginosas: soja, amendoim, mamoneira e girassol. Assim, utilizou-se de tais técnicas para inferir sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade, gerando informações sobre a adaptação e potencial produtivo dessas oleaginosas nas diferentes condições edafoclimáticas regionais.

As pesquisas com oleaginosas na região do Recôncavo da Bahia foram instaladas no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado nesse município, situado a 12°40’19” de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste de Greenwich, tendo 220 m de altitude. O clima é tropical quente úmido, Aw a Am, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 24,5ºC e precipitação pluviométrica de 1.224 mm/ano.

Na região Oeste da Bahia os experimentos foram instalados no campo Experimental da Fundação BA, município de São Desidério - BA, situado a 728 m de altitude, na latitude de 12°45’30”S e longitude 45° 57’16”W. O clima é classificado como Aw da classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 24°C, e precipitação média anual de 1.200 mm, distribuídos entre os meses de novembro e março, tendo, também, um período seco bem definido entre abril e setembro, demarcando duas estações climáticas distintas: a chuvosa e a seca (Cruz, 2007).

Em todas as pesquisas utiliza-se a parcela experimental constituída por oito linhas de plantas de 5,0 m de comprimento, espaçadas 0,5 m nas entrelinhas e 10 plantas m^{-1}. Duas linhas foram utilizadas para retirada das amostras destrutivas (análise de crescimento) e três para colheita final (produtividade), descontando-se 0,50 m de cada extremidade, sendo as demais utilizadas como bordadura. Uma vez que, os índices fisiológicos são correlacionados com a produtividade.

O incremento da matéria seca e o índice de área foliar em cultivares de soja no Recôncavo da Bahia estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 5 e 6. Verifica-se a tendência sigmoidal para as curvas obtidas dos cultivares avaliados (Figura 5). Essas projeções das curvas são características de culturas anuais a exemplo das encontrados por Pedro Júnior et al. (1985), Pereira e Machado (1987), Peixoto (1998) e Brandelero et al. (2002). O desempenho dos cultivares de soja quanto ao índice de área foliar (Figura 6), que foram ajustados no tempo pela função polinomial exponencial, sendo que estes apresentaram tendência parabólica para todas as curvas, semelhantes aos relatados por Gazzoni (1974) e Peixoto (1998).

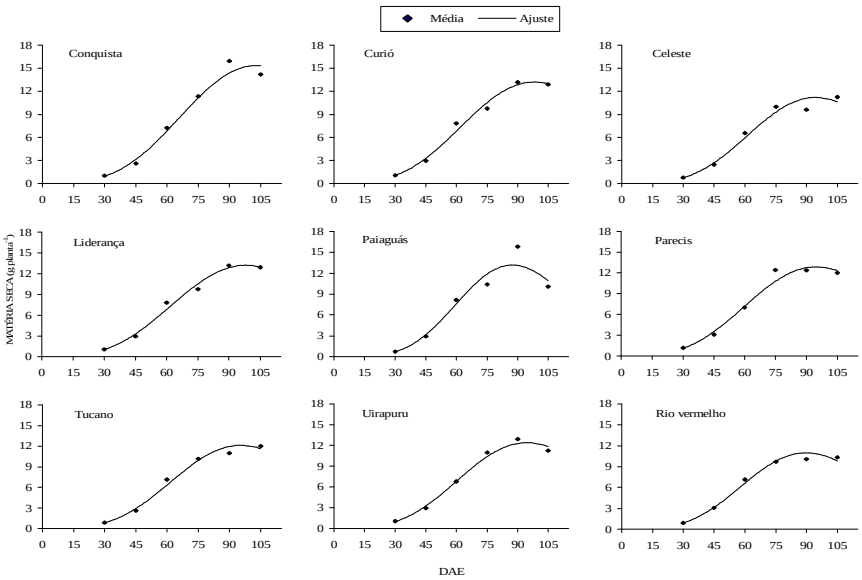

Figura 5. Variação da massa da matéria seca dias após a emergência (DAE) dos cultivares de soja introduzidos nas condições agroecológicas de Cruz das Almas – BA. 2000.

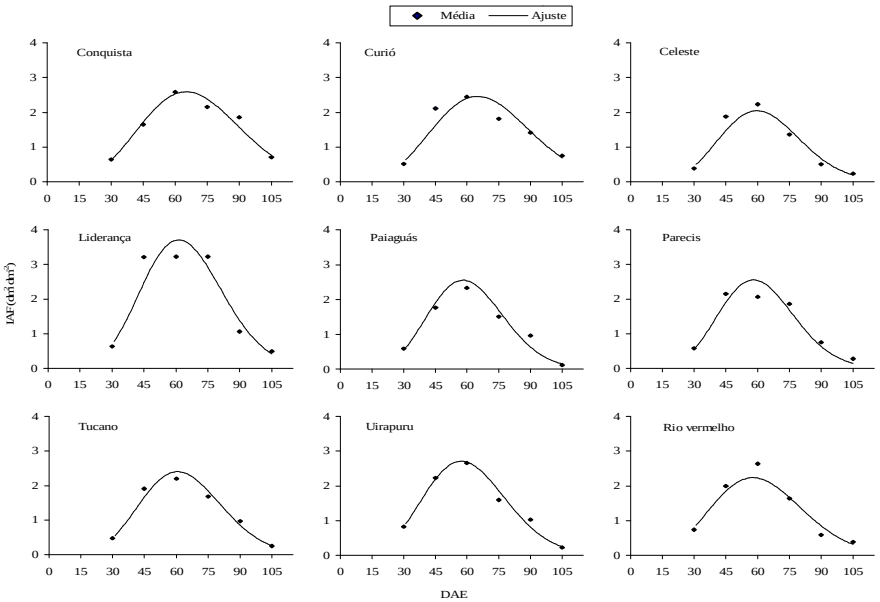

Figura 6. Variação do índice de área foliar (IAF) dias após a emergência (DAE) dos cultivares de soja introduzidos nas condições agroecológicas de Cruz das Almas – BA. 2000.

A variação média da matéria seca total acumulada e da área foliar pelos cultivares de soja nas diferentes épocas de semeadura na região Oeste da Bahia são apresentadas nas Figuras 7 e 8. Pode-se observar a superioridade da época de semeadura realizada em 29/11/2006 (Ep1), em relação às demais, onde ocorrem quedas acentuadas no acúmulo da matéria seca e na área foliar.

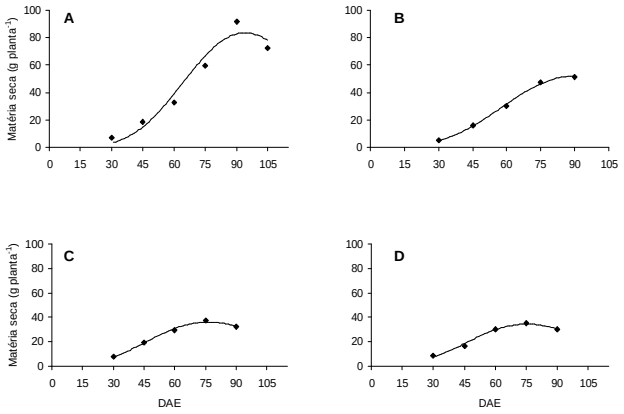

Figura 7. Curvas polinomiais para matéria seca acumulada (g planta^{-1}) e dias após a emergência (DAE) de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura: (A) primeira época em 29/11/2006, (B) segunda época em 14/12/2006, (C) terceira época em 28/12/2007 e (D) quarta época (12/01/2007), na região Oeste da Bahia.

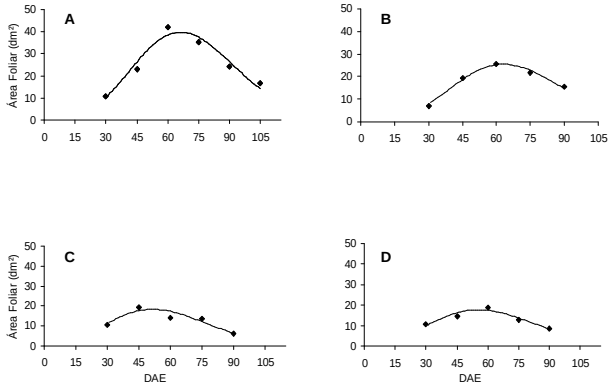

Figura 8. Curvas polinomiais para área foliar (dm²) e dias após a emergência (DAE) de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura: (A) primeira época em 29/11/2006, (B) segunda época em 14/12/2006, (C) terceira época em 28/12/2007 e (D) quarta época (12/01/2007), na região Oeste da Bahia.

As Taxas de crescimento da cultura (TCC) de cultivares de mamoneira, avaliados nas condições do Recôncavo Baiano são apresentados na Figura 9. De um modo geral, a TCC assumiu valores iniciais baixos, passando por uma fase de crescimento contínuo até chegar ao máximo em torno dos 120 DAE, decrescendo posteriormente, na fase final do ciclo Silva (2008). Tendências semelhantes foram encontradas por Lima (2010), quando estudou cinco cultivares de soja em Cruz das Almas - BA.

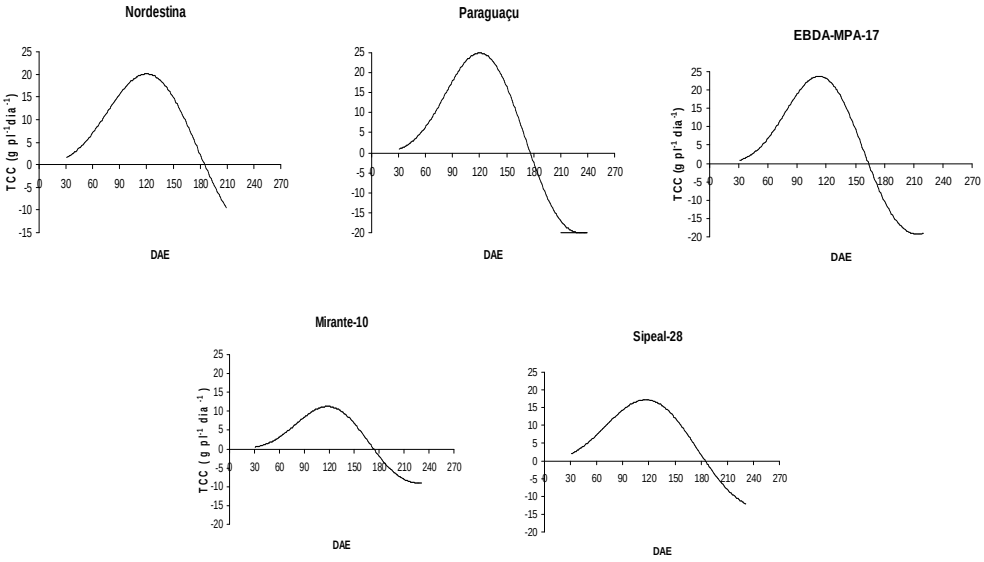

Figura 9. Variação da taxa de crescimento da cultura (TCC) e dias após a emergência (DAE) de cinco cultivares de mamoneira (BRS 149 - Nordestina, BRS 188 - Paraguaçu, EBDA MPA -17, Mirante -10 e Sipeal -28), nas condições

agroecológicas do Recôncavo Baiano ajustadas pela função polinomial $\ln y = a + bx^{1,5} + cx^{0,5}$.

Em trabalhos que se vise à adaptação de cultivares, o índice de colheita (IC) é extremamente importante. Este índice reflete na íntegra, a capacidade genética que um cultivar tem em converter parte do que foi assimilado em produtos economicamente comercializados. Na Tabela 2 encontram-se os valores médios do Índice de colheita (IC), em cultivares de mamoneira, avaliados no Recôncavo Sul Baiano e dois períodos agrícolas consecutivos (Lima, 2010).

Verifica-se que o cultivar Sipeal 28 apresentou os melhores valores de IC para os dois períodos 54% e 34% seguido do cultivar 149 Nordestina com 52% no primeiro período e 27%, no segundo período agrícola. Isso indica uma melhor adaptação do cultivar as condições do ambiente, além é claro de uma maior eficiência.

TABELA 2. Índice de colheita (IC - %) de cultivares de mamoneira avaliados nos períodos agrícolas 2006-2007 e 2007-2008 no Recôncavo Sul Baiano.

Cultivares	Períodos Agrícolas	
	1°Período (2006 – 2007)	2°Período (2007 – 2008)
149 Nordestina	52%	28%
BRS 188 Paraguaçu	52%	27%
EBDA MPA 17	51%	25%
Sipeal 28	54%	37%

Os valores obtidos para a taxa assimilatória líquida (TAL), em duas cultivares de amendoim dias após a emergência (DAE), nas duas épocas de semeadura e nas diferentes densidades estudadas nas condições do recôncavo Baiano, encontram-se na Figura 10. De modo geral, esta taxa é proveniente do balanço fotossintético e tudo aquilo que é consumido através da respiração e fotorespiração em espécies vegetais do ciclo C_3, como é o caso do amendoim.

Pode-se observar, ainda, um incremento das taxas assimilatória líquida na fase inicial de crescimento, com máximos valores da TAL até os 51 DAE, em ambas as épocas de semeadura. A partir dessas fases de desenvolvimento, houve redução continua da taxa, independente da cultivar e da densidade de plantas, chegando inclusive, a valores negativos no final do ciclo do amendoim. Os aumentos verificados na TAL, após o período inicial vegetativo, também foram encontrados na cultura da soja por Peixoto (1998) e Cruz (2008), sendo interpretado, como uma resposta do aparelho fotossintético a um aumento na demanda de assimilados (incremento na fotossíntese), após um período inicial lento (Silveira, 2010).

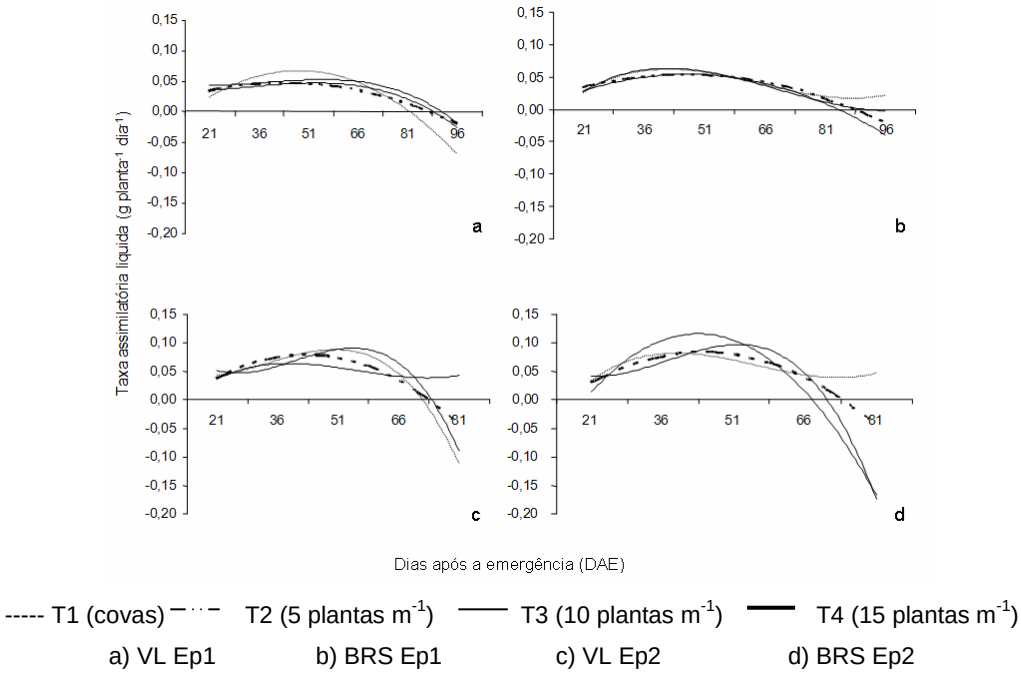

Figura 10. Variação da taxa assimilatória liquida (TAL) de plantas de amendoim Vagem Lisa (VL) e BRS Havana (BRS), dias após a emergência (DAE), em duas épocas de semeadura (Ep1: julho/2008 e Ep2: abril/2009) no tratamento em covas (0,25m x 0,30m) e demais densidades de plantas.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) de plantas de girassol Embrapa 122 durante a fase inicial de crescimento nas diferentes épocas de semeadura, populações de plantas e diferentes localidades no Recôncavo da Bahia está apresentada na Figura 11. Nesta, se pode observar que a velocidade de crescimento inicial é lenta, pois depende das reservas contidas nas sementes aos 21 DAE. A partir dos 36 DAE há aumento na velocidade de crescimento de forma exponencial, ocorrendo os maiores incrementos até os 51 DAE, em ambas as épocas de semeadura, no município de Conceição do Almeida (Souza, 2010). Esta variação parabólica da TCA foi encontrada em soja, por Peixoto (1998) e por Watanabe (2007), em girassol ornamental.

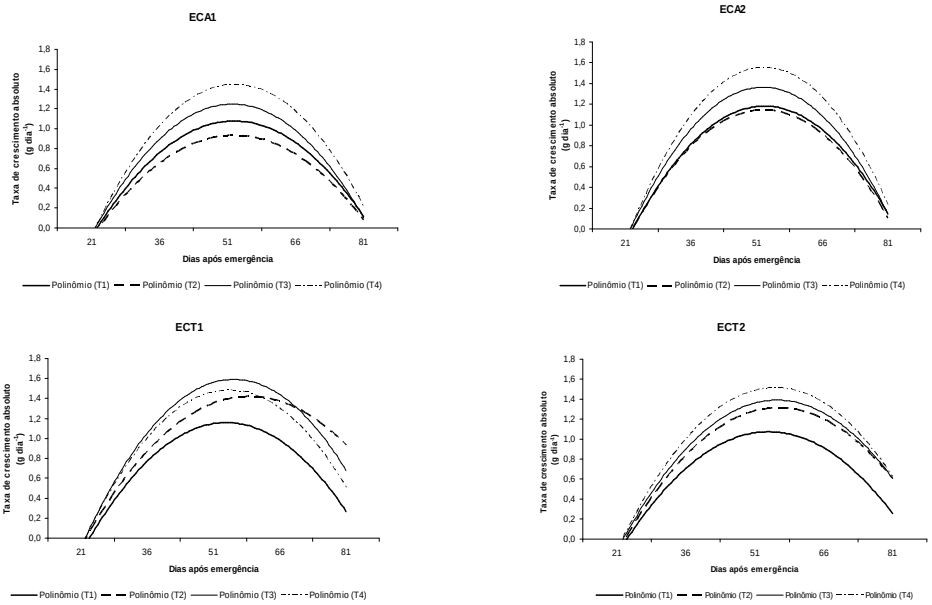

Figura11. Variação da taxa de crescimento absoluto do girassol Embrapa 122, submetido a diferentes populações de plantas (DAE), em diferentes épocas de semeadura nos municípios de Conceição do Almeida (ECA1 e ECA2) e Catu (ECT1 e ECT2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, verifica-se que a análise do crescimento é uma técnica válida para estudar as bases fisiológicas da produção. Da mesma forma, os índices fisiológicos obtidos por meio desta técnica podem fornecer subsídios para o entendimento das adaptações experimentadas pelas plantas sob diferentes condições de meio: luz, temperatura, umidade e fertilidade do solo. Assim, a interpretação das diferenças entre genótipos e de suas adaptações ao meio em que são cultivados, permitem obter mais informações sobre a cultura avaliada, bem como aplicar a melhor prática de manejo visando aumentar a produtividade.

Portanto, a aplicabilidade da análise de crescimento em diferentes culturas, incluindo as oleaginosas (soja, amendoim, mamoneira e girassol), estudadas com maior ênfase pelo Grupo de Pesquisa Manejo de Plantas em Ecossistemas Neotropicais (MAPENEO) e exemplificadas neste estudo, permite inferir sobre a adaptação e o potencial produtivo desses materiais, sob as diferentes condições ecofisiológicas, notadamente nas regiões Oeste e Recôncavo da Bahia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENICASA, M. M. P. Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas). Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.

BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Ann. Bot.,** 33:353-60, 1919.

BLEASDALE, J. K. A. A planta em estado vegetativo. In: BLEASDALE, J. K. A. Fisiologia Vegetal. EPU, Editôra da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1977. P. 65 -107.

BRANDELERO, E. M. **Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no município de Cruz das Almas – Ba.** 2001. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia. Cruz das Almas.

BRANDELERO, E. M.; et al. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no Recôncavo Baiano. **Magistra.** Cruz das Almas v. 14. n. 2 p. 77-88, jul/dez 2002.
BRIGGS, G. E.; KIDD, F A & WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. **Ann. Appl. Biol**., 7: 202-23, 1920b.

CASTRO, P. R. C.; BERGAMASHI, H.; SILVEIRA, J. A. G.; MARTINS, P. F. S. Desenvolvimento comparado de três cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp). **Anais** da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, n. 41, p. 555-84. 1984.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. Guaiba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001, 231p.

FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal. São Paulo. EPU, 1985. V.1, p. 1 - 37.

CRUZ, T. V. **Crescimento e produtividade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no Oeste da Bahia.** 2007. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

GAZZONI, D. L. **Avaliação do efeito de três níveis de desfolhamento aplicado em quatro estádios de crescimento de dois cultivares de soja (Glycine max (L.)** Merril) sobre a produção e a qualidade do grão. Porto Alegre,1974. 70p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LEOPOLD, A. C.; KRIEDMAN, P. E. Plant Growth and Development. McGraw-Hill. New York. 1978. P. 77-105.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise quantitativa do crescimento vegetal. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba. 1985. V. XLII. p.40l-428.

LIMA, J. F. **Avaliação de cultivares de mamoneira no Recôncavo Sul Baiano.** 2010. 108p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). UFRB/CCAAB. Cruz das Almas, BA.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal. São Paulo, EPU, 1985. V.1, p.363 - 50.

PEDRO JUNIOR, M. J.; MASCARENHAS, H. A. A.; TISSELI FILHO, O.; ANDELOCCI, L. A. Análise de crescimento em soja. **Turrialba**, v. 35, n. 4, p. 323 – 327, 1985.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de vegetais. Campinas. **Instituto Agronômico**. Campinas, 1987. 33 p. (IAC-Boletim Técnico n. 114).

PEIXOTO, C. P. Comparação de cinco métodos de estimativa da área foliar do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais do V Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal. Lavras, MG. 1995. p.92.

PEIXOTO, C. P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas.** 1998. 151f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1998.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S. Efeito de épocas de semeadura e densidades de plantas sobre o rendimento de cultivares de soja no estado de São Paulo. **Revista de Agricultu**ra, Piracicaba-SP, v. 77, n. 2, p. 265-293, 2002.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M. de F. da S.P. **Dinâmica do crescimento vegetal**. In: CARVALHO, C. A. L. de; DANTAS, A.C.V.L.; PEREIRA, F.A. de C.; SOARES, A.C.F.; MELO FILHO, J.F. de; OLIVEIRA, G.J.C. de. Tópicos em ciências Agrárias. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009. p. 39-53.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas** - mensuração do crescimento. Belém, CPATU, 1978. 35p.

REIS, M. S.; VIEIRA, C.; ANDRADE, A. M. S.; SEDIYAMA, T. Efeitos do espaçamento e da densidade de plantio sobre a variedade de soja UFV-1 no Triângulo Mineiro. **Revista Ceres**, v.24, n.134, p.412 – 419, 1977.

SILVA, V. **Características fisiológicas de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Recôncavo Baiano.** 2008. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

SOUZA, L.H.B. de. **Crescimento e desenvolvimento de girassol em diferentes épocas de semeadura no Recôncavo da Bahia.** 2010. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) –Centro de Ciências Agrárias,Ambientais e Biológicas. Unviersidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010.

TSUMANUMA G. **Controle de ferrugem asiática e desempenho de duas cultivares de soja submetidas a diferentes fungicidas e épocas de aplicações**. São Paulo, 2009. 165p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escolar Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WEST, C.; BRIGGS, G. E.; KIDD, F. Methodos and significant relations in the quantitative analysis of planta growth. **New Physiologist**, v. 19: p. 200-207, 1920.