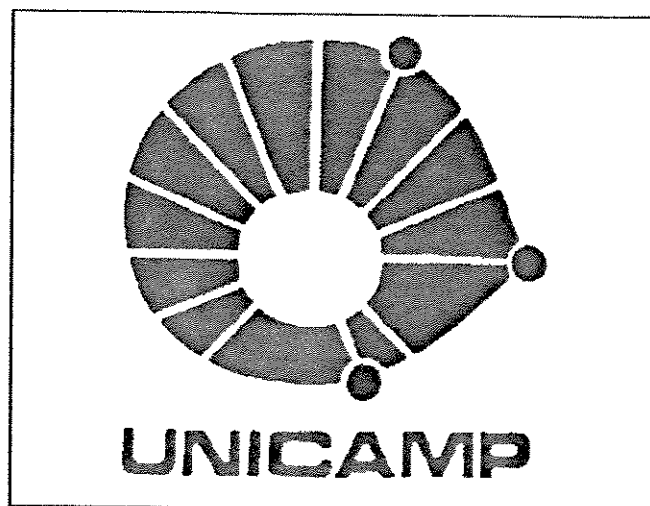
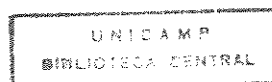




INSTITUTO DE BIOLOGIA

MODELOS NUMÉRICOS PARA A
DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DA
PLANTA DE SOJA (*Glycine max* L.
MERRILL, CULTIVAR IAC - 15) EM
CONDIÇÕES SAZONAIS DIFERENCIADAS.

CAMPINAS
1 9 9 3



Este exemplar corresponde à redação final
da tese defendida pelo(a) candidato(a)

Markus Michael Liedgens

e aprovada pela Comissão Julgadora.



MARKUS MICHAEL | LIEDGENS 62³

MODELOS NUMÉRICOS PARA A
DESCRIÇÃO DO CRESCIMENTO DA
PLANTA DE SOJA (*Glycine max* L.
MERRILL, CULTIVAR IAC - 15) EM
CONDIÇÕES SAZONAIS DIFERENCIADAS.

Tese apresentada ao Instituto de
Biologia da Universidade Estadual
de Campinas, para obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. HILTON SILVEIRA | PINTO^X

CAMPINAS

1 9 9 3

931927

ÍNDICE

RESUMO	i
SUMMARY.....	ii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Métodos de Estudo do Crescimento	3
2.2. Análise de Crescimento	4
2.2.1. Aspectos gerais	4
2.2.2. Parâmetros secundários da análise de crescimento	6
2.2.2.1. Conceito e uso da taxa de crescimento relativo	9
2.2.2.2. TCR e taxas de produção de componentes.....	10
2.2.3. Análise de crescimento clássica	12
2.2.4. Análise de crescimento funcional	13
2.3. Transformação de Dados	23
2.4. Escalas de Tempo	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Considerações Preliminares	27
3.2. Descrição do Experimento	27
3.2.1. Caracterização do cultivar de soja IAC-15	27
3.2.2. Localização da área experimental	28
3.2.3. Condução do experimento	28
3.2.4. Coleta de dados de plantas	30
3.2.4.1. Níveis de organização	30
3.2.4.2. Fases experimentais	30
3.2.4.3. Procedimentos de coleta de dados	33
3.2.5. Representação e análise dos dados	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Análise Qualitativa dos Dados	40
4.1.1. Dados de planta - níveis 1a e 2	40
4.1.1.1. Escala de tempo cronológica	40
4.1.1.2. Escala de tempo baseada no índice de plastochron	48
4.1.2. Dados de ramos - nível 2a	52
4.1.3. Dados foliares - nível 3a	52
4.1.4. Resumo da análise qualitativa	58
4.2. Análise Quantitativa dos Dados	60

4.2.1. Expectativa inerente à representação gráfica dos dados..	60
4.2.2. Dados de planta - níveis 1a e 2	61
4.2.3. Dados de ramos individuais - nível 2a	69
4.2.4. Dados foliares - nível 3a	73
4.3. Aspectos Matemáticos do Ajuste da Equação de Richards	81
4.4. Considerações sobre o Estudo do Crescimento nos Diferentes Níveis de Organização.....	84
5. CONCLUSÕES	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
APÊNDICE	

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio, compreensão e paciência,

Ao professor Hilton Silveira Pinto pela liberdade de ação,
pelo apoio institucional e pela orientação,

Ao Sérgio, sem o qual o trabalho seria outro,

À Tatiana, que, numa combinação de desvario e empenho, consegue trilhar novos rumos e arrastar aficionados,

À CAPES pela bolsa de mestrado,

À FAPESP pelo financiamento dos trabalhos experimentais,

Ao pessoal do CEPAGRI, Rosana, Edilene, Claudir e Jurandir,
pelo seu apoio durante as mais diversas etapas do desenvolvimento da tese,

Ao CPQBA através dos pesquisadores Pedro Magalhães e Glyn Mara Figueira pela seção das dependências físicas e o apoio logístico para o desenvolvimento dos trabalhos experimentais,

Aos Srs. Burga e Timon pelo inestimável e altruíscio apoio durante os trabalhos de campo,

Aos amigos Silvio Gonçalves e Sérgio Dal Fabro pela divisão das agruras e dos sucessos nas empreitadas paralelas,

Aos pesquisadores Epiphânio e Formaggio e ao estudante Mauro do INPE pela sua participação, colaboração e pela ampliação do alcance que conferiram aos trabalhos desenvolvidos,

Ao Sr. Paulo Cesar Bezerra e seus orientados, Maria do Carmo, Plínio, Sérgio e Silvia, pela discussão de temas diversos, pela desmistificação do computador e pela compreensão dos mecanismos universitários,

Aos pesquisadores Hipólito Mascarenhas e Manuel Miranda, da Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico, Campinas, pelas sugestões quanto à condução da cultura da soja,

A todos os integrantes da Seção de Climatologia do Instituto Agronômico, Campinas, pelo apoio, pela amizade e pelo porto seguro das dúvidas infundáveis. Em especial ao Altino pela ajuda constante na procura de um rumo. Ao Paulo e ao Marinho pelo empenho na procura de soluções comuns,

Ao pessoal do Apoio ao Usuário do Centro de Computação -

UNICAMP, Sandra, Mara, Paulo, Suely, Ana, Vagner e Kuessel pela freqüente e atenciosa ajuda na solução de dúvidas,

Ao Sérgio Zullo pela sua inabalável paciência na tentativa de trazer a estatística aos leigos,

Ao professor Antônio Celso Magalhães pelo constante incentivo e pelo persistente entusiasmo,

Aos revisores da versão preliminar da tese, professor David Banzatto, professora Teresinha Rodrigues, pesquisador Marcelo Camargo, professor Antônio Celso Magalhães, professor George Shepherd e André Camargo da Silva,

Ao Sr. François Rochat pelos serviços de editoração,

Aos amigos, constantes e inconstantes, pelo apoio, incentivo e motivação, ao lado ou à distância,

MUITO OBRIGADO !!

RESUMO

O crescimento da planta de soja (*Glycine max* L. Merrill, cultivar IAC-15) foi estudado em duas épocas de plantio. O estudo envolveu o detalhamento ao nível da planta, dos ramos e das folhas. O crescimento também foi avaliado em termos de duas escalas de tempo - a cronológica e a baseada no índice de plastochron da planta ou do ramo. Na caracterização quantitativa do crescimento, foi avaliada a utilidade dos modelos matemáticos definidos pelas equações de Richards e polinomial exponencial cúbica.

O crescimento das plantas no período de cultivo tradicional (novembro) superou em duas a três vezes o observado na outra época (fevereiro). A diferença foi atribuída a um período mais longo de desenvolvimento com condições ambientais mais favoráveis. O índice de plastochron produziu resultados mais consistentes que o tempo cronológico, embora a sua utilidade esteja limitada à fase de desenvolvimento vegetativo das plantas. Baseado nos coeficientes de determinação e na análise de resíduos, tanto a equação de Richards quanto a equação polinomial exponencial cúbica apresentaram diversos conjuntos de dados com bons ajustes para o crescimento. A equação polinomial exponencial cúbica tendeu a ser melhor para os dados de planta e de ramos individuais, ao passo que a equação de Richards determinou melhores resultados para os dados foliares. Devido à melhor correspondência de seus parâmetros à realidade biológica, a equação de Richards deve ser usada preferencialmente. A ocorrência de instabilidades matemático-estatísticas e de elevadas variâncias para as estimativas dos seus parâmetros em diversas situações, exigem, contudo, uma avaliação caso a caso dos resultados.

The growth of the soya (*Glycine max* L. Merrill, cv. IAC - 15) plant was studied during two growth periods. The study was conducted on the plant, the branch and the leaf levels. The growth was also evaluated at two time scales - the chronological and the one based on the plastochron index of the plant or branch. For the quantitative description of growth the mathematical models based on the Richards equation and on the exponential polynome of the third degree were analysed.

The plant development was two to three times greater during the traditional growth period (November) than in the other season (February). The difference was associated to a longer duration of development with more adequate growing conditions. The plastochron index produced more precise results than the chronological time count, but its value is limited to the vegetative development phase. Based on the coefficients of determination and on the residual analysis both, the Richards equation and the exponential polynome of the third degree fitted well to the growth data. The exponential polynome of the third degree produced better results for the plant and branch data, while the Richards equation seems better for the leaf data. Due to the biological information inherent to its parameters, the Richards equation should be preferred. Nevertheless the occurrence of mathematical and statistical instabilities and huge variances of parameter estimates for several data sets suggests careful evaluation of the results.

1. INTRODUÇÃO

Crescimento e diferenciação são elementos que caracterizam mudanças em organismos ao longo do tempo. O crescimento é um reflexo de mudanças quantitativas (Causton & Venus, 1981) e a diferenciação incorpora mudanças qualitativas (Denfer et al., 1983).

O crescimento pode ser interpretado também como uma modificação irreversível de tamanho, forma ou número (Hunt, 1980).

As duas definições de crescimento são complementares, já que estabelecer uma definição única que seja clara e geral é bastante difícil, senão impossível. Sendo muito abrangente corre o risco de se confundir com a definição do processo vital, englobando aspectos que estão além da esfera temática pretendida. Se for restrita, só será válida para o estreito espectro da análise atual.

A biometria é a ciência que tradicionalmente está envolvida com a análise e a interpretação das mudanças quantitativas que ocorrem no ciclo biológico animal ou vegetal.

Muito freqüentemente esta área da ciência é vista como responsável apenas pela aplicação de procedimentos matemáticos e estatísticos a dados de origem biológica. É fundamental, no entanto, que não desconsidere o objeto principal da análise, ou seja, o ser vivo. As regras da biometria estabelecem premissas que limitam a sua aplicabilidade, exigindo dos dados obediência a um corolário de normas. A biometria não deve ser um campo de estudos que exista à margem dos conceitos e fatos biológicos, nem pode fazer uso indiscriminado dos procedimentos analíticos disponíveis. Ela só tem sentido quando consegue compatibilizar os conhecimentos biológicos com os conceitos matemáticos e estatísticos.

O presente trabalho visa o acompanhamento do crescimento da planta de soja (cv. IAC - 15), cultivada em condições de campo, em duas épocas distintas. O estudo compreende diferentes graus de detalhamento. Entre eles se destacam as folhas e os ramos formados no eixo principal, bem como os componentes da parte aérea da planta - folhagem, caule e órgãos reprodutivos. Avalia-se a utilidade da equação de Richards (Richards, 1959; Nelder, 1961; Causton & Venus,

1981; Cusset, 1991) e da equação polinomial exponencial cúbica (Hughes & Freeman, 1967; Hunt & Parsons, 1974 e 1977) para a descrição quantitativa do crescimento. Também é comparada a representação dos dados em termos da escala de tempo cronológico e baseada no índice de plastochron (Erickson & Michellini, 1957).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Métodos de Estudo do Crescimento

A avaliação do crescimento é um dos objetivos fundamentais do estudo de plantas. A natureza dos processos de crescimento se relaciona com os domínios da fisiologia - o funcionamento da planta determinando variações quantitativas nas suas características. Ecologicamente o crescimento é um elemento, na medida em que resulta da conjunção dos fatores ambientais que atuam sobre ele, mas também é fator, pois determina a extensão da ação possível de um indivíduo sobre o ecossistema em que se encontra.

As variações quantitativas do crescimento podem ser avaliadas pelas mais diferentes metodologias de análise estatística (Fraser & Eaton, 1982). A aplicação de cada uma delas é geralmente condicionada por um compromisso entre o objetivo da análise e a praticabilidade da coleta experimental de dados.

O histórico da análise de crescimento remonta ao século XIX, mas sua teorização definitiva data dos primórdios do corrente século (Evans, 1972). Na sua origem foi desenvolvida como uma técnica para descrever o crescimento de plantas individuais ou de populações e seus resultados transcendem a simples análise estatística, pois no seu arcabouço teórico podem ser definidos vários parâmetros secundários.

Existem também alguns desenvolvimentos recentes da técnica de análise de crescimento. A análise de crescimento demográfica (Bazzaz & Harper, 1977; McGraw & Garbutt, 1990 e 1991, Doust, 1991; Weis, 1991) aplica conceitos de ecologia de populações aos componentes do crescimento de uma planta. Poucos trabalhos aplicaram essa nova metodologia, entre eles os de Bazzaz & Harper (1977) e Clark (1980). A técnica se adapta melhor a plantas com grande quantidade de órgãos de um mesmo tipo, cujas características morfológicas e funcionais são uniformes (Hunt & Bazzaz, 1980). A análise seqüencial de componentes de produção (Jolliffe et al., 1982; Hunt, 1984; Jolliffe & Courtney, 1984; Jolliffe et al., 1988; Smit, 1989; Hunt et al. 1990; Jolliffe et al. 1990) é uma

associação entre a análise de crescimento e a análise de componentes de produção, na qual alguns componentes empregados são parâmetros secundários da análise de crescimento. O encadeamento sequencial dos componentes almeja a simplificação do procedimento analítico e interpretativo (Fraser & Eaton, 1982). Um procedimento semelhante, é a determinação dos componentes fisiológicos da produção (Charles-Edwards, 1982).

2.2. Análise de Crescimento

2.2.1. Aspectos Gerais

Segundo Hunt (1982 (b)) o escopo da análise de crescimento considera alterações sucessivas de tamanho, forma ou número. Nesse sentido, leva em conta o conjunto de procedimentos usados para a descrição de progressões de mudanças irreversíveis no tempo. Os dados primários, as grandezas diretamente medidas, dão origem, por combinação, aos parâmetros secundários. Dados primários e parâmetros secundários são analisados ao longo de uma escala temporal com o auxílio de recursos estatísticos.

O objetivo primordial da análise de crescimento é gerar uma descrição clara do padrão de crescimento, permitindo comparações entre situações distintas. Na maioria das vezes, a complexidade da interação das determinantes do crescimento (Milthorpe & Moorby, 1979) e o desvio ontogenético (Mariko, 1988, Spitters & Kramer, 1988; Stahl & McCree, 1988) dificultam a obtenção de padrões claros. O estudo dos parâmetros secundários atua no sentido de superar essa dificuldade (Evans, 1972).

As metodologias empregadas na coleta de dados são simples, mas trabalhosas, o que geralmente resulta na utilização de poucos tratamentos.

A análise de crescimento se insere nos estudos de fisiologia vegetal. Mais recentemente a sua aplicação tem sido estendida cada vez mais para trabalhos ecológicos. Ela pode ser empregada a qualquer nível de organização, dependendo do instrumental disponível. O processo analítico e interpretativo sempre será

igual. Os níveis de organização englobados pela análise de crescimento são apresentados no Quadro 1 (Causton & Venus, 1981). Um nível hierárquico é formado pela somatória dos componentes do nível subjacente e num mesmo nível são possíveis subdivisões.

QUADRO 1. Esquema organizacional de plantas (Causton & Venus, 1981)		
Nível	Entidade	Componentes
1	planta	parte aérea e radicular
1a	planta	folhagem, caule, porção reprodutiva, raízes
2	folhagem	respectivamente no eixo principal e nos ramos
	caule	
	porção repro.	
	raízes	
2a	idem 2	idem 2, com distinção de ramos individuais e raízes laterais
3	folhas	individuais, separados em eixo principal e ramos
	entrenós	
	órgãos repro.	
3a	idem 3	idem 3, com distinção de ramos individuais
4	órgão ¹	tecidos
5	tecido	células
6	célula	organelas
7	organela	moléculas

Exemplos de trabalhos que aplicaram a análise de crescimento estão listados a seguir:

¹A designação órgão se aplica para raiz, folha, caule e órgãos florais (Ferri et al., 1981). Numa análise mais exata, elementos reprodutivos são considerados combinações de órgãos (Esau, 1974). Na análise de crescimento é conveniente considerar folhas e elementos reprodutivos como órgãos, pois estes dois componentes têm crescimento determinado.

- crescimento celular (Silk, 1980; Singer, 1986; Singer & McDaniel, 1986);
- crescimento de órgãos individuais (Steer, 1971; Dennett et al., 1978; Ondock & Fineran, 1978; Gallagher, 1979; Gbikpi & Crookslon, 1981; Jeune, 1983; Gent, 1983; Mutsaers, 1983; Milford et al., 1985; Guldan & Brun, 1985; Barlow, 1986; Barthou & Buis, 1987; Buis et al., 1987);
- crescimento de componentes da planta (Hunt & Bazzaz, 1980; Dayer & Stewart, 1986; Maillard et al., 1989; Dijkstra & Lambers, 1989; Jack & Long, 1991);
- crescimento de plantas (Coombe, 1960; Gallagher & Biscoe, 1978; Wells & Meredith, 1984; Pedro Jr. et al., 1985; Eagles & Othman, 1986; Russin et al., 1991);
- crescimento em fases restritas do desenvolvimento das plantas (Hurd, 1977; Hunt, 1980; Harris et al. 1985);
- avaliação de descontinuidades ambientais (Wickens & Cheeseman, 1988);
- avaliação da adubação (Austin et al., 1964; Austin, 1964; Teasdale, 1984);
- respostas aos fatores climáticos (Blackman & Rutter, 1948; Blackman & Wilson, 1951 (a,b) e 1954; Emecz, 1962; Woodward, 1979; Dennett et al. 1979; Dennett & Auld, 1980; Freyman, 1980);
- competição entre plantas cultivadas e ervas daninhas (Boudôt et al. 1985);
- estudos em plantas perenes (Brand et al. 1987);
- estudos sobre absorção e translocação de nutrientes minerais (Cheeseman & Wickens, 1986);
- comparação de hábitos de crescimento (Gartner, 1991);
- crescimento volumétrico de troncos (Hozumi, 1987).

2.2.2. Parâmetros secundários da análise de crescimento²

A combinação de dados primários gera parâmetros secundários, que são muito úteis para a interpretação dos dados obtidos na análise, e que podem ser agrupados em quatro tipos:

- (1) taxas simples de um único dado primário:
 - taxa de crescimento absoluto - TCA
 - taxa de crescimento relativo - TCR

²A descrição dos parâmetros secundários da análise de crescimento é oriunda da organização de informações contidas em uma série de textos (Kvet et al., 1971; Evans, 1972; Hunt, 1982 (b); Pereira & Machado, 1987). Na ausência de referências explícitas, a compilação neles se baseia.

- (2) razões simples entre dois dados primários:
 - razão de área foliar - RAF
 - área foliar específica - AFE
 - razões de peso - RP'X'
 - índice de área foliar - IAF
- (3) taxas compostas por dois dados primários:
 - taxa de assimilação aparente - TAA
 - taxa de produção da componente - TPC
 - taxa de crescimento da cultura - TCC
- (4) integrais de tempo:
 - duração de área foliar - DAF
 - duração de biomassa - DB

Os diferentes tipos de taxas podem ser resumidos por uma única equação (Quadro 2).

QUADRO 2 - Parâmetros secundários - taxas (adaptado de Kvet et al., 1971; Evans, 1972; Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b); Pereira & Machado, 1987)

$$T = \frac{1}{Z} \times \frac{dX}{dT}$$

Fórmula Geral

Taxa	X	Z	Unidade
de crescimento absoluto	K	1	$M \cdot t^{-1}$
de crescimento relativo	K	K	$M \cdot M^{-1} \cdot t^{-1}$
de assimilação aparente	P	AF	$M \cdot A^{-1} \cdot t^{-1}$
de produção da componente	P_c	P	$M \cdot M^{-1} \cdot t^{-1}$
de crescimento da cultura	P	IAF	$P \cdot t^{-1}$

- A - unidade de área;
- AF - área foliar;
- IAF - índice de área foliar
- K - alguma medida da entidade considerada;
{são comuns: matéria seca e área foliar}
- M - unidade de peso;
- P - peso de matéria seca;
- P_c - peso de matéria seca do componente;
- t - unidade de tempo;

A TCR e a TAA normalizam a variação medida pela TCA. O fator de normalização da TCR é o próprio valor da medida, ao passo que para a TAA esse valor é alguma medida de dimensão da capacidade fotossintética da planta.

As três primeiras taxas do Quadro 2 repetem o desenvolvimento conceitual da análise de crescimento. São os estágios sucessivos da procura por um parâmetro que exclua a ação do "desvio ontogenético" sobre o crescimento (Evans, 1972; Hunt, 1982 (b)). A TCA é uma simples medida da variação do crescimento no período. A TCR mostra a variação do crescimento em relação à quantidade originalmente disponível. Na TAA o crescimento é ponderado por uma medida foliar, o componente principal de incorporação de matéria seca da planta. A TPC resulta da decomposição da TCR (Hunt & Bazzaz, 1980; Hunt, 1982 (b)) em componentes. A TCC é um parâmetro para populações ou comunidades vegetais e corresponde numericamente à TAA, mas em termos práticos equivale à TCA.

A TAA pode ser calculada para vários tipos de parâmetros foliares - área, matéria seca e conteúdo protéico (Williams, 1946) e conteúdo de clorofila (Kvet et al., 1971) - sendo que o uso da área é mais comum. A estabilidade da TAA em relação ao "desvio ontogenético" será tanto maior quanto mais direta e consistente for sua associação com o potencial produtivo da planta.

Parâmetros secundários do tipo "razão" estão no Quadro 3.

A TAA, a AFE e a RPF (razão de peso foliar) são componentes da decomposição da TCR (Evans, 1972; Hunt, 1982 (b)) e podem ser associados, respectivamente, à atividade fotossintética, à densidade do aparato fotossintético e ao investimento em estruturas de interceptação da radiação. A AFE e a RPF são componentes da decomposição da RAF. O desenvolvimento da área foliar pode ser subdividido em expansão e adensamento (Charles-Edwards, 1982; Denfer et al., 1983; Dale, 1988). A reconhecida maior importância da expansão foliar, comparada à densidade (Potter & Jones, 1977), se reflete no observado maior efeito da RPF, comparada à AFE, na determinação da variabilidade da RAF e da TCR (Thorne, 1960 e 1961; Evans, 1972).

As integrais de tempo representam um indício da capacidade global de produtividade da planta ou cultura ao longo do período considerado (Hunt, 1982 (b)).

QUADRO 3 - Parâmetros secundários - razões (adaptado de Kvet et al., 1971; Evans, 1972; Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b); Pereira & Machado, 1987)

$$R = \frac{C_1}{C_2} \quad \text{Fórmula Geral}$$

Razões	C_1	C_2	Unidade
área foliar específica	AF	P_f	$A \cdot P^{-1}$
razão de área foliar	AF	P_f	$A \cdot P^{-1}$
razões de peso	P_c	P_p	adimensional
índice de área foliar	AF	AS	adimensional

A - unidade de área;
 AF - área foliar;
 AS - área superficial ocupada pela(s) planta(s);
 P - unidade de peso;
 P_c - peso de matéria seca do componente considerado;
 P_f - peso de matéria seca foliar;
 P_p - peso de matéria seca da planta;

2.2.2.1. Conceito e uso da taxa de crescimento relativo

A TCR é um conceito matemático claro. À semelhança da TCA pode ser definida numericamente a partir de parâmetros primários coletados num intervalo de tempo definido. Se for possível achar uma função do tipo

$$P = f(T)$$

na qual P é um parâmetro qualquer e T é o tempo, então será pos-

sível calcular uma TCR.

Com exceção das folhas, cada componente da planta depende, para o seu crescimento, de material importado e sua ação sobre a capacidade de crescimento é determinada pela sua força como dreno (Herold, 1980). Mesmo as folhas só são responsáveis pela sua própria matéria seca após uma fase inicial variável (Maksymowych, 1973). Antes disso funcionam como qualquer outro componente, recebendo assimilados por importação. A utilidade da TCR nestes casos depende da sua capacidade em representar a intensidade de alocação de material para o crescimento. Essa interpretação não corresponde à definição original da TCR, feita ao nível da planta, pela qual o seu valor reflete a capacidade produtiva (Evans, 1972; Hunt, 1982 (b)) e indica que a extrapolação de conceitos básicos para outros tipos de dados deve ser aplicada com cuidado.

2.2.2.2. TCR e taxas de produção de componentes

As limitações conceituais da TCR sugerem a procura de alternativas, sendo uma possibilidade a decomposição.

Hunt & Bazzaz (1980) sugerem a seguinte decomposição da TCR da planta

$$TCR_p = \frac{1}{P} \times \frac{dP}{dT} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{P_i} \times \frac{dp_i}{dT} \right) \times \frac{P_i}{P}$$

$$TCR_p = \sum_{i=1}^n TCR_i \times \frac{P_i}{P}$$

TCR_p = taxa de crescimento relativo - matéria seca da planta
($\text{peso} \times \text{peso}^{-1} \times \text{tempo}^{-1}$)

TCR_i = taxa de crescimento relativo - matéria seca do componente i
($\text{peso} \times \text{peso}^{-1} \times \text{tempo}^{-1}$)

P = peso de matéria seca da planta

P_i = peso de matéria seca do componente i

n = número de componentes da matéria seca da planta

T = tempo

A equação mostra que a TCR da matéria seca da planta é resul-

tado da soma dos produtos da TCR e da fração da matéria seca total de cada um dos componentes. Apresentada dessa maneira, a TCR de um componente está exposta à crítica formulada acima. Vê-se também que o peso da matéria seca do componente aparece no denominador e no numerador, cuja eliminação resulta em

$$TCR_p = \frac{1}{P} \times \frac{dP}{dT} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{P} \times \frac{dp_i}{dT} = \sum_{i=1}^n TPC_i$$

TCR_p = taxa de crescimento relativo - matéria seca da planta
 (peso $\times$ peso⁻¹ $\times$ tempo⁻¹)
 TPC = taxa de produção do componente i
 (peso $\times$ peso⁻¹ $\times$ tempo⁻¹)
 P = peso de matéria seca da planta
 p_i = peso de matéria seca do componente i
 n = número de componentes da matéria seca da planta
 T = tempo

Cada elemento do somatório é a taxa de produção do componente (TCP) considerado e caracteriza o seu crescimento em relação ao total (Hunt & Bazzaz, 1980).

O conceito da TCP pode ser usado para comparar o crescimento dos componentes e da entidade que os engloba, o que pode ser visto na comparação da folhagem da planta (entidade) e das folhas (componentes). Cada folha apresenta um desenvolvimento característico (Maksymowych, 1973; Tichá & Catsky, 1981; Catsky & Tichá, 1982; Dale, 1988), ao final do qual senesce e sofre abscisão. A distinção das fases de crescimento e senescência é fácil. Enquanto a folha estiver crescendo a sua TCP é positiva e contribui para a TCR da folhagem. No cálculo direto da TCR da folhagem não é possível distinguir crescimento e senescência. A comparação da TCR da folhagem calculada pelo somatório das TCPs das folhas com a TCR calculada diretamente para os dados da folhagem indica as magnitudes do seu crescimento efetivo e da sua senescência.

2.2.3. Análise de crescimento clássica

A forma clássica da análise de crescimento está detalhadamente documentada em Evans (1972). A base é formada por coletas sucessivas de dados, consideradas tratamentos, de um delineamento estatístico para análise de variância, permitindo a avaliação de qualquer dado primário ou parâmetro secundário. Assim sendo, um experimento de análise de crescimento deverá obedecer às regras da análise de variância (Smith, 1969; Snedecor & Cochran, 1989).

A observação de diferenças estatisticamente significativas para coletas sucessivas aumenta com a dilatação do intervalo entre coletas e com o aumento do número de repetições. Isso implica na concentração das atividades de amostragem em poucos instantes ao longo do período experimental, exigindo o processamento de grande quantidade de material vegetal em pouco tempo. O prolongamento do intervalo entre coletas também reduz a variabilidade dos parâmetros secundários (Causton & Venus, 1981), mas diminui a sua representatividade, pois são assumidos valores constantes, quando na realidade representam processos dinâmicos.

Os parâmetros secundários são valores médios de duas coletas sucessivas e o seu cálculo exige a pareação de dados (Evans, 1972; Hunt, 1982 (b)). Essa característica resulta em correlações negativas para pares de taxas sucessivas. Diversos procedimentos foram descritos para otimizar o agrupamento dos dados na pareação (Venus & Causton, 1979 (c); Causton & Venus, 1981) ou para evitar a pareação (Poorter & Lewis, 1986; Wickens & Cheesemann, 1988; Poorter, 1989).

O cálculo da TAA exige a determinação prévia da relação numérica entre os dois dados que a compõem no intervalo entre coletas considerado. A forma geral da relação alométrica entre duas grandezas de uma planta é dada por (Sith, 1980)

$$y = a x^b$$

na qual 'x' e 'y' são os componentes da relação e 'a' e 'b' são constantes. Para o cálculo da TAA duas situações são consideradas

(Evans, 1972)

$$b = 1 : \quad \overline{TAA}_{1-2} = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\ln F_2 - \ln F_1}{F_2 - F_1}$$

$$b = 2 : \quad \overline{TAA}_{1-2} = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \times \frac{1}{F_2 - F_1}$$

b = coeficiente exponencial da relação P vs. F
 $\overline{TAA}_{1-2}$ = taxa de assimilação aparente média
 (peso $\times [X]^{-1} \times \text{tempo}^{-1}$
 $[X]$ = dimensão do dado foliar F
 F = área foliar - $[X]$ = área
 F = matéria seca foliar - $[X]$ = peso)
 F = dado foliar (magnitude do conjunto assimilatório)
 P = peso de matéria seca da planta
 T = tempo
 $\ln$ = logaritmo neperiano

A avaliação de resultados experimentais mostrou que a escolha do valor de ' b ' é secundária para a precisão do valor da TAA, desde que a magnitude do dado foliar não dobre no intervalo considerado (Coombe, 1960).

2.2.4. Análise de crescimento funcional

A análise de crescimento denominada funcional (Hunt, 1979; Hunt & Evans, 1980; Hunt, 1982(b)) é caracterizada pela procura de equações ou modelos matemáticos que possam determinar associações entre algum tipo de dado primário e a variável independente, geralmente o tempo cronológico. O processo de definição da equação adequada é denominado de ajuste de curva (Pereira & Arruda, 1987; Pereira & Machado, 1987), uma forma de aplicação da regressão (Draper & Smith, 1981; Gallant, 1987).

Os modelos matemáticos têm por objetivo a descrição da realidade. Nas ciências exatas essa descrição tende a ser mais precisa que nas ciências naturais, cuja complexidade permite apenas uma descrição aproximada (Smith, 1969).

Existem dois tipos de modelos matemáticos: os empíricos e os mecanicistas. Os modelos mecanicistas pretendem, através dos

parâmetros da equação, explicar o funcionamento do processo descrito. Podem ser explicativos ou de previsão (Erickson, 1959; Erickson, 1976; Loomis et al., 1979; Machado, 1981; Moorby, 1987; Thornley, 1990; Thornley, 1991; Thornley et al. 1992). Os modelos empíricos apenas satisfazem o ajuste aos dados. A meta é uma representação que tenha utilidade prática (Nicholls & Calder, 1973; Hunt, 1982 (b); Buff et al., 1987).

A discussão em torno de modelos mecanicistas e empíricos é bastante polemizada (Hardwick, 1984; Warren Wilson et al., 1986). A principal crítica feita pelos defensores do modelo mecanicista ao empírico é a afirmação de que a simples redescrição dos dados não contribui para a compreensão do problema enfocado.

Os processos biológicos são caracterizados pelo fato de sempre serem mais que a simples somatória dos processos subjacentes (Lorenz, 1977). Na hierarquia organizacional biológica a entidade de ordem superior é responsável pela formação da inferior (Barlow, 1982): "The plant forms cells, not the cells the plant."

A análise de crescimento tem uma relação ambigua com este debate entre modelos mecanicista e empírico. O ajuste de curvas é o elemento diferenciador da análise funcional e primordialmente empírico. Por outro lado a validação de modelos mecanicistas passa obrigatoriamente pela aplicação a dados de crescimento. Um contínuo de desenvolvimento fica evidente: ... - análise de crescimento - interpretação - desenvolvimento de modelos mecanicistas - validação pela análise de crescimento - ...

A característica empírica do ajuste de curvas na análise de crescimento decorre da improbabilidade de que seja possível resumir um processo complexo como o crescimento biológico com o auxílio de alguns poucos parâmetros. A associação de algum significado biológico a qualquer dos parâmetros da equação ajustada lhe atribui um significado funcional (Hunt, 1982 (b)) e torna a transição entre modelos puramente empíricos e puramente mecanicistas difusa.

A importância do ajuste de curvas, mesmo empírico, a dados primários na análise de crescimento se deve principalmente às vantagens que se espera da determinação de parâmetros secundários e

das circunstâncias experimentais decorrentes (Hunt, 1982 (b)). As metodologias de regressão utilizadas para o ajuste de curvas (Draper & Smith, 1981) possibilitam uma coleta de dados mais frequente, com menor número de repetições, em relação à análise de crescimento clássica (Hughes & Freeman, 1967). A determinação de taxas, por derivação das equações obtidas para os dados primários, resulta em valores instantâneos, que excluem a necessidade da pareação de dados e a determinação da relação alométrica entre os dados de parâmetros compostos.

As metodologias de regressão paramétrica empregadas (Draper & Smith, 1981; Gallant, 1987; Bates & Watts, 1988) se baseiam num conjunto de premissas cuja observância possibilita ou não a aceitação do resultado: normalidade, aditividade, independência de erros e homocedasticidade. Pelas suas características o crescimento é considerado um processo cujos componentes têm efeitos multiplicativos e não aditivos (Causton & Venus, 1981; Mosimann & Campbell, 1987). Sob essa circunstância tem se mostrado como mais adequada a transformação dos dados primários em logaritmos antes do ajuste de curvas, uma vez que se pressupõe a distribuição log-normal (Patel & Campbell, 1982; Craw & Shimizu, 1988).

O ajuste de curvas, seja mecanicista ou empírico, exige uma discussão a respeito do tipo de equação mais adequado. Pelas suas características, o método empírico admite qualquer tipo de função matemática que seja capaz de determinar um ajuste adequado aos dados. Os tipos mais comuns de equações usadas são as polinomiais (Nicholls & Calder, 1973; Hunt & Parsons, 1974; Elias & Causton, 1976; Hunt & Parsons, 1977; Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)), as assintóticas (Hunt, 1982 (b); Ratkowski, 1983; Calbo et al. 1989 (a),(b); Causton & Dale, 1990) e as sigmóides (Richards, 1959; Nelder, 1961; Causton, 1969; Morgan et al., 1975; Venus & Causton, 1979 (a),(b); Causton & Venus, 1981; Caloin & Yu, 1982; Ratkowski, 1983; Thomas & Potter, 1985; Calbo et al., 1989 (a), (b); Thornley, 1990; Buis, 1991; Cusset, 1991).

Os modelos citados podem ser agrupados em lineares e não-lineares. Se o resultado da derivação parcial de uma equação em

relação a qualquer um de seus parâmetros incluir um dos outros parâmetros, então a equação é considerada não-linear e os dois parâmetros são considerados dependentes. A equação só será linear quando todos os parâmetros forem lineares entre si (Bates & Watts, 1988).

Na análise de crescimento funcional os modelos lineares são representados por equações polinomiais (Hunt, 1982 (b)). A ampla disseminação do ajuste de curvas a modelos lineares se deve à facilidade computacional e a um limitado desenvolvimento da teoria não linear (Gallant, 1987). Os tipos mais comuns de equações não lineares encontradas na análise de crescimento funcional são as sigmóides e eventualmente também são citadas as equações assintóticas.

A forma geral das equações polinomiais é a seguinte (Hunt, 1982 (b)):

$$y = a + b_1t + b_2t^2 + \dots + b_nt^n$$

A ampla gama de modelos possíveis se reduz na prática a quatro tipos: as equações de 1º, 2º e 3º graus e equações de grau superior. Aos primeiros dois tipos de equações é possível conferir significado biológico a mais de um dos parâmetros. A partir da equação de 3º grau, as equações são predominantemente empíricas. Cada parâmetro adicional incorpora um ponto de inflexão à equação, flexibilizando a descrição do crescimento.

Quando a variável dependente 'y' de uma equação polinomial é o logaritmo do dado original, tem-se então uma equação polinomial exponencial (Hunt, 1982(b)). Este tipo de modelo é denominado intrinsecamente não-linear (Draper & Smith, 1981), pois representa a transformação logarítmica do seguinte modelo não-linear:

$$y = \exp(a + b_1t + b_2t^2 + \dots + b_nt^n)$$

As equações não lineares mais comuns encontradas em estudos de crescimento de plantas são: monomolecular, Gompertz, logística

e Richards (Causton & Venus, 1981). Outros tipos também são citados (Morgan et al., 1975; Hunt, 1982 (b); Ratkowsky, 1983; Cusset, 1991). A equação de Richards é a mais interessante de todas porque, aos seus parâmetros, podem ser atribuídos diversos significados biológicos (Causton & Venus, 1981). Pode ser demonstrado ainda que origina as equações monomolecular, Gompertz e logística (Richards, 1959).

A nomenclatura de funções assintóticas e sigmóides não é padronizada. As funções sigmóides são caracterizadas por uma assíntota inferior e outra superior (Causton & Venus, 1981; Ratkowsky, 1983; Cusset, 1991). Eventualmente, as equações sigmóides são classificadas em meio às equações assintóticas (Hunt, 1982 (b)), apesar dessas últimas terem apenas uma única assíntota.

As propriedades e a descrição dos parâmetros da equação de Richards estão listadas, respectivamente, nos Quadros 4 e 5 (Richards, 1959; Causton & Venus, 1981). A vantagem da função de Richards em relação às demais reside na sua forma. O ponto de inflexão ou não existe (monomolecular) ou é fixo (Gompertz e logística). A função de Richards permite que o ponto de inflexão se localize em qualquer ponto da curva, graças ao parâmetro adicional (Richards, 1959), o que lhe confere, dentro do padrão sigmóide global, ampla flexibilidade.

O formalismo desenvolvido para a equação de Richards segue duas linhas distintas. Alguns autores preferem incluir a possibilidade de valores negativos para o parâmetro ' v ' (Richards, 1959, Causton, 1969; Venus & Causton, 1979 (c); Causton & Venus, 1981). Outros preferem restringi-lo a valores positivos (Nelder, 1961; Ratkowsky, 1983; Cusset, 1991). No presente trabalho é considerada a segunda alternativa.

Um ponto de partida para a discussão do modelo a ser adotado deve se basear na própria curva de crescimento. A forma mais geral reconhecida para qualquer processo de crescimento é a curva do tipo "S" ou sigmóide, mas não existe nenhuma equação matemática simples que a descreva completamente. Ela pode ser subdividida em três etapas (Quadro 6), baseado no conceito de aceleração do

QUADRO 4 : Propriedades da equação de Richards (adaptado de Richards, 1959; Nelder, 1961; Causton & Venus, 1981; Cusset, 1991)

equação	$y = A(1 + e^{\beta - \kappa t})^{-\frac{1}{v}}$
assíntotas	$\begin{aligned} v > 0 : y &= 0; \quad y = A; \\ v < 0 : y &= A; \end{aligned}$
valor inicial	$y_0 = A(1 + e^{\beta})^{-\frac{1}{v}}$
ponto de inflexão	$t_i = \frac{\beta - \ln(+v)}{\kappa}; \quad y_i = (v + 1)^{-\frac{1}{v}}$
taxa de crescimento	$TCA = \frac{dy}{dt} = \frac{\kappa y}{v A^v} (A^v - L^v)$
taxa de crescimento relativo (função tamanho)	$TCR(y) = \frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = \frac{\kappa}{v} \{1 - (\frac{y}{A})^v\}$
taxa de crescimento relativo (função tempo)	$TCR(t) = \pm \frac{\kappa e^{\beta}}{v(e^{\kappa t} + e^{\beta})}$
forma logarítmica	$\ln(y) = \ln(A) - \left(\frac{1}{v}\right) \ln(1 + e^{(\beta - \kappa t)})$

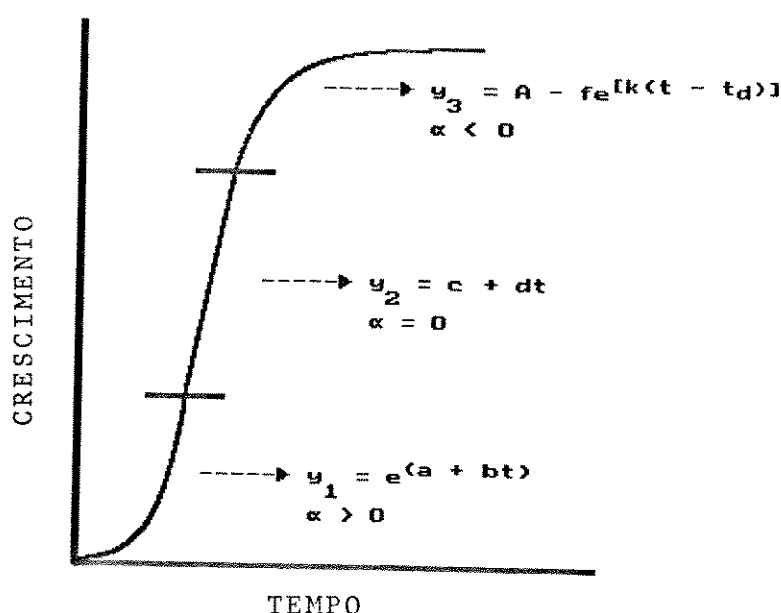
crescimento, apresentado por Obrucheva & Kovalev (1979), com especial ênfase para o crescimento de órgãos de plantas. A aceleração é, juntamente com o valor absoluto e a taxa relativa, um dos três descritores do crescimento e mede a variação da taxa relativa.

QUADRO 5: Parâmetros relacionados à equação de Richards (adaptado de Richards, 1959; Causton & Venus, 1981)

a) Parâmetros da equação	
valor assintótico	A (com significado biológico)
descriptor de forma da curva	v (com significado biológico)
posicionamento da curva em relação ao eixo temporal	B
constante de taxa (interpretação depende do valor de v)	κ
b) Parâmetros derivados da equação	
taxa de crescimento relativo média	$\overline{TCR} = \frac{\kappa}{v + 1}$
taxa de crescimento absoluto média	$\overline{TCA} = \frac{A\kappa}{2(n + 2)}$
Duração de crescimento	$D = \frac{2(n + 2)}{\kappa}$

As descrições dos crescimentos de processos primários e compostos terão características distintas para o esquema do Quadro 6. Num processo primário, como a multiplicação celular, a transição

entre as fases 1 e 3 é instantânea. Quando o crescimento é determinado pela interação de vários processos, como no caso de folhas onde é determinado pela multiplicação e pela expansão celular, efeitos de compensação podem provocar uma transição não instantânea da primeira para a terceira fase, caracterizada por acelera-



- | | |
|-----------------|--|
| y_1 | - equação para crescimento exponencial - 1ª fase |
| y_2 | - equação para crescimento linear - 2ª fase |
| y_3 | - equação para crescimento assintótico = 3ª fase |
| α | - aceleração do processo de crescimento |
| a, b, c, d, k | - parâmetros de equação |
| A | - valor máximo do crescimento (assíntota) |
| f | - valor do crescimento no início da 3ª fase |
| t | - tempo |
| t_d | - instante em que se inicia a terceira fase |

QUADRO 6. Descrição da curva 'S' de crescimento (baseado em Obrucheva & Kovalev, 1979)

ção de crescimento nula. O crescimento de estruturas mais complexas que órgãos, como a folhagem, o caule ou uma planta inteira, também deve ser caracterizado por uma fase de transição não instantânea, pois, a compensação entre processos ao nível dos componentes é complementada pela compensação de crescimento entre componentes.

O conjunto de características das equações sigmóides lhes possibilita a descrição mais próxima do padrão da curva 'S' descrita no Quadro 6, entre as equações tradicionalmente em uso, mas elas não serão capazes de reproduzir uma fase intermediária com aceleração de crescimento nula.

A precisão do ajuste é um fato que também deve ser considerado. Independentemente do tipo de equação escolhido, o aumento do número de parâmetros na equação aumenta a precisão do ajuste. O aumento da correspondência entre os dados e a equação ajustada ocorre às custas da precisão estatística, pois aumenta a variabilidade das estimativas dos parâmetros. Paralelamente, aumenta o risco de serem ajustadas oscilações não decorrentes do crescimento, um fenômeno conhecido por "over-fitting" (Hunt, 1982(b)). Ele é especialmente evidente quando ocorre em modelos polinomiais, pois eles chegam a permitir um ajuste exato, caracterizado pela equação com 'n' parâmetros e que passa pelos pontos médios de todas as 'n' amostragens consideradas (Draper & Smith, 1981).

Em circunstâncias normais, a escolha da equação deve ser norteada pela sua forma e por um compromisso entre o número de dados e a quantidade de parâmetros. Se as demais exigências forem cumpridas, é possível escolher a equação pelo conteúdo explicativo de seus parâmetros.

O processo analítico na análise de crescimento funcional determina uma série de características que a distingue da metodologia clássica (Hunt, 1982 (b)):

- a curva ajustada é um resumo coeso e sucinto do processo de crescimento, facilitando comparações;
- coletas freqüentes com um menor número de repetições (Hughes & Freeman, 1967) facilitam o trabalho de obtenção dos dados;

- para uma mesma época de plantio não é necessário que as coletas nos blocos experimentais ocorram nos mesmos dias;
- o número de repetições nas coletas pode ser variável (Draper & Smith, 1981; Gallant, 1987);
- a informação de cada dado influi na determinação da curva em todo o intervalo de crescimento;
- possibilita a obtenção de valores instantâneos dos parâmetros secundários, evitando a pareação de dados;

As considerações feitas em relação ao ajuste de curvas só serão válidas em circunstâncias normais de crescimento. Existem situações associadas a descontinuidades ambientais (Hunt, 1980; Boudôt et al., 1985; Wickens & Cheeseman, 1988), em que nenhuma forma de equação pré-definida se aplica, devido a distúrbios no padrão primário de crescimento. Nessas circunstâncias foi sugerido o uso de "splines" (Parsons & Hunt, 1980; Hunt, 1982 (a); Boudôt et al., 1985).

Por definição, um "spline" é o encadeamento de equações polinomiais de grau ' n ' que se encontram ligadas em nós, onde as duas equações adjacentes precisam ter ' $n-1$ ' derivadas contínuas (Wold, 1974). Nessas circunstâncias, o "spline" só não tem continuidade funcional no nó. Para que a continuidade funcional também englobe os nós é necessário usar uma variação denominada "sliding polinomials" (Snyder & Harper, 1989).

A utilização de "splines" nas ciências matemáticas para interpolação e "smoothing" é muito comum (Reinsch, 1967; Boor, 1972; Kimball, 1977; Lancaster & Salkauskas, 1986). A aplicação em regressão ainda não está tão amplamente disseminada (Dale, 1973; Wold, 1974; Wegman & Wright, 1983; Silverman, 1985) e em estudos de crescimento são exceção (Parsons & Hunt, 1980; Hunt, 1982 (b); Boudôt et al., 1985; Wickens & Cheeseman, 1988).

As análises de crescimento que empregaram "splines" foram, em geral, estudos de curta duração, muito detalhados (Hunt, 1980; Wickens & Cheeseman, 1988). Descontinuidades ambientais abruptas, como por exemplo a interrupção artificial de uma fase luminosa, não são bem representadas por "splines" nas proximidades da transição

(Poorter, 1989), pois o padrão posterior é artificialmente antecipado. Neste contexto, é sugerida a aplicação de uma metodologia alternativa pela qual se combinam características das análises de crescimento clássica e funcional.

2.3. Transformação de Dados

Em estudos de crescimento de plantas o uso de transformações de dados é bastante comum (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b); Finney, 1989), sendo a mais utilizada a logarítmica. Quando uma fase preponderante do crescimento é exponencial, as características do lote de dados usados para o ajuste englobam como aspectos inadequados heterocedasticidade e erros multiplicativos (Patel & Campbell, 1982; Craw & Shimizu, 1988). Para a aplicação da metodologia de regressão no ajuste de curvas essas duas características violam, respectivamente, as premissas de homogeneidade de variâncias e aditividade dos erros. A transformação logarítmica atua no sentido de aumentar a homogeneidade de variância e garantir a aditividade.

A transformação logarítmica dos dados também pode contribuir para a simplificação da forma do modelo empregado. Uma equação polinomial exponencial, não-linear, se reduz a uma equação polinomial simples, linear, quando são usados dados transformados. A equação de Richards (Quadro 4) tem uma forma mais simples para a equação utilizada como dados transformados.

2.4. Escalas de Tempo

A representação do crescimento é feita em relação a uma escala de tempo, na maioria das análises o tempo cronológico (TC), que considera a história dos acontecimentos ambientais que condicionam o padrão de crescimento fixado geneticamente na planta (Hunt, 1982 (b)). A ação dos fatores ambientais sobre o crescimento pode ser de dois tipos: com atuação sobre a magnitude de um processo metabólico, ou determinando um acúmulo de estímulos, que condicionam a diferenciação. Da diferenciação surgem novos padrões

metabólicos com respostas ambientais diversas das anteriores (Denfer et al. 1983). Plantas com idades iguais podem não estar em situação morfológica equivalente ou podem tê-la alcançado por caminhos diferentes. Um período igual de tempo pode não representar uma ação igual do ambiente sobre a planta, pois os estímulos ambientais podem ter sido distintos. O uso da escala de TC, portanto, pode ser de limitada utilidade para comparações do crescimento em situações distintas.

Alternativas à escala de TC são: parâmetros de caracterização da planta, escalas de desenvolvimento, escalas de fatores ambientais e índice de plastochron.

O uso de parâmetros de caracterização da planta sugere que os dados primários e os parâmetros secundários da análise sejam representados em termos de algum descritor representativo, por exemplo: o seu peso de matéria seca (Austin, 1964) ou o peso foliar específico (Noitsakis, 1986)³. Com isso se pretende reduzir o efeito da "deriva ontogenética".

A aplicação deste tipo de análise é problemática. As plantas não apresentam um tamanho máximo final pré-determinado em limites tão estreitos quanto na maioria dos animais (Denfer et al., 1983). Não existem garantias de que determinado tamanho atingido tenha maior probabilidade de ocorrer em um ou outro estágio do desenvolvimento morfológico.

A elaboração de escalas de desenvolvimento é bastante difundida na agricultura (Fehr et al., 1971; Zadoks et al., 1974; Tottman & Broad, 1987; Landes & Porter, 1989). Ela propicia a determinação precisa de estágios morfológicos, mas a descrição da quantidade de crescimento já ocorrido é mais precária. Ela esbarra na dificuldade em associar estágios de desenvolvimento fenológico a valores correspondentes de crescimento. Plantas têm limites amplos de crescimento para estágios fenológicos equivalentes. A utilidade das escalas de desenvolvimento para representar o

³O parâmetro de referência só poderá substituir o tempo nos parâmetros secundários se ele não for um de seus componentes.

crescimento será sempre maior para plantas com alto grau de determinação (Dayde & Ecochard, 1984). Também contribuirá para a sua utilidade, que a transição entre estágios morfológicamente distintos seja mais de determinação interna que externa. Esses dois aspectos são evidenciados pelo desenvolvimento mais avançado e detalhado de escalas de desenvolvimento para cereais.

A limitada utilidade do uso de escalas de desenvolvimento em substituição à escala de TC se deve ao fato de terem sido desenvolvidas para atender objetivos diferentes. Uma descrição morfológicamente precisa pode ser suficiente para a tomada de decisões agrícolas (momento de irrigação ou aplicação de defensivos) ou para a descrição qualitativa do desenvolvimento da planta.

A utilização de valores acumulados de determinados fatores ambientais, isolados ou combinados, em substituição à simples escala cronológica é uma alternativa que tem sido proposta. A sugestão é atrativa. Os fatores ambientais atuam tanto na quantificação do crescimento - através da modulação dos processos produtivos - quanto na determinação do seu padrão de diferenciação. *A priori* o uso de escalas de fatores ambientais apresenta a possibilidade de superar as limitações observadas nos parâmetros de caracterização de plantas e nas escalas de desenvolvimento. Isso será verdade quando os fatores envolvidos tiverem atuação sobre o desenvolvimento quantitativo e qualitativo. Escalas de fatores ambientais foram propostas para a temperatura (Strand, 1987; Hay & Delécolle, 1989), para graus-dias (Russelle et al. 1984), para a radiação, para a combinação de temperatura e radiação (Coelho & Dale, 1980) e para a combinação de temperatura e fotoperíodo (Cao & Moss, 1989).

Ainda como alternativa à escala de TC o índice de plastochron (IP), que não é um desenvolvimento recente (Erickson & Michelini, 1957), pode ser considerado um caso especial de parâmetro de classificação da planta. O IP é baseado no crescimento foliar e calculado pela seguinte fórmula :

$$IP = n + \frac{\ln[L_n(t)] - \ln\lambda}{\ln[L_n(t)] - \ln[L_{n+1}(t)]}$$

IP : índice de plastochron
n : número da última folha com tamanho maior que λ
L : tamanho foliar
 λ : tamanho foliar de referência
t : instante da medida
 ln : logaritmo neperiano ($\log_e$)

A contagem das folhas para a determinação de 'n' é feita da base para o topo. O tamanho de referência ' λ ' é o limite do tamanho da folha até o qual se supõe que a taxa de crescimento seja exponencial e igual para folhas sucessivas. O dado foliar usado para caracterizar o tamanho pode ser qualquer tipo de dimensão foliar, sendo mais comum o uso de comprimento ou área. Três premissas são necessárias para a aplicação do IP:

- crescimento exponencial do parâmetro foliar de referência até o tamanho limite ' λ ';
- taxas equivalentes de crescimento exponencial para folhas sucessivas;
- iniciação foliar em intervalos de tempo regulares;

A estabilidade do IP como escala de tempo e para a comparação de situações diversas de crescimento está descrita em diversos trabalhos (Hofstra et al., 1977; Lamoureaux et al., 1978; Snyder & Bunce, 1983; McCauly & Coxdale, 1984). Apenas alguns tipos de efeitos ambientais afetam a constância do IP: seca (Vendeland et al., 1992) e estresse salino (Lazof et al., 1991). O grande mérito do IP é a sua capacidade de representar o crescimento através das características intrínsecas do organismo em desenvolvimento (Ritterbusch & Wunderlin, 1989). Recentemente algumas extensões têm sido feitas ao conceito original do IP (Ritterbusch, 1989, 1990 (a) e (b); Meicenheimer, 1992).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Considerações Preliminares

A análise quantitativa dos dados pelo ajuste de curvas determinou os procedimentos experimentais para a coleta de dados segundo o paradigma da análise de crescimento funcional: amostragens freqüentes com a possibilidade de um número variável de repetições (Hunt, 1982 (b)).

Os estudos metodológicos em geral não são feitos a campo, mas sob condições controladas. Um dos objetivos aqui propostos era a confirmação da utilidade das metodologias sob condições reais de cultivo. A coleta freqüente de dados exigiria uma grande quantidade de material vegetal, o que não poderia ser cumprido em um experimento sob condições controladas.

A planta escolhida foi a soja (*Glycine max* L. Merrill), devido à grande importância da cultura na economia do país (Nogueira et al., 1981) e, em especial, no estado de São Paulo (Miyasaka & Medina, 1981). Além disso, o lançamento de cultivares recentes (Miranda et al., 1988, 1989 (a) e (b)), entre os quais o IAC-15, requer a determinação de suas características botânicas, de crescimento, desenvolvimento e produtividade.

3.2. Descrição do Experimento

3.2.1. Caracterização do cultivar de soja IAC-15

O cultivar escolhido, IAC-15, foi uma sugestão pessoal do pesquisador Hipólito Mascarenhas, do Instituto Agronômico, Campinas, São Paulo. O cultivar é bastante recente, tendo sido lançado em 1989. Seu ciclo de crescimento é semi-precoce, tem hábito de crescimento determinado, pubescência cinza, flor branca, vagem escura e sementes amarelas com hilo marrom-claro. O período juvenil é bem característico, a produtividade alta e é resistente ao acamamento, à deiscência das vagens e às doenças "pústula bacteriana" e "fogo selvagem" (Miranda et al., 1989 (a)).

3.2.2. Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do CPQBA (Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas) - UNICAMP, localizado no município de Paulínia - SP, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude $22^{\circ} 50' S$, longitude $47^{\circ} 05' W$ e altitude de 669 m. A caracterização climática da região de Campinas é apresentada na Figura 1 (A) e no Quadro 7 do Apêndice. Na Figura 1 (A) está apresentado o extrato do balanço hídrico mensal segundo Thornthwaite & Matter (1955), baseado nas normais da Estação Agrometeorológica do Instituto Agrônomo, Campinas - SP, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude - $22^{\circ} 54' S$, longitude - $47^{\circ} 05' W$ e altitude de 674 m.

O solo sob o qual esteve instalada a cultura foi um latossolo roxo, cuja caracterização química se encontra no Quadro 8 do Apêndice.

3.2.3. Condução do experimento

A área destinada ao experimento não havia sido cultivada na safra anterior e a vegetação era dominada por braquiária. O terreno foi preparado por aração e gradagem para incorporação do material orgânico e uniformização, visando facilitar operações posteriores. Para evitar a reinfestação das ervas daninhas foi feita uma pulverização em pré-plantio com mistura de tanque dos herbicidas trifluralina (controle de plantas daninhas de folhas estreitas) e imazaquin (controle de plantas daninhas de folhas largas, seletiva para a soja) nas dosagens recomendadas.

A adubação se restringiu à aplicação e incorporação de 400 kg/ha de P_2O_5 na forma de superfosfato simples (conforme as exigências demonstradas na análise química do solo, Quadro 8, Apêndice). O plantio foi feito com base em "stand" com 17 a 18 plantas por metro linear e espaçamento entre linhas de 50 cm. Sob as condições de germinação isso requereu 20 sementes por metro linear. A área experimental tinha 1200 m² em cada uma das épocas de plantio, disposta de forma retangular, com 12 m de largura (24 linhas de

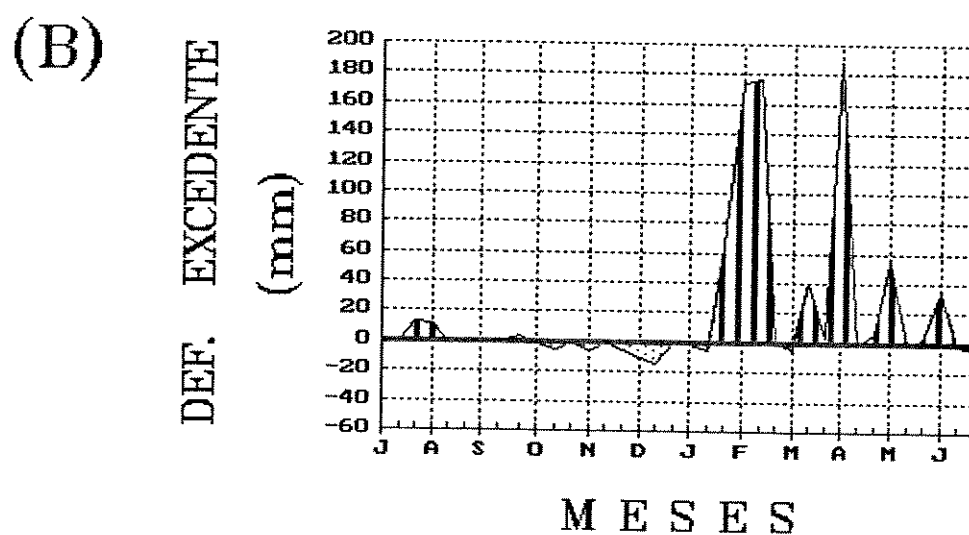
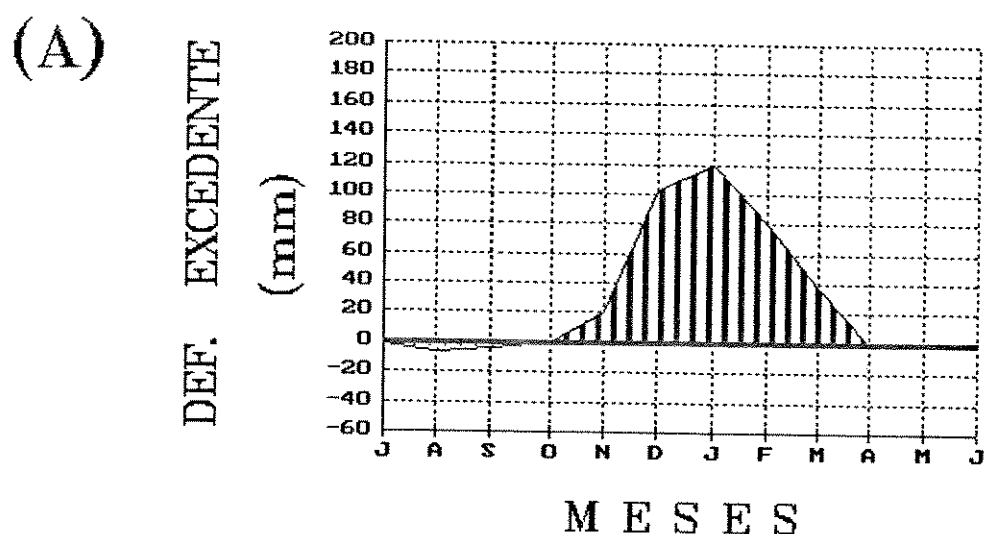


FIGURA 1. Extratos dos balanços hídricos da região de Campinas/SP, segundo Thornthwaite & Matter (1955). (A) Extrato do balanço hídrico mensal baseado em dados normais. (B) Extrato do balanço hídrico decenal do ano agrícola 90/91. (Cálculos baseados em armazenamento máximo de 100 mm. Dados da Estação Experimental do Instituto Agrônomo - Campinas/SP.)

plantio) e 100 m de comprimento. O sistema de irrigação, por aspersão, foi utilizado após os plantios para garantir a germinação.

Durante o desenvolvimento da cultura foram feitas capinas manuais para complementar o tratamento com herbicidas. Problemas fitossanitários foram controlados com a aplicação de defensivos quando necessário e possível. Numa primeira época de plantio ocorreu uma acentuada infestação de percevejos marrons (*Nezara viridula*), que não pode ser controlada. Isso acarretou uma significativa queda de produtividade por danos infligidos à porção reprodutiva das plantas. Numa segunda época de plantio a infestação de insetos desfolhadores (*Colaspis sp.*, *Diabrotica speciosa*, *Epicauta atomaria*) foi controlada periodicamente pela aplicação de carbaryl, nas doses recomendadas, com um pulverizador costal motorizado.

3.2.4. Coleta de dados de plantas

3.2.4.1. Níveis de organização

O esquema organizacional de plantas (Causton & Venus, 1981 - Quadro 1) foi empregado como linha mestra para a orientação do tipo de dado coletado e seu grau de detalhamento. Durante a execução do trabalho foram coletados dados de plantas conforme os 3 primeiros itens apresentados no quadro 1, com excessão das raízes. A alta freqüência de coletas foi condicionada pelo rápido desenvolvimento nos níveis 3 e 3a.

3.2.4.2. Fases experimentais

Duas fases experimentais foram iniciadas, respectivamente, nos dias 21 de novembro de 1990 e 22 de fevereiro de 1991. Para a cultura da soja o primeiro período de plantio corresponde a uma época típica de condução da cultura. O segundo período de plantio poderia ser inadequado para o pleno desenvolvimento da cultura, devido às limitações fotoperiódicas da época (Berlato, 1981; Board & Settim, 1988). No entanto, as informações sobre o cultivar IAC-15

(Miranda et al., 1989 (a)) sugeriam a possibilidade de cultivo também fora das épocas normais, associada a um período de juvenilidade.

A região de Campinas não apresenta temperaturas médias inferiores a 18°C e tem um período de deficiência hídrica entre os meses de julho e setembro (Figura 1 (A), Quadro 7, Apêndice). Durante a condução do experimento a condição agrometeorológica não correspondeu completamente a essa situação. Na Figura 1 (B) está representado o extrato do balanço hídrico decendial (Thorntwaite & Matter, 1955) para o ano agrícola 90/91, baseado nos dados da Estação Experimental do Instituto Agrônomo, Campinas - SP (Quadro 9, Apêndice). Entre os meses de novembro/90 e janeiro/91 ocorreu uma deficiência hídrica, mas que não chegou a afetar o desenvolvimento das plantas no primeiro período devido à irrigação de plantio. Os excedentes hídricos observados entre os meses de fevereiro e junho são atípicos pela duração e intensidade.

A floração da segunda época de plantio foi antecipada em relação ao observado no primeiro plantio, resultando em um período total de desenvolvimento mais curto. O menor crescimento das plantas observado no segundo período deve ser atribuído à antecipação da floração e à menor quantidade de radiação incidente durante o desenvolvimento (Quadro 10, Apêndice). A condição térmica das duas épocas de plantio só teve diferenças marcantes na fase final do segundo plantio. Os valores acumulados de graus-dias, calculados para uma temperatura de base de 14°C (Camargo, 1984), foram paulatinamente menores, quando comparados a uma duração de cultura equivalente no primeiro plantio (Quadro 10, Apêndice). O menor crescimento das plantas durante o segundo período possibilitou uma maior quantidade de repetições.

No plantio, as duas fases se distinguiram em relação aos procedimentos empregados para o estabelecimento de um "stand" uniforme. No primeiro período o plantio foi manual. As linhas de plantio foram riscadas e as sementes foram dispostas nos sulcos a distâncias especificadas com o auxílio de gabaritos. Na segunda época o plantio foi mecanizado, com um excesso de sementes em re-

lação ao planejamento inicial. Após a germinação a quantidade de plantas foi reduzida por raleamento à densidade pré-determinada.

A quantidade de plantas coletadas e a frequência entre amostragens variou ao longo do experimento. Durante a primeira fase as coletas se iniciaram com 20 plantas sendo paulatinamente reduzidas conforme o tempo gasto para a medição dos dados. O número mínimo de plantas coletadas em uma amostragem foi 5. As plantas foram coletadas nas proximidades de um ponto escolhido ao acaso dentro da área experimental. Após o início do florescimento, decidiu-se diminuir a frequência de coletas a duas por semana, para garantir um número maior de repetições em cada coleta (8-12). Simultaneamente, o grau de detalhamento dos ramos passou do nível 3a para 2a.

A segunda fase de plantio foi caracterizada por condições mais uniformes de coleta de dados. A frequência de coleta dos dados foi mantida, com uma única exceção, em dias alternados. No início eram coletadas 30 plantas nas redondezas de um único ponto. Com o fechamento do "stand" passou-se a coletar todas as plantas de 0.5 m lineares em 4 pontos distintos, das quais 6 eram selecionados ao acaso para o processamento. Em decorrência da experiência obtida na primeira fase, as coletas foram conduzidas até o início do período reprodutivo ao nível 3a para o eixo principal e ao nível 2a para os ramos. Após o início do período reprodutivo, amostragens alternadas eram processadas ora ao nível 1a ora seguindo o esquema descrito acima.

Os dados agrometeorológicos correspondentes às duas épocas de plantio estão listados no Quadro 10 (Apêndice). Os dados de temperatura e precipitação são oriundos do posto meteorológico da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI - UNICAMP) localizada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude - $22^{\circ} 48' S$, longitude - $47^{\circ} 03' W$ e altitude de 640 m. A radiação global (RG) foi registrada por um piranômetro com registrador LI-200SB, LI-COR, ao passo que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) por um quantômetro LI-190SB, LI-COR. Os dados de radiação foram armazenados para coleta periódica num "data logger" LI-1000, LI-COR. Os dois sensores de

radiação foram instalados no topo do prédio do CPQBA, a aproximadamente 500 m do local do ensaio, onde estiveram protegidos de qualquer interferência. O cálculo dos graus-dias se baseou numa temperatura de base de 14°C, o que corresponde a um valor médio para diversos cultivares de soja (Camargo et al., (1984)).

3.2.4.3. Procedimentos de coleta de dados

As plantas foram coletadas no campo ao alvorecer, levadas ao laboratório, lavadas e separadas em seus componentes segundo o esquema discutido acima.

A área foliar foi determinada com o auxílio de um medidor de área foliar LI-3000, LI-COR (nível de precisão : 0,1 cm²). A área foliar era medida a partir do momento em que a folha trifoliada se encontrava totalmente expandida. (Durante a primeira fase experimental, nos primeiros 20 dias de coleta o medidor de área foliar não esteve disponível.) Todas as folhas tiveram o comprimento do limbo do folíolo central medido com o auxílio de régua (nível de precisão: 1 mm). Ao limbo das folhas foi atribuído um índice visual de dano foliar para representar injúrias causadas ou por praga desfolhadora, ou por senescência. Quando o desenvolvimento da folha era suficiente para permitir a clara distinção entre limbo e pecíolo, eles eram separados.

A classificação das folhas ao longo de um eixo (eixo principal ou ramo) foi feita em ordem crescente da base para o topo. No eixo principal o nó 1 correspondia às folhas cotiledonares e o nó 2 às folhas unifolioladas. A combinação do número do nó de inserção com o comprimento do limbo central das folhas mais apicais foi usada para a determinação do IP. O referencial "zero" para essa escala foi o comprimento de 25 mm das folhas unifolioladas (Vendeland et al., 1982). No caso dos ramos essa regra se aplica à primeira folha. No segundo período a contagem da escala do IP se inicia com o valor "1" (primeira folha trifoliolada com 25 mm). O valor do IP foi calculado com base na fórmula apresentada no item 2.4. e determinado para plantas e ramos.

Cada componente foi levado para secagem em estufa a 70-80°C por pelo menos 48 horas. O peso de matéria seca foi determinado em seguida. Materiais muito pequenos foram pesados com precisão de 0,001 g e matérias maiores com precisão de 0,01 g.

Plantas ou ramos que apresentaram claros indícios de distorções em relação ao padrão geral foram eliminados das respectivas amostragens. Essas distorções eram essencialmente de dois tipos: plantas com claros sintomas de virose (mal-formadas, raquíticas, com folhas amareladas e engruvinhadas) e plantas ou ramos cujo meristema apical fora danificado, apresentando porção significativa senescida ou, então, abundante ramificação abaixo do nó danificado.

A quantidade de órgãos reprodutivos (flores e vagens) foi registrada em termos de números por planta.

3.2.5. Representação e análise dos dados

A partir dos dados obtidos nas amostragens foi possível formar um amplo conjunto de lotes de dados que representam a base para a aplicação das metodologias analíticas disponíveis na literatura. Os dados primários obtidos nas amostragens foram combinados para formarem os dados dos diversos níveis de organização em um programa desenvolvido para este fim e que também incorpora estruturas rudimentares para a representação dos dados, possibilitando uma avaliação preliminar.

O primeiro passo analítico foi a representação gráfica dos dados não transformados, a partir da qual podem ser tomadas decisões a respeito de procedimentos analíticos e estatísticos. A transformação logarítmica foi realizada com vistas à análise estatística.

Os procedimentos estatísticos empregados na análise são estruturas de regressão linear e não-linear oriundas essencialmente do pacote estatístico SAS (SAS Institute Inc., 1985), rodado num computador IBM 3090 do Centro de Computação da UNICAMP. A escolha recaiu sobre este sistema devido à "interface" de programação que facilita o processamento simultâneo de grande quantidade de dados,

além da amplitude dos recursos disponíveis.

Os modelos escolhidos para os ajustes de curva foram a equação de Richards (Richards, 1959; Nelder, 1961; Causton & Venus, 1981) e a equação polinomial exponencial cúbica (Hughes & Freeman, 1967; Hunt & Parsons, 1974 e 1977; Draper & Smith, 1981, Hunt, 1982 (b)). A equação de Richards foi escolhida porque:

- as características do crescimento geram a expectativa de que um modelo não-linear seja mais adequado para a sua descrição do que os modelos polinomiais (Gallant, 1987);
- a forma é sigmóide, sugerindo identificação com a curva de crescimento 'S' (Obrucheva & Kovalev, 1979, Quadro 6);
- é a generalização de três outras equações: monomolecular, logística e Gompertz;
- a introdução do quarto parâmetro flexibiliza a forma da curva (Causton & Venus, 1981, Draper & Smith, 1981, Hunt, 1982 (b));
- além da utilização dos modelos sigmóides em uma série de trabalhos (Richards, 1959; Nelder, 1961; Causton, 1969; Venus & Causton, 1979 (a),(b); Causton & Venus, 1981; Ratkowsky, 1983), uma compilação de trabalhos (Hunt, 1982 (b)) relata a sua aplicabilidade a dados dos níveis 1a, 2, 2a e 3a;
- apresenta um amplo corolário formal (Richards, 1959; Causton & Venus, 1981) para a interpretação dos seus parâmetros;

A equação polinomial exponencial cúbica foi usada porque:

- o seu uso para dados de crescimento é muito comum (Hughes & Freeman, 1967; Hunt & Parsons, 1974 e 1977; Hunt, 1982 (b));
- limitações conceituais intrínsecas, como o comportamento de grandezas derivadas (Venus & Causton, 1979 (b); Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)) não invalidam a freqüente obtenção de uma descrição consistente dos dados primários;
- a equação polinomial cúbica também tem quatro parâmetros;
- a equações polinomial cúbica é a de mais baixo grau que tem um ponto de inflexão (Causton & Venus, 1981, Draper & Smith, 1981, Hunt, 1982 (b)), o que flexibiliza a forma;

Os recursos analíticos empregados são estruturas de regressão linear e não-linear, acompanhadas por elementos de diagnose que

permitem a avaliação da sua qualidade e são : coeficiente de determinação (Draper & Smith, 1981), resíduos temporais e baseados nas estimativas do ajuste e intervalos de confiança (Bard, 1974; Venus & Causton, 1979 (a); Daniel & Wood, 1980; Draper & Smith, 1981)

$$IC = E(Y) \pm \sqrt{\text{var}(Y) \times F[P, N-P, 1-\alpha]}$$

IC	- intervalos de confiança
E(Y)	- estimativa de Y
var(Y)	- variância de Y
P	- número de parâmetros do modelo
N	- número de pontos usados no ajuste

A forma da taxa de crescimento relativo (TCR) também é um diagnóstico importante. Ela indica a adequação biológica do ajuste (Hunt, 1982 (b)). Numericamente a TCR corresponde à primeira derivada temporal da forma logarítmica da equação usada no ajuste. Para os ajustes de equações lineares as estimativas dos parâmetros podem ser usados diretamente na equação da TCR (Hunt & Parsons, 1974 e 1977). No caso do ajuste de equações não-lineares o cálculo de parâmetros secundários, como o da TCR, exige o uso de uma fórmula de aproximação, pois as estimativas dos parâmetros não são precisos (Causton & Venus, 1981). A sua forma geral é

$$E \{f(x_1, \dots, x_k)\} \approx f(\theta_1, \dots, \theta_k) + \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^k \{f'_{ii}(\theta)\} \times \text{var}(x_i) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \{f''_{ij}(\theta)\} \times \text{covar}(x_i, x_j)$$

$E \{f(x_1, \dots, x_k)\}$	- estimativa da função f com os parâmetros $x_1, \dots, x_k$
$\theta_1, \dots, \theta_k$	- estimativas dos parâmetros $x_1, \dots, x_k$
$f'_{ii}(\theta)$	- derivada parcial primeira de f em relação a x_i
$\text{var}(x_i)$	- variância do parâmetro x_i
$f''_{ij}(\theta)$	- derivada parcial segunda de f em relação aos parâmetros x_i e x_j
$\text{covar}(x_i, x_j)$	- covariância dos parâmetros x_i e x_j

Os dados foram transformados antes das análises de regressão nos seus logaritmos neperianos. Isso teve como objetivo a redução da heterocedasticidade e a simplificação da forma dos modelos empregados.

Entre os procedimentos de regressão aplicados, a regressão não-linear merece alguns comentários.

O funcionamento adequado de uma estrutura de regressão não-linear depende essencialmente da definição prévia de estimativas iniciais adequadas para os parâmetros do modelo (Causton, 1969; Bard, 1974; Daniel & Wood, 1980; Kennedy & Gentle, 1980; Causton & Venus, 1981; Draper & Smith, 1981; Ratkowski, 1983; Bates & Watts, 1988;). O uso de valores inadequados pode ter duas conseqüências para a análise: ou o processo iterativo não converge ou converge para resultados inadequados, num mínimo local.

O SAS oferece uma alternativa que procura entre uma série de valores sugeridos, qual o conjunto de estimativas de parâmetros que representa a menor soma de quadrados dos resíduos e as incorpora em sua primeira iteração. Esse procedimento não resultou em bons resultados para a equação de Richards.

Na literatura existem procedimentos descritos para a determinação de estimativas iniciais dos parâmetros para a equação de Richards (Causton, 1969, Ratkowski, 1983). Esses procedimentos são empíricos e dependem de uma interpretação gráfica dos dados que são utilizados na regressão. Não há garantia de que se obtenham estimativas iniciais adequadas (Causton & Venus, 1981), pois é exigida a localização empírica e precisa de pontos da equação apenas por investigação visual dos dados representados graficamente (Ratkowski, 1983).

Alternativamente, é descrito um procedimento de determinação automática dos parâmetros iniciais (Causton & Venus, 1981). O algoritmo desse método se baseia na forma logarítmica da equação de Richards

$$\ln y = \alpha - \frac{1}{\eta} (1 + \exp(\beta + \kappa))$$

Se os parâmetros ' β ' e ' κ ' forem fixados, a equação acima se reduz a uma equação linear. A procura de valores iniciais nada mais é do que a formação sistemática de pares de dados ' β ' e ' κ ', determinação de ' α ' e ' η ' por regressão linear e teste de precisão baseado na soma de quadrados dos resíduos.

O algoritmo foi implementado e executado para cada um dos lotes de dados usados no ajuste da equação de Richards. Os valores obtidos foram transferidos para o módulo de execução da regressão não-linear do SAS como estimativas iniciais dos parâmetros.

O conjunto de instruções para procedimentos não-lineares que melhor se adequou para o ajuste da equação de Richards no presente caso foi o seguinte:

- critério de convergência :

$$\frac{(SQE^{i-1} - SQE^i)}{(SQE^i + 10^{-6})} < 10^{-3}$$

SQE = soma de quadrados do erro
 i = número da iteração

- método de iteração : Marquardt;

- número limite de iterações : 200;

Dois tipos de regressores ou variáveis independentes foram utilizados nos modelos: o tempo cronológico (TC) e o índice de plastochron (IP). Os lotes de dados usados para a análise foram produzidos a partir das amostragens listada nos Quadros 11 e 12 (Apêndice) e estão caracterizados a seguir:

- dados foliares - 3a:

As plantas emitiram no máximo 26 e 16 folhas no eixo principal, respectivamente, no primeiro e no segundo período de plantio. Em cada folha foram considerados três tipos de dados: área

foliar, matéria seca do limbo e total. A análise foi feita para todas as folhas trifolioladas com quantidades suficientes de repetições (folhas 3 a 21, primeiro período, e folhas 3 a 14, segundo período).

As folhas dos ramos não foram analisadas, apesar de disponíveis no primeiro período, devido à grande heterogeneidade e à pequena quantidade de repetições.

- dados de ramos - 2a:

Os dados de ramos foram analisados em termos dos componentes folhagem, caule e porção reprodutiva.

Durante as coletas de dados de ramos, as características de formação redundaram em freqüentes perdas de dados. A formação dos ramos ocorreu em instantes bastante distintos entre ramos de nós diferentes ou mesmo para ramos do mesmo nó em plantas distintas. A grande disparidade nas dimensões dos dados provocou confusão entre dados e o descarte foi preferido a incorrer em erros amostrais que posteriormente não mais seriam detectáveis.

A análise foi feita apenas com dados do primeiro período para os ramos individuais inseridos nos nós 4 a 9 do eixo principal e para um lote formado por todos os ramos, independentemente do nó de inserção.

- dados de planta - 1a e 2:

A área foliar, a matéria seca das folhas, do caule, da porção reprodutiva e total foram avaliadas para a planta toda e para os seus componentes no eixo principal e no conjunto dos ramos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise Qualitativa dos Dados

4.1.1. Dados de planta - níveis 1a e 2

4.1.1.1. Escala de tempo cronológico

Nas Figuras 2 a 4 encontram-se os gráficos de área foliar e matéria seca foliar, de caule, de vagens e total, baseados na escala de TC. Correspondem, respectivamente, aos dados do eixo principal, conjunto de ramos e planta. Os gráficos A a E representam o 1º período de plantio, ao passo que F a J o 2º.

A comparação dos resultados entre as duas épocas de plantio indica um melhor desenvolvimento na primeira, os ciclos das culturas durando 137 e 109 dias, respectivamente.

A floração correspondente ao primeiro período, semeado a 20/11/1990, se iniciou aos 58 dias e pode ser subdividida em quatro fases, cada uma com duração aproximada de uma semana. A primeira fase é caracterizada por um lento estabelecimento da floração, sendo seguida por outra com rápido aumento na quantidade de flores produzidas. Na terceira, a produção de flores se estabiliza num patamar elevado e, na fase final, se observa uma rápida queda no número de flores novas.

No segundo período, semeado a 25/02/1991, as primeiras flores são observadas 47 dias após o plantio. A duração da floração é longa, persistindo até o 83º dia. A porção preponderante da produção floral se concentra no início deste intervalo, com a produção máxima se estabelecendo nos primeiros 7 dias e declinando rapidamente para valores baixos nos 10 dias subseqüentes.

As diferenças na duração do ciclo cultural se devem à combinação da duração do período vegetativo e do período de formação floral efetivo.

Os dados de eixo principal no primeiro período (Figura 2, gráficos A a E) mostram um padrão compacto e consistente antes da floração e uma crescente dispersão em direção ao final do período. Os dados de ramos (Figura 3, gráficos A a E) são bastante dispersos durante todas as fases do desenvolvimento. Os dados de plantas

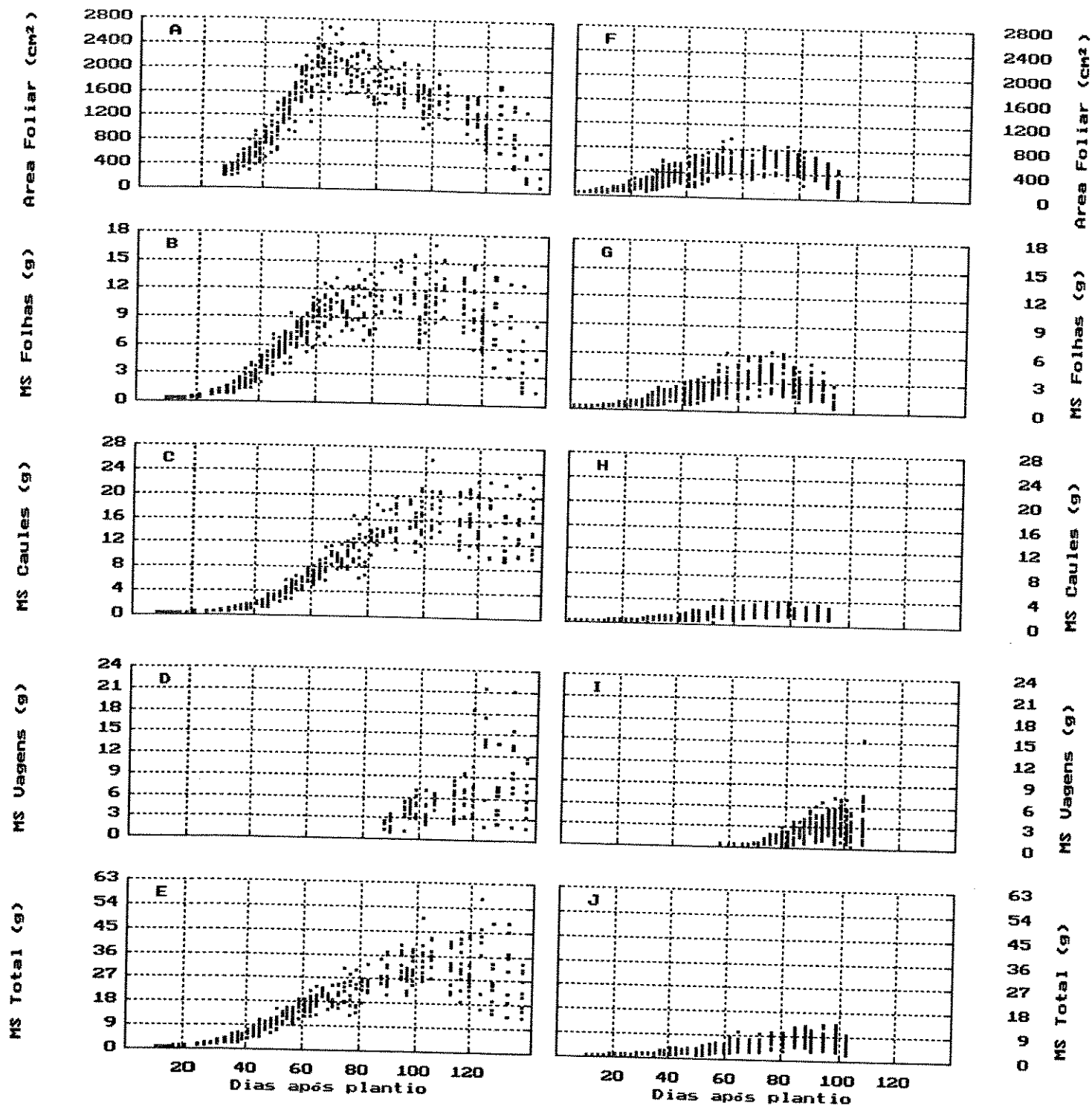


FIGURA 2. Crescimento de componentes do eixo principal (nível 2). Dados do 1º (A - E) e 2º (F - J) períodos de plantio, com base na escala de tempo cronológico.

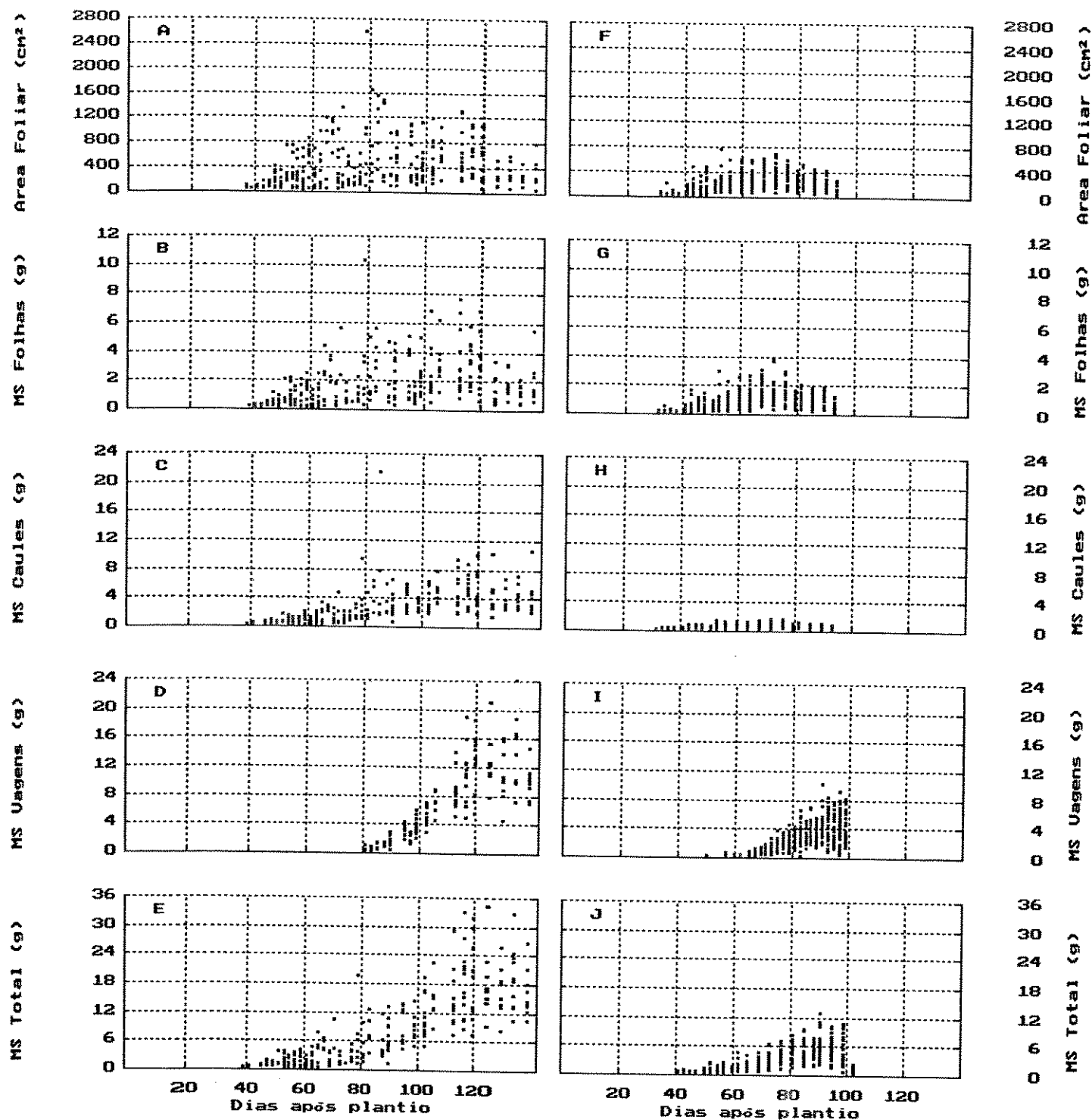


FIGURA 3. Crescimento de componentes do conjunto de ramos (nível 2). Dados do 1º (A-E) e 2º (F-J) períodos de plantio, com base na escala de tempo cronológico.

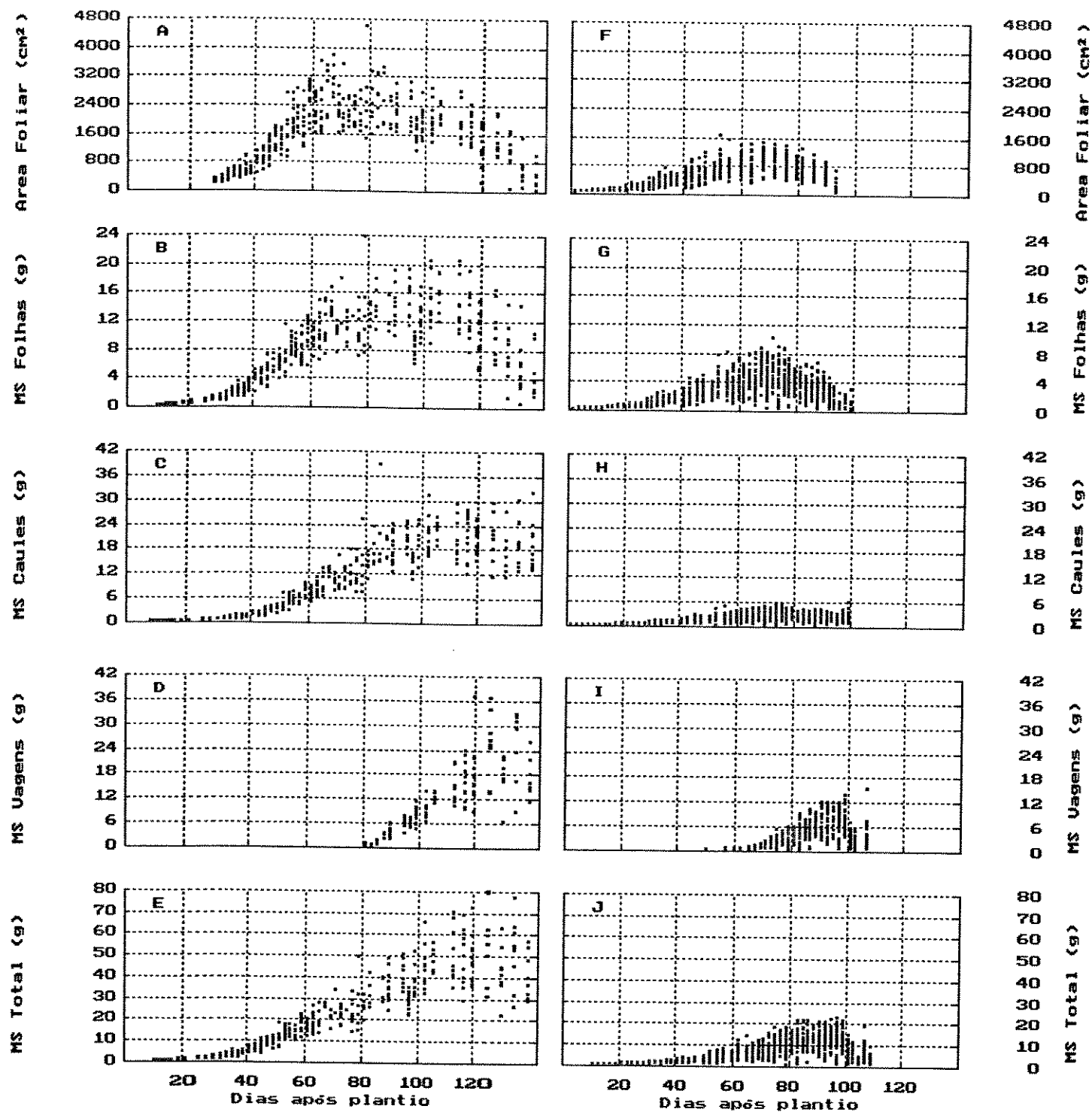


FIGURA 4. Crescimento dos componentes da planta (nível 1a). Dados do 1º (A - E) e 2º (F - J) períodos de plantio, com base na escala de tempo cronológico.

(Figura 4, gráficos A a E) refletem a combinação destes dois padrões, o que pode ser exemplificado pela área foliar que tem um máximo identificável no eixo principal, mas que se dilui quando é considerada a planta toda.

Os dados do segundo período nos três segmentos - eixo principal, conjunto de ramos e planta, respectivamente nas Figuras 2 a 4 (gráficos F a J) - apresentam um aspecto mais compacto que o correspondente do primeiro período, apesar do maior número de repetições. Principalmente o padrão bastante disperso dos ramos no primeiro período não se repete.

A disparidade na amplitude dos dados entre as duas épocas pode ser associada a um conjunto de causas. No segundo período o início da ramificação foi bastante próximo ao início da floração, provocando uma duração efetiva de formação e crescimento curta. A fração dos ramos no total da planta é pequena e, conseqüentemente, o efeito sobre a dispersão nos dados é pequeno. A antecipação da floração e o crescimento menor das plantas contribui para uma competição menor e um desenvolvimento mais uniforme das plantas.

Durante o primeiro período ocorreu uma infestação do percevejo marrom (*Nezara viridula*), que provoca abscisão e má-formação de órgãos reprodutivos (Gazzoni, 1981). Isso contribuiu para a grande variabilidade dos dados de acúmulo de matéria seca, principalmente em folhas e vagens. Também foi observada uma diminuição não proporcional da área em relação à matéria seca foliar, no eixo principal e na planta. A maior desuniformidade e persistência dos valores dos dados de matéria seca foliar, em relação aos de área, pode estar indicando um acúmulo do material assimilado nas fontes, por falta de demanda dos drenos (Mondal et al., 1978; Herold, 1980; Dayde & Ecochard, 1984; Carlson & Brun, 1985; Egli et al., 1985 (a) e (b)).

Em ambos os períodos o acúmulo de matéria seca de vagens é aproximadamente igual no eixo principal (Figura 2, gráficos D e I) e nos ramos (Figura 3, gráficos D e I), ao passo que o acúmulo de matéria seca nas folhas (Figuras 2 e 3, gráficos B e G) e no caule (Figuras 2 e 3, gráficos C e H) é sempre maior no eixo principal.

Essa observação pode estar indicando uma maior adequação fisiológica dos ramos para a formação de elementos reprodutivos. A avaliação dessa característica pode ser feita com o auxílio de relações alométricas e parâmetros secundários de crescimento.

A relação alométrica entre matéria seca total e de vagens mostra que: (a) a associação é mais consistente - ou menos dispersa - nos ramos (Figura 5, gráficos F,H) do que no eixo principal (Figura 5, gráficos E,G); (b) para valores fixos da matéria seca total os ramos apresentam valores maiores da matéria seca de vagens que o eixo principal. Se a translocação de material assimilado é preponderantemente a curta distância na planta de soja (Mori et. al, 1985), então a diferença na produtividade de matéria seca de vagens entre ramos e eixo principal pode ser explicada por uma maior eficiência de assimilação ou pelo uso mais eficiente dos assimilados. A relação alométrica entre a matéria seca total e a matéria seca dos caules (Figura 5, gráficos A a D) mostra que o investimento da planta em material estrutural é proporcionalmente maior no eixo principal (Figura 5, gráficos A e C) que nos ramos (Figura 5, gráficos B e D). Os ramos apresentam, portanto, uma maior eficiência na produção reprodutiva.

A área foliar específica (AFE) no eixo principal é decrescente em ambos os períodos (Figura 6, gráficos A e C), mas nos ramos apenas no primeiro (Figura 6, gráficos B e D). Os valores observados tendem a ser maiores nos ramos do que no eixo principal. Em contrapartida, não existem grandes diferenças entre as razões de peso foliar (RPF) do eixo principal (Figura 6, gráficos E e G) e dos ramos (Figura 6, gráficos F e H), apesar das diferenças entre os períodos.

As folhas de ramos se formaram num ambiente luminoso mais sombreado, devido à presença das folhas do eixo principal, que se desenvolveram sob plena luz. Nos ramos foi comum a observação de folhas mal-formadas, cujos folíolos eram desproporcionais entre si na forma e no tamanho. Essa característica foi mais comum nas folhas iniciais e pode ter sido reflexo de um suprimento deficiente de assimilados para o desenvolvimento ao nível meristemático

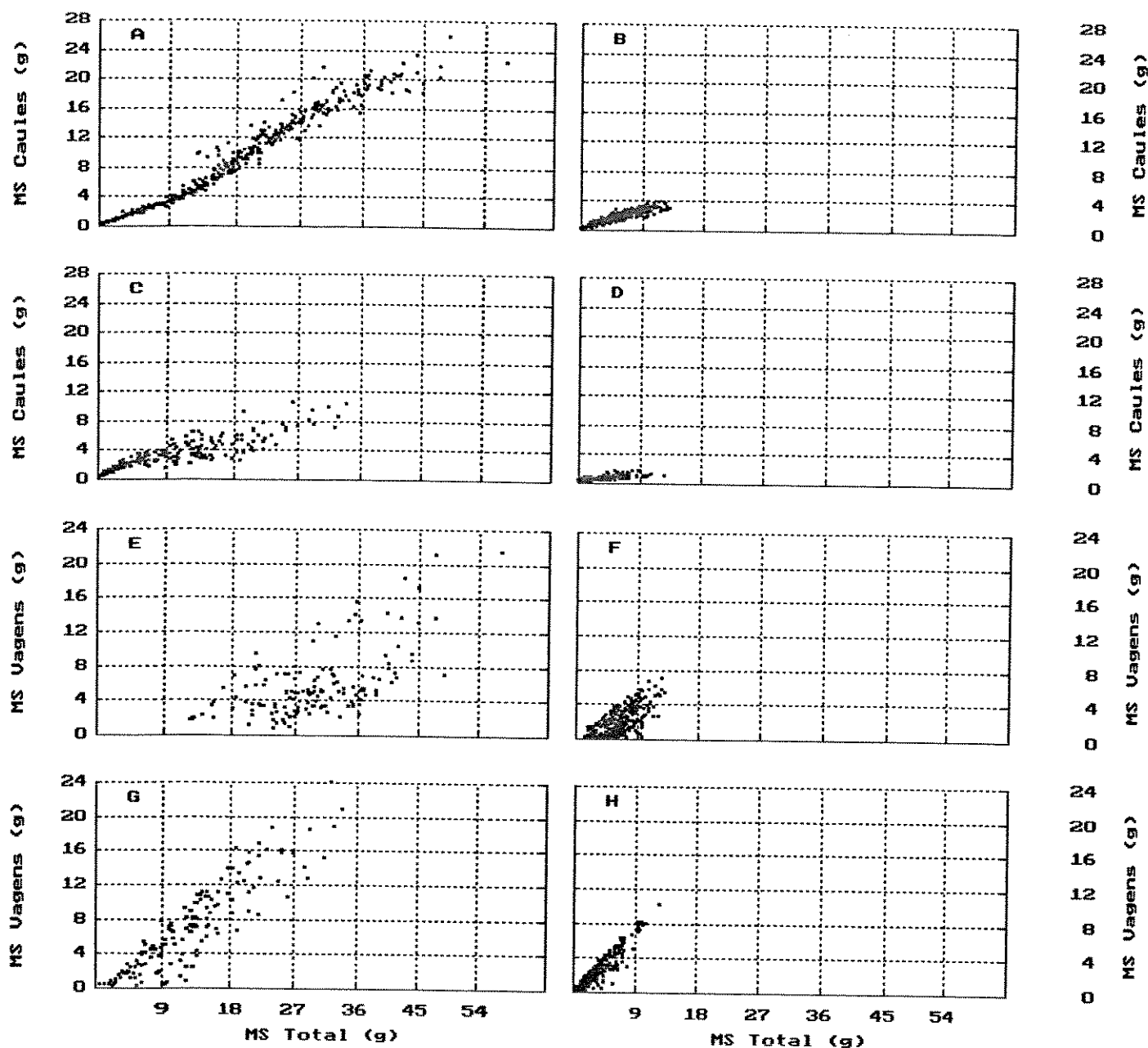


FIGURA 5. Relações alométricas da matéria seca total com a matéria seca de caules (A - D) e vagens (E - H). Dados do 1º (A,B,E,F) e 2º (C,D,G,H) períodos de plantio, no eixo principal (A,C,E,G) e no conjunto dos ramos (B,D,F, H).

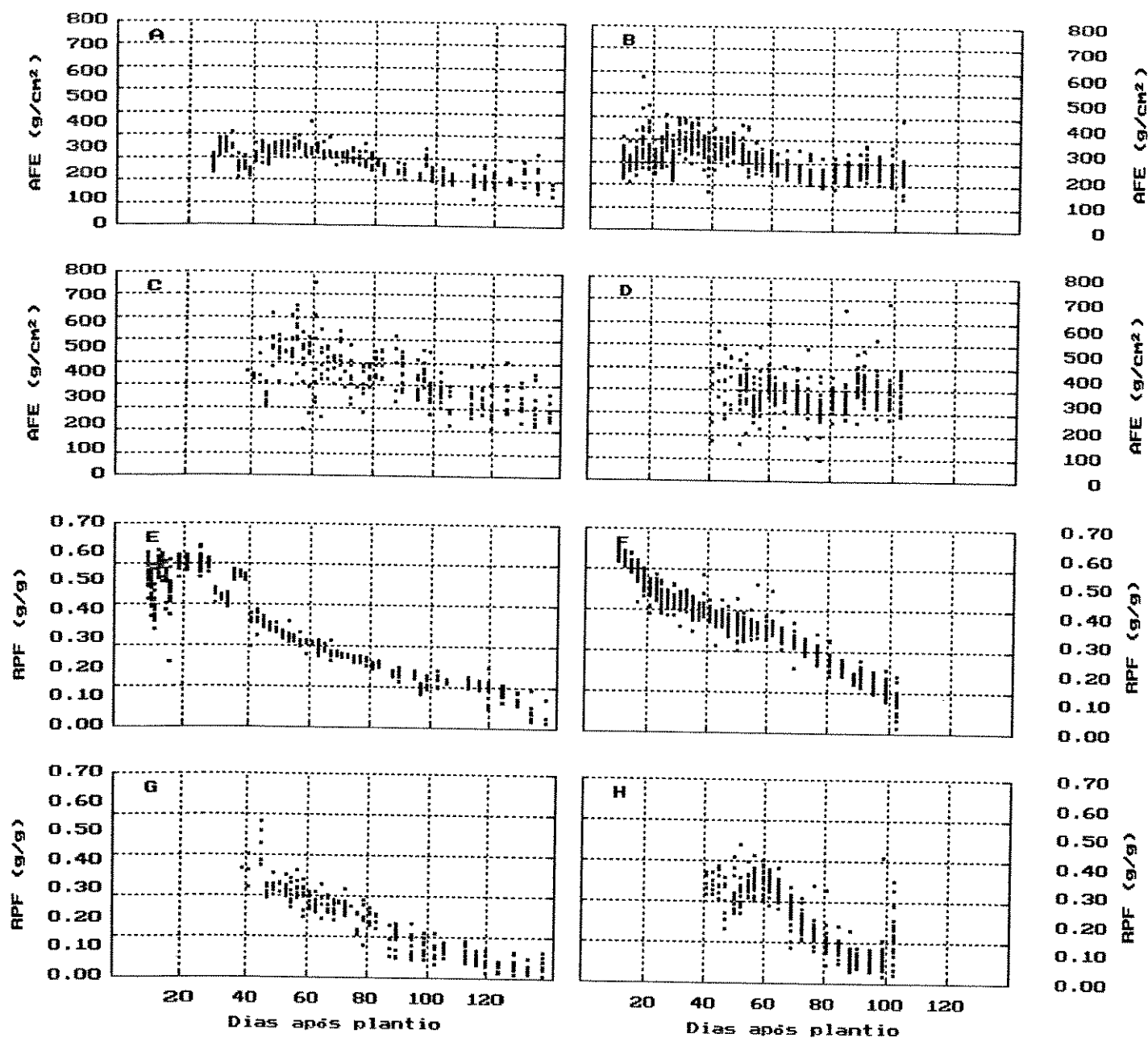


FIGURA 6. Área foliar específica (AFE, A - D) e razão de peso foliar (RPF, E - H). Dados do 1º (A,B,E,F) e 2º (C,D,G,H) períodos de plantio, no eixo principal (A,C,E,G) e no conjunto dos ramos (B,D,F,H).

(Barthou & Buis, 1987; Buis et al., 1987).

A maior produtividade de vagens nos ramos está associada às seguintes características:

- maior AFE, característica de adaptação ao ambiente luminoso (Evans, 1972); a RPF que normalmente é mencionada como sendo fator diferenciador da produtividade (Evans, 1972) não mostra diferenças entre eixo principal e ramos;
- maior investimento reprodutivo;
- menor investimento estrutural;

4.1.1.2. Escala de tempo baseada no índice de plastochron

Nas Figuras 7 a 9 encontram-se os gráficos para área foliar, matéria seca foliar, de caule e total na escala de tempo baseada no IP. Correspondem, respectivamente aos dados do eixo principal, conjunto de ramos e planta. Os gráficos A a D correspondem ao primeiro período de plantio e os gráficos E a H ao segundo.

O fato mais evidente é a baixa representatividade dos dados de ramos pela escala do IP, em oposição a uma representação muito mais consistente dos dados de eixo principal, quando comparados aos dados na escala de TC (Figuras 2 a 4). Os dados de planta refletem a combinação destes dois padrões, na medida em que a introdução dos ramos amplia a dispersão observada no eixo principal. A dispersão introduzida pelos ramos nos dados de planta do segundo período é limitada, pois a sua formação foi tardia em relação ao valor máximo do IP.

A agregação dos dados do eixo principal e das plantas ao redor de um padrão claro, produzido pelo uso do IP, demonstra a ação de um relógio de desenvolvimento interno das plantas (Ritterbusch & Wunderlin, 1989; Ritterbusch, 1989, 1990 (a) e (b)), que predomina enquanto o crescimento é determinado preponderantemente pelo meristema apical do eixo principal. Os dados também evidenciam que o desenvolvimento vegetativo da planta no segundo período cessou com um tamanho final menor.

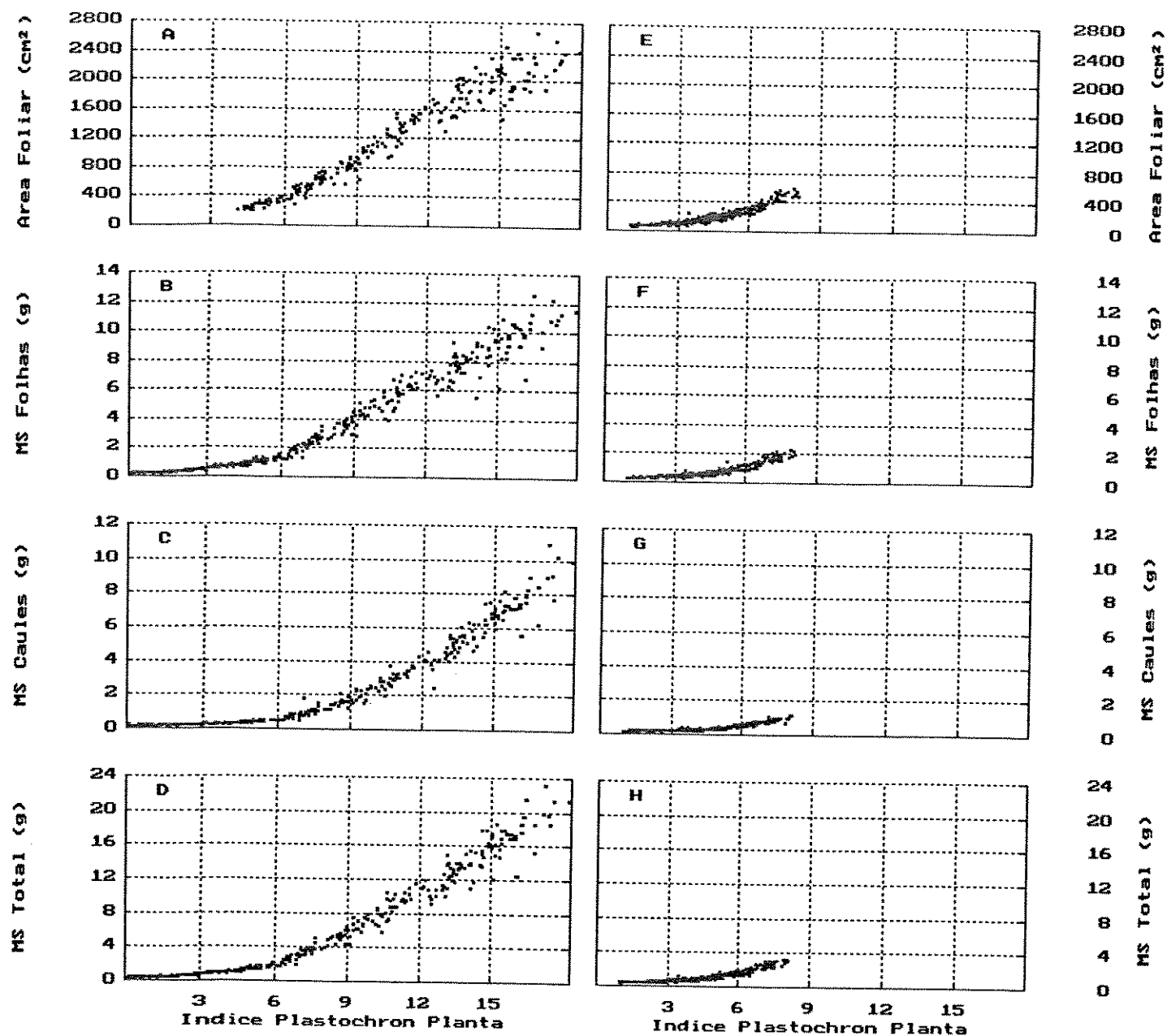


FIGURA 7. Crescimento de componentes do eixo principal (nível 2). Dados do 1º (A - D) e 2º (E - H) períodos de plantio, com base na escala do índice de plastochron.

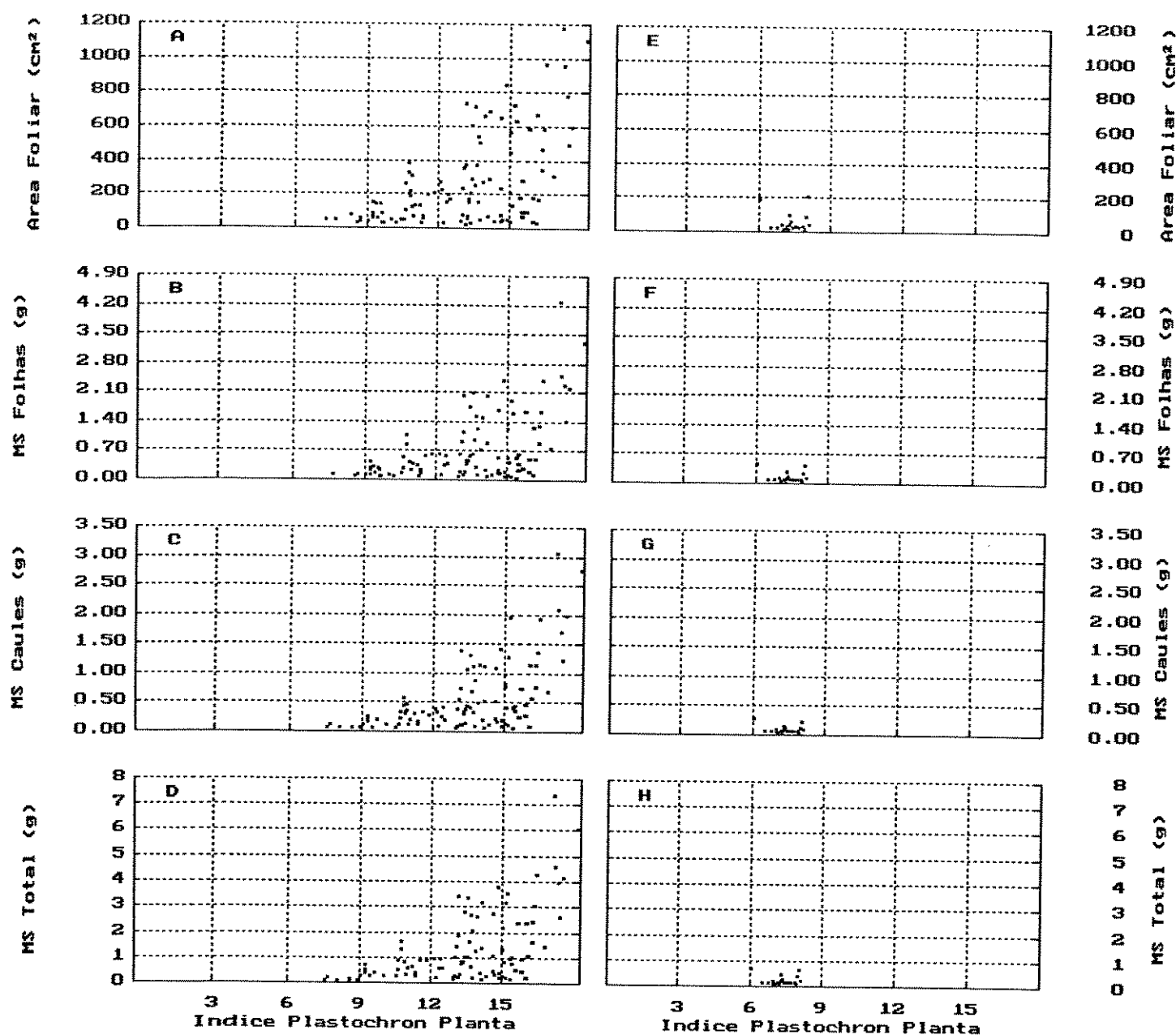


FIGURA 8. Crescimento de componentes do conjunto de ramos (nível 2). Dados do 1º (A - D) e 2º (E - H) períodos de plantio, com base na escala do índice de plastochron.

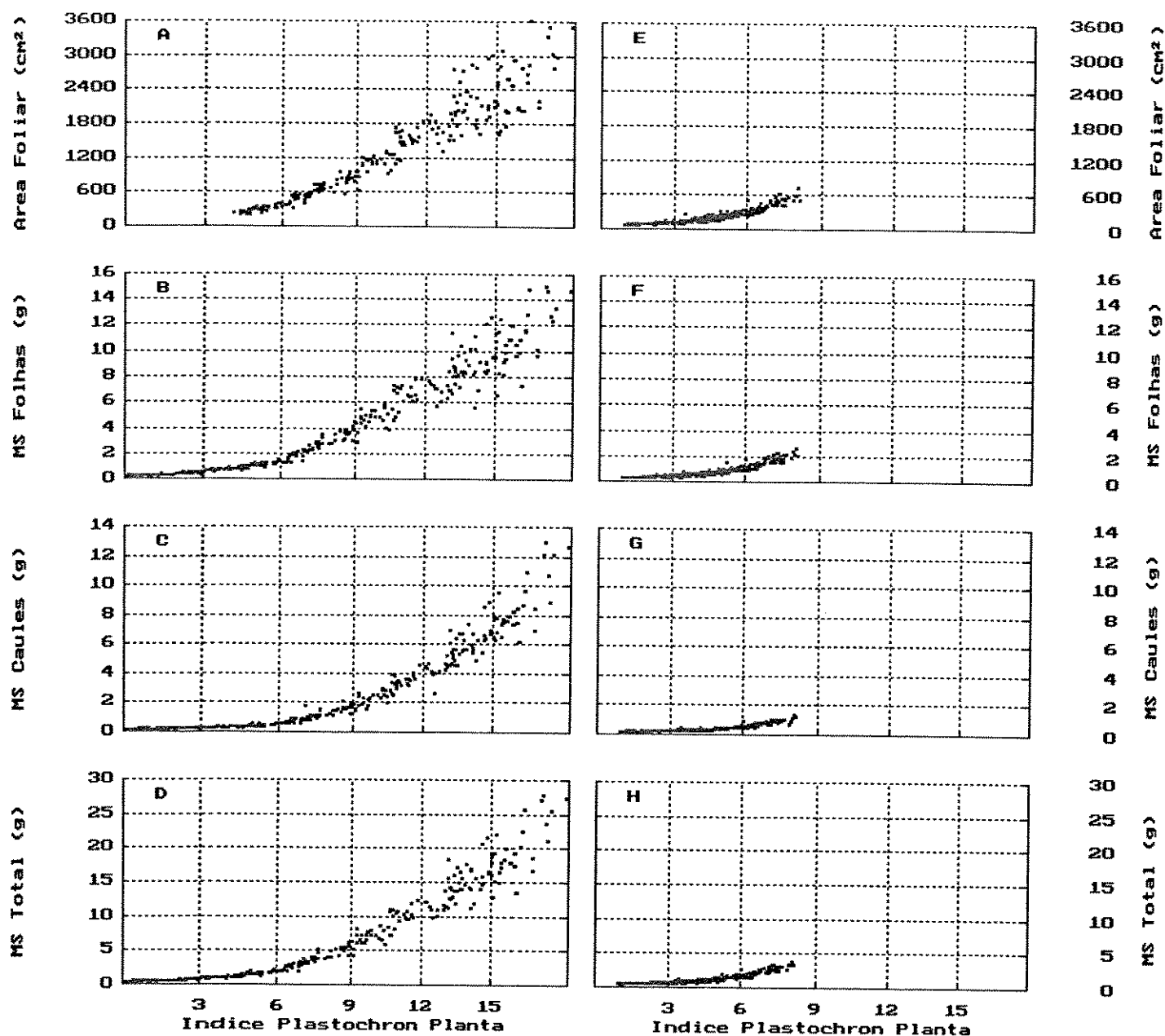


FIGURA 9. Crescimento dos componentes da planta (nível 1a). Dados do 1º (A - D) e 2º (E - H) períodos de plantio, com base na escala do índice de plastochron.

4.1.2. Dados de ramos - nível 2a

Na Figura 10 são vistos os gráficos dos dados da matéria seca total do ramo que se insere no sexto nó do eixo principal, para as escalas de TC (A), baseada no IP da planta (B) e baseada no IP do ramo (C). Eles representam o padrão geral que se repete nos demais ramos.

A única escala que apresenta um padrão razoavelmente consistente é a baseada no IP do ramo, apesar da pequena quantidade de dados. À semelhança do efeito do IP da planta sobre os dados de eixo principal e planta (Figuras 7 e 9), o IP do ramo só engloba uma fração diminuta do desenvolvimento do ramo, aproximadamente um terço do valor máximo.

Os dados na Figura 10 demonstram que cada ramo tem um relógio interno de marcação do seu tempo fisiológico (Ritterbusch, 1989), independente do da planta. Essa constatação pode explicar algumas das observações relacionadas ao desenvolvimento das plantas nos níveis 1a e 2. A variabilidade dos dados do conjunto de ramos de uma planta (Figuras 3 e 8) decorre do ritmo individual e não sincronizado dos ramos. A falta de sincronização no desenvolvimento dos ramos justifica a inadequação do IP da planta para a sua representação e explica a maior dispersão dos dados de planta quando comparados aos do eixo principal nas duas escalas de tempo estudadas.

4.1.3. Dados foliares - nível 3a

Nas Figuras 11 e 12 estão representados exemplos de acúmulo de matéria seca em folhas do eixo principal. Os gráficos A,B,C e D correspondem à escala de TC, ao passo que E,F,G e H ao IP da planta. Na Figura 11 estão representadas as folhas 4 (gráficos A e E), 8 (gráficos B e F), 12 (gráficos C e G) e 16 (gráficos D e H) do primeiro período. Na Figura 12 estão representadas as folhas 4 (gráficos A e E), 6 (gráficos B e F), 8 (gráficos C e G) e 10 (gráficos D e H) do segundo período.

Na escala de TC a dispersão dos dados foliares é acentuada em

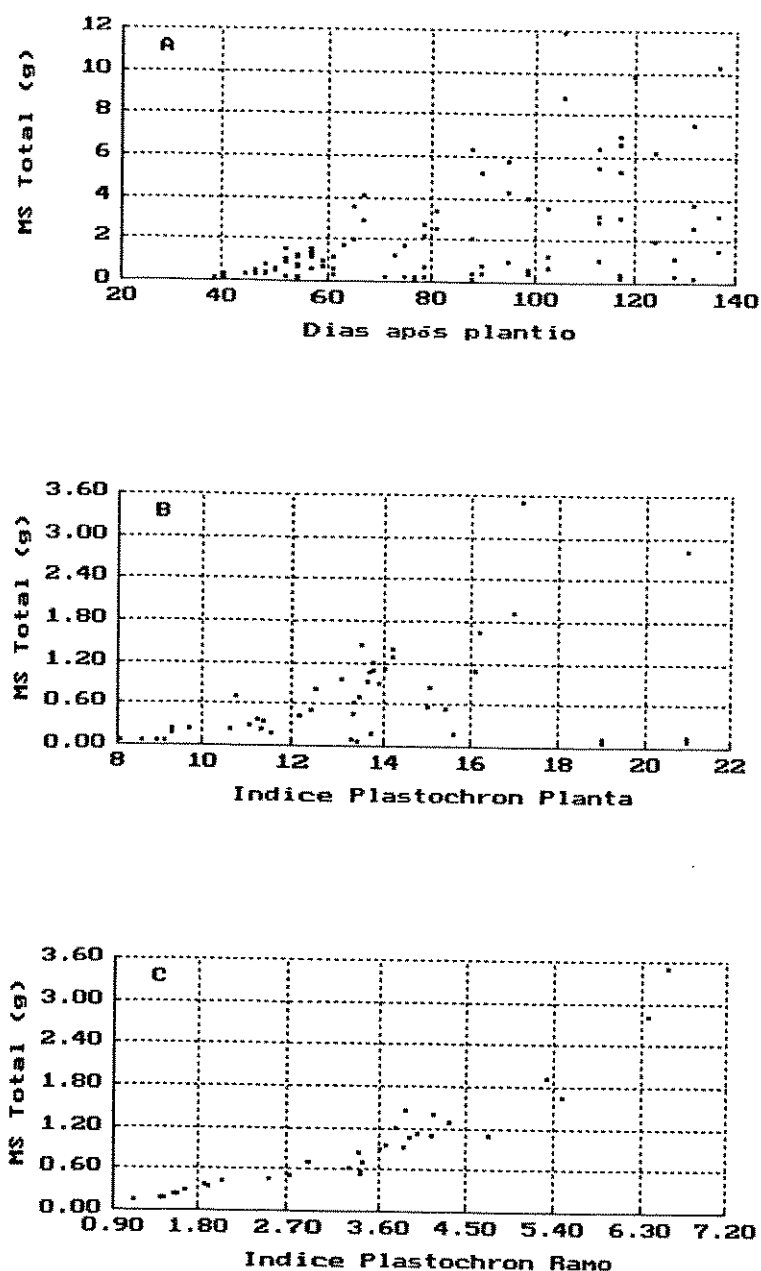


FIGURA 10. Acúmulo de matéria seca no ramo 6 (1º período, nível 2a), em termos das escalas de tempo cronológico (A), baseada no índice de plastochron da planta (B) e baseada no índice de plastochron do ramo (C).

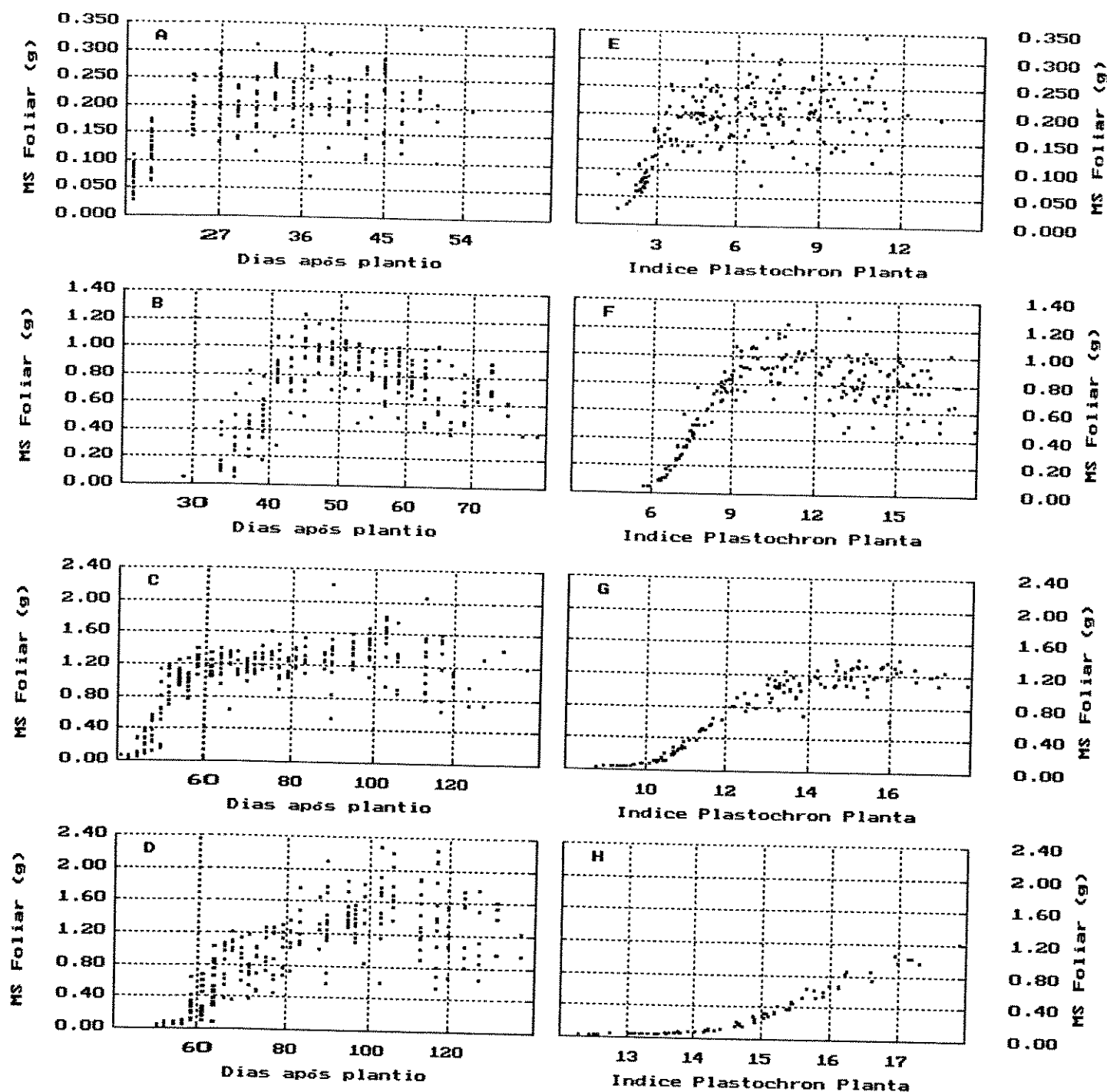


FIGURA 11. Acúmulo de matéria seca nas folhas 4 (A,E), 8 (B,F), 12 (C,G) e 16 (D,H) (1º período, nível 3a) em termos das escalas de tempo cronológico (A - D) e baseada no índice de plastochron da planta (E - H).

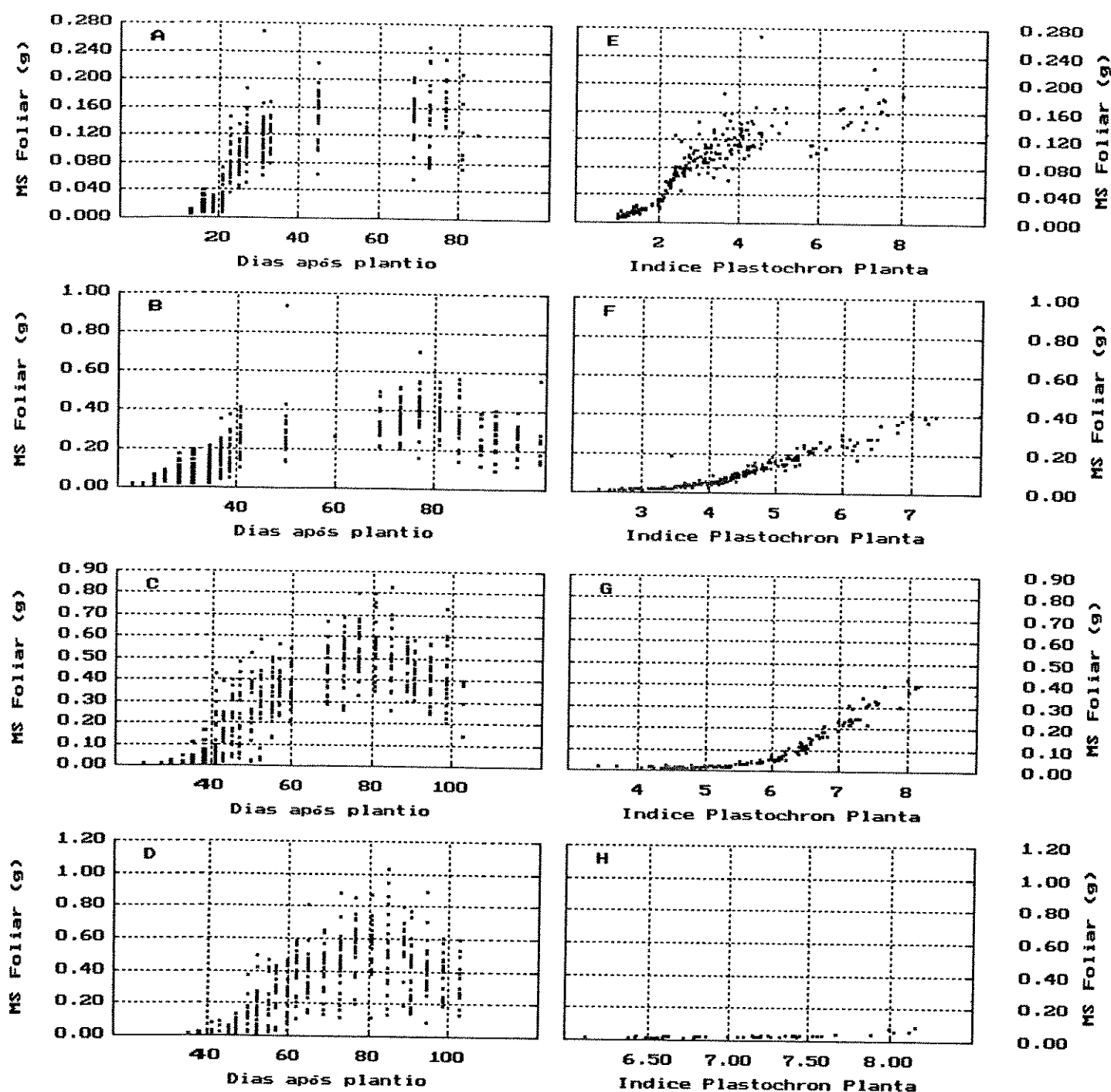


FIGURA 12. Acúmulo de matéria seca nas folhas 4 (A,E), 6 (B,F), 8 (C,G) e 10 (D,H), (2º período, nível 3a), em termos das escalas de tempo cronológico (A - D) e baseada no índice de plastochron da planta (E - H).

todas as fases do desenvolvimento foliar, sendo deletéria na parte inicial, cujo padrão exponencial de crescimento é mascarado.

Na escala do IP, quando os dados englobam todo o desenvolvimento, ou seja, uma fase de crescimento exponencial seguida por outra com característica assintótica, a dispersão dos dados é acentuada na segunda fase (Figura 11, gráficos E e F; Figura 12 gráfico E). Para folhas cujos dados representam apenas a fase de crescimento exponencial (Figura 11, gráfico H; Figura 12, gráficos F, G e H), a dispersão de dados é baixa para a escala de tempo baseada no IP.

A diferença acentuada entre as características de dispersão dos dados entre as duas escalas pode ser atribuída principalmente à variabilidade de desenvolvimento (Causton & Venus, 1981), que é anulada pelo uso do índice de plastochron.

A dispersão dos dados na escala do IP pode ter mais do que um componente.

O crescimento equivale, na maioria dos casos, a uma progressão geométrica, sendo caracterizado, então, como um processo multiplicativo (Mosimann & Campbell, 1988). Existe a expectativa de que isso resulte num aumento paulatino na amplitude da variabilidade dos dados (Krajewski, 1990). Os dados, todavia, mostram uma transição abrupta, indicando que a explicação não é suficiente.

O crescimento foliar é determinado pelos processos de multiplicação e expansão celular, nessa ordem (Maksymowych, 1973). É possível que a expansão foliar esteja mais sujeita à ação do ambiente (Dale, 1988) e que condições micro-ambientais sejam responsáveis pela acentuada dispersão dos dados na fase final do desenvolvimento foliar. A comparação da variabilidade dos dados nas duas escalas de tempo mostra que, além da menor amplitude, apenas na escala de tempo pelo IP a sua amplitude cresce em direção ao final do período de crescimento. A estrutura da variabilidade é diferente para as duas escalas e requer análises distintas.

As folhas do primeiro período que não foram mostradas na Figura 11 apresentam um padrão correspondente a um dos quatro exemplos. As folhas 3 e 5 acompanham o padrão da folha 4, com uma

acentuada dispersão de dados na faixa assintótica. As folhas 6 e 7 acompanham o padrão da folha 8. Em ambas as escalas se observa um declínio final no valor da matéria seca, ao qual não corresponde um declínio equivalente da área foliar. A área foliar específica reflete essas duas características com um padrão inicial decrescente seguido por outro crescente. Não existe uma explicação clara para o comportamento exclusivo dessas três folhas. O retardamento da abscisão foliar pode ter permitido um período prolongado para a remobilização do material presente (Begonic et al., 1987). A confirmação dessa hipótese seria possível com uma análise estocástica (Krause et al., 1967) da persistência foliar, mas a sua realização depende de um maior número de repetições em cada amostragem.

A partir da folha 9 observa-se um padrão semelhante ao da folha 12. A posição de inserção foliar crescente é acompanhada por duas características com efeito paulatino: a) a redução da quantidade de dados na "faixa assintótica", que desaparece completamente a partir da folha 16, na escala do IP; b) a diluição do caráter exponencial da fase inicial de crescimento na escala de TC.

A partir da folha 19 a avaliação do desenvolvimento está comprometida devido à reduzida quantidade de dados disponíveis.

Os gráficos das folhas do eixo principal no primeiro período permitem inferir que apenas até a folha 11 a escala do IP engloba os valores máximos atingidos. Os tamanhos finais das folhas são sucessivamente maiores até a 13ª ou 14ª posições no eixo principal pela escala do IP e 14ª ou 15ª pela escala de TC. Essas observações indicam que o desenvolvimento foliar não esteve limitado por competição com o crescimento reprodutivo antes da formação da 14ª folha.

Os padrões observados no desenvolvimento das folhas durante o segundo período são menos consistentes.

As folhas representadas na Figura 12 mostram um padrão de desenvolvimento semelhante entre si, com base na escala de TC. O crescimento exponencial inicial é pouco evidente. Segue-se um longo período de crescimento que tende a um valor máximo e uma ligeira

queda final. (As grandes lacunas entre algumas coletas adjacentes são consequência de amostras com dados perdidos.)

As mesmas folhas representadas em termos do IP apresentam sempre um padrão inicial de desenvolvimento exponencial, mas apenas a folha 4 (Figura 12 E) apresenta uma região assintótica, embora não muito bem delimitada.

O desenvolvimento sucessivo das folhas do segundo período teve valores máximos crescentes até a 7ª ou 8ª posição no eixo principal pelo IP. Pela escala de tempo cronológica os valores máximos são atingidos com a 9ª folha, mas não declinam antes da 13ª. As duas escalas representam realidades bastante diferentes, pois o IP só representa uma porção limitada da vida útil foliar. O estabelecimento de valores máximos próximos para as folhas de número 9 a 12 é um indício do início da competição entre o desenvolvimento foliar e o reprodutivo.

A representação de dados de área foliar resulta em padrões semelhantes aos descritos para o desenvolvimento da matéria seca foliar.

4.1.4. Resumo da análise qualitativa

A análise qualitativa foi útil para comparar o desenvolvimento das plantas nos dois períodos examinados e a utilidade das escalas de tempo, sendo elemento auxiliar na determinação das estratégias para a análise quantitativa. Duas conclusões preliminares são possíveis:

(a) A escala de TC resulta em uma ampla dispersão dos dados do eixo principal (nível 2) e planta (nível 1a) sem deixar de sugerir um padrão geral. Para os dados de ramos (nível 2a) a escala de TC é incapaz de estabelecer um padrão de desenvolvimento para os componentes. A escala de tempo baseada no IP do ramo gera um resultado correspondente para os dados de ramos individuais (nível 2a).

(b) A escala de tempo baseada no IP da planta é eficiente para a agregação de dados de planta (nível 1a), de eixo principal

(nível 2) e folhas do eixo principal (nível 3a) ao redor de um padrão exponencial de crescimento, mas a fase final do crescimento é acompanhada por uma crescente dispersão nos três tipos de dados.

A dispersão geral dos dados é sempre maior quando são representados pela escala de TC. Em qualquer procedimento de análise estatística a dispersão crescente nos dados resulta em estimativas menos precisas. Se as premissas do modelo estatístico empregado estiverem corretas, a análise estatística que usar como regressor o IP produzirá resultados mais precisos em comparação ao uso da escala de TC.

As duas escalas não representam situações idênticas. A escala de TC é um referencial indireto de representação da combinação dos processos intrínsecos e extrínsecos que atuam no crescimento e no desenvolvimento da planta. O IP descreve a progressão da planta em termos de um "relógio fisiológico interno" (Rittersbusch, 1989, Rittersbusch & Wunderlin, 1989). A consistência dos resultados obtidos para a escala do IP é um reflexo da exclusão de fatores de variabilidade presentes na escala de TC.

A produção de resultados equivalentes pelas duas escalas depende de três circunstâncias. (a) As premissas inerentes à definição do IP (Erickson & Michelini, 1957) precisam ser verdadeiras ao longo da duração da análise. (b) O estágio de referência inicial de todas as plantas coletadas durante a análise precisa ser o mesmo. (c) As plantas precisam ser expostas à mesma ação ambiental.

É possível que as diferenças observadas entre as duas escalas de tempo residam na desuniformidade dos estágios de desenvolvimento das plantas nas respectivas datas de amostragem, o que influencia apenas a representação pela escala de TC. Ela pode ser atribuída a uma série de fatores (Benjamin & Hardwick, 1986), das quais a principal é a utilização da data de plantio como referencial uniforme do início do desenvolvimento.

Para os ramos nem a escala de TC nem a baseada no IP da planta tiveram efeito de agregação dos dados (Figura 10). Ela só ocorreu com o uso da escala baseada no seu próprio IP. Portanto, nem a data de plantio, nem o "relógio interno" da planta, oferecem

um referencial adequado para o desenvolvimento de ramos.

Para plantas com desenvolvimento fenológico determinado a aplicação dessa metodologia está restrita à fase vegetativa. Ela poderá ser estendida para fases subseqüentes desde que a determinação do IP seja feita de maneira não destrutiva durante a fase vegetativa de plantas que serão coletadas mais tarde.

O IP incorpora as informações sobre o início do desenvolvimento - o referencial inicial - e sobre a quantidade de desenvolvimento que se realizou até o instante da medição. Causton & Venus (1981) sugeriram o seu uso para corrigir a dispersão dos dados ao redor da escala de TC, através da realocação dos dados.

A comparação das Figuras 2 a 4 e 7 a 9 mostra que existe, independentemente do período e da escala, uma tendência de variabilidade crescente nos dados. Isso é associado com frequência ao fato de a variabilidade acompanhar o crescimento da média (Krajewski, 1990) e à característica multiplicativa do crescimento (Mosimann & Campbell, 1988).

4.2. Análise Quantitativa dos Dados

4.2.1. Expectativa inerente à representação gráfica dos dados

As discussões do item 4.1. servem como ponto de partida para a interpretação da utilidade dos modelos matemáticos para a descrição do crescimento. Pelas suas características a equação de Richards não será capaz de descrever o crescimento de um conjunto de dados se os valores finais forem decrescentes, cuja causa provável é a senescência. Quando isso ocorre, pode se pensar em corrigir ou eliminar os dados afetados. Como a senescência é caracterizada por um início paulatino com magnitude crescente (Zelawski, 1980; Newmann et al., 1983; Grover et al., 1985; Newmann, 1985; Crafts-Brander & Egli, 1987 (a) e (b); Noodén & Mauk, 1987; Ford & Shibles, 1988; Guamet et al., 1989; Noodén & Guamet, 1989), é difícil o estabelecimento de um critério de correção ou eliminação para o presente esquema experimental. Portanto, existem conjuntos de dados para os quais será improvável a obtenção de bons

resultados para o ajuste da equação de Richards.

4.2.2. Dados de planta - níveis 1a e 2

Os resultados dos ajustes de curvas para as equações de Richards e polinomial exponencial cúbica se encontram nos Quadros 13 e 14 (Apêndice), respectivamente.

A inspeção dos resultados numéricos dos ajustes para a equação de Richards mostra resultados variáveis. Entre os lotes de dados existem 15 para os quais o processo de ajuste produziu matrizes jacobianas singulares (Quadro 13, Apêndice). Isso significa que a matriz construída para a determinação das estimativas dos parâmetros da equação apresenta colunas que são combinações lineares umas das outras (Gallant, 1987; SAS Institute Inc., 1985), o que impede a estimação dos parâmetros. Nas demais análises diversos conjuntos de dados mostram elevados coeficientes de determinação. Sob esse critério os ajustes foram bons na escala do índice de plastochron para dados de eixo principal e planta, em ambos os períodos. Os valores do coeficiente de determinação foram, em geral, superiores a 0.90, indicando que o modelo explica mais de 90% da variação conjunta dos dados. Os resultados dos ajustes para dados de ramos foram bastante inferiores, o que confirma a discussão anterior sobre a baixa representatividade dos dados de ramos pelo índice de plastochron da planta (item 4.1.1.2.). Na escala de tempo cronológico os resultados foram menos uniformes. No primeiro período os dados de eixo principal e planta tiveram valores do coeficiente de determinação pouco representativos e consistentemente inferiores em relação ao segundo. A redução menos acentuada nos valores finais dos dados do segundo período determinou a melhor adequação do modelo. Os conjuntos de dados que produziram bons coeficientes de determinação nem sempre foram acompanhados por estimativas dos parâmetros com baixas variâncias. Como a magnitude das variâncias das estimativas dos parâmetros determina a amplitude dos intervalos de confiança, a avaliação de diferenças entre conjuntos de dados é dificultada quando esses valores são elevados (Causton & Venus, 1981).

Quando os mesmos dados são ajustados pela equação polinomial exponencial cúbica (Tabela 14), observa-se que os resultados, em termos do coeficiente de determinação, são muito bons para dados de eixo principal e planta, em ambos os períodos e para as duas escalas de tempo. Nos ramos, apenas a matéria seca das vagens do primeiro período pela escala de tempo cronológica é bem descrita pelo modelo. Esse resultado não é surpreendente face à grande dispersão dos dados de ramos (Figuras 2 e 7). A comparação dos dois modelos mostra que tanto o número de bons ajustes, quanto os valores numéricos dos coeficientes de determinação, são consistentemente maiores para a equação polinomial exponencial cúbica.

Na Figura 13 está descrito o crescimento da matéria seca de vagens da planta durante o primeiro período de plantio, e na Figura 14 o crescimento da área foliar da planta, durante o segundo período, em termos da escala de TC. As figuras são compostas de gráficos para a equação de Richards (A,B,C e D) e para a equação polinomial exponencial cúbica (E,F,G e H). Os gráficos A e E contêm os valores observados, as equações ajustadas, os intervalos de confiança e os coeficientes de determinação (R^2). Nos gráficos B,C, F e G estão representados diagnósticos da regressão em termos de resíduos. Os gráficos B e F são resíduos temporais e os gráficos C e G são resíduos em termos do valor estimado. Nos gráficos D e H estão as curvas da TCR, baseadas nas estimativas dos parâmetros do ajuste.

A escolha dos exemplos nas Figuras 13 e 14 não se deve somente aos bons coeficientes de determinação, que explicam, respectivamente, 87% e 89% da variação nos dados. Entre os demais conjuntos de dados existem casos com coeficientes de determinação superiores a 0.95. Todavia, esses exemplos representam os dados que produziram as menores variâncias das estimativas dos parâmetros da equação de Richards.

A quantidade de pontos para os ajustes da matéria seca das vagens da planta, durante o primeiro período, é pequena (Figura 13). Os valores dos coeficientes de determinação para a equação de

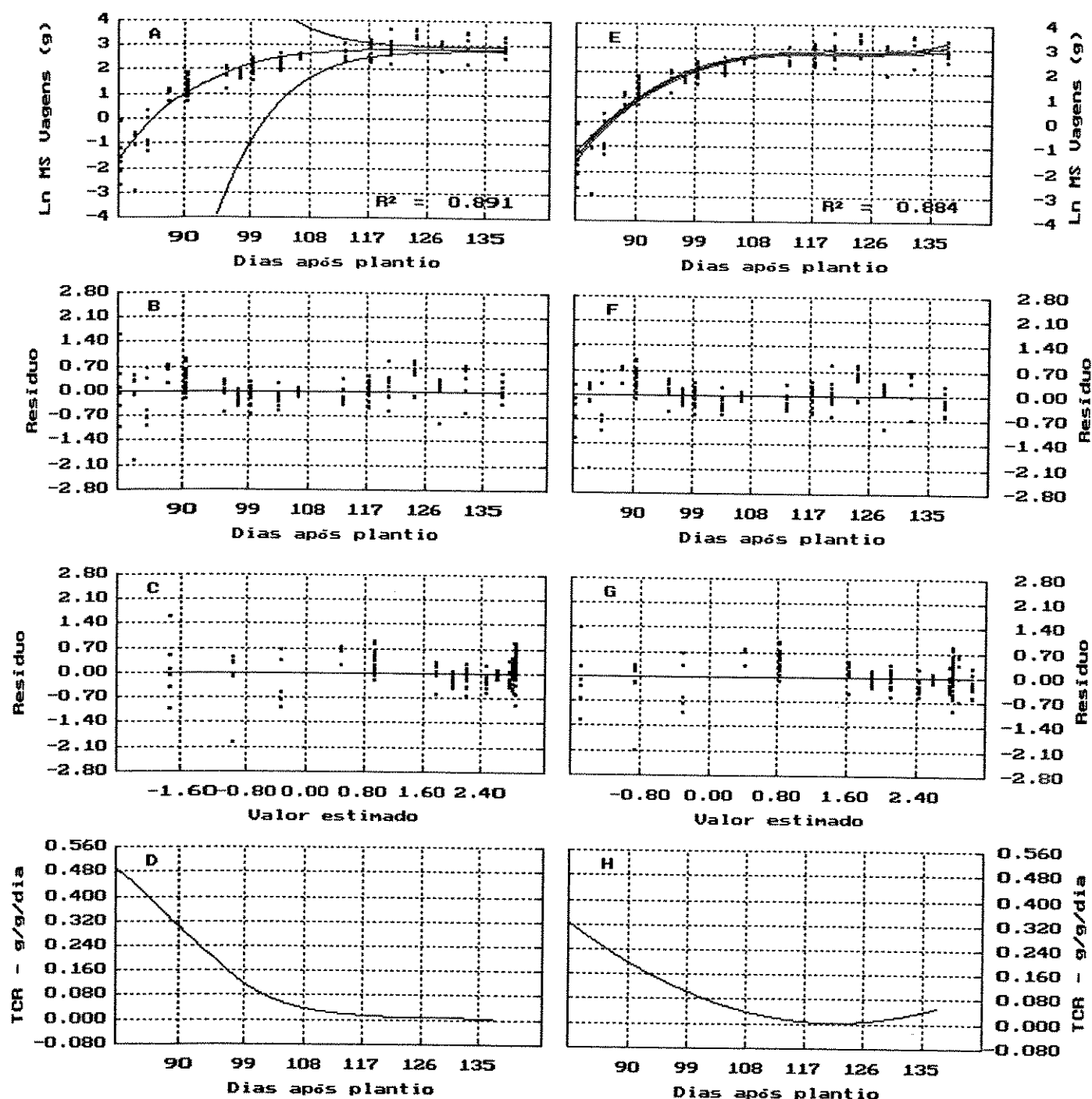


FIGURA 13. Descrição do acúmulo de matéria seca nas vagens da planta (nível 1a), 1º período, na escala de tempo baseada no índice de plastochron da planta.

Equação de Richards (A - D)

$$\ln y = 2,79 - (1/0,28) * [\exp(12,69 - 0,14*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -115,66 + 2,93*t - 0,024*t^2 + 0,000066*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

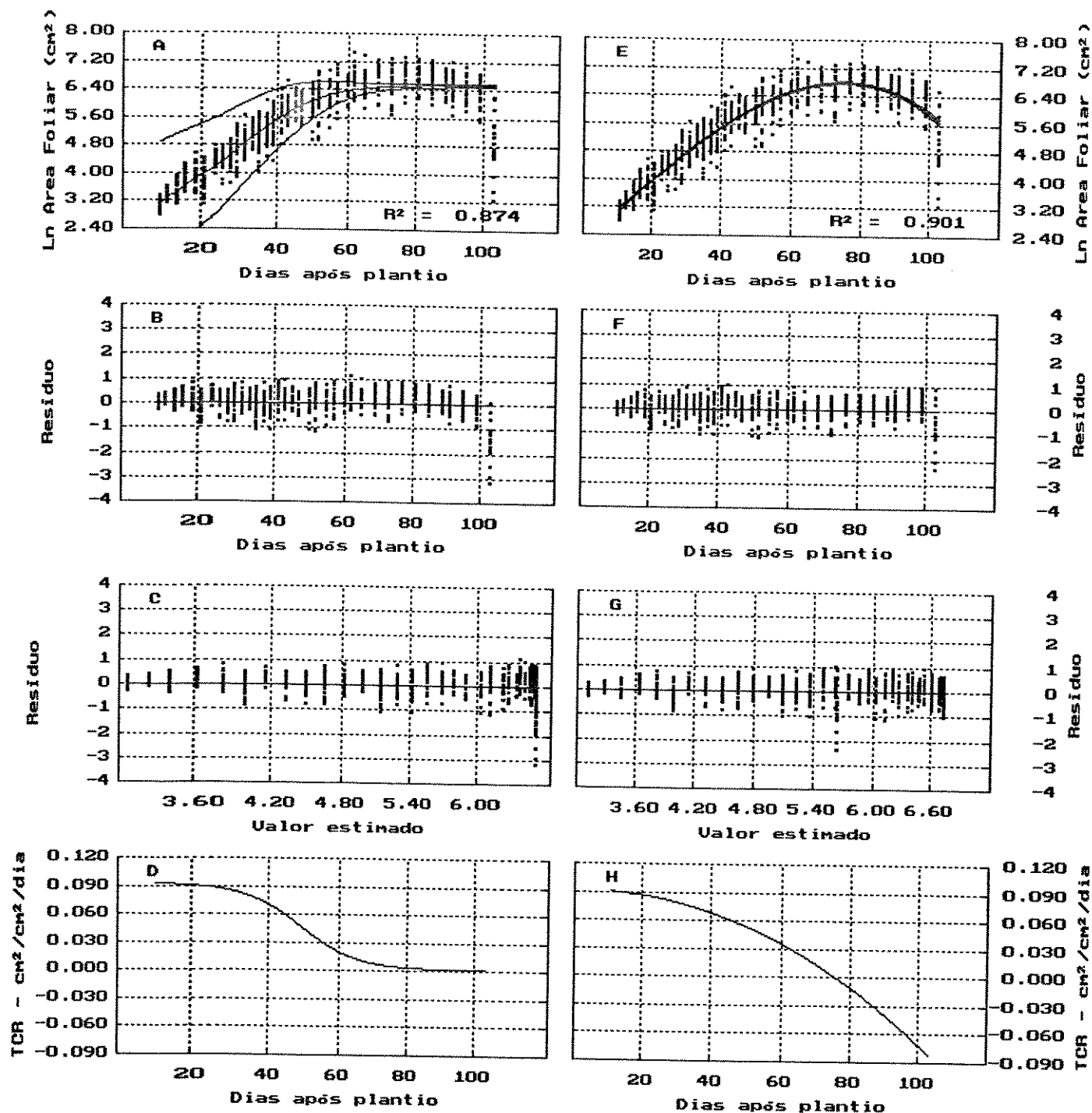


FIGURA 14. Descrição do crescimento da área foliar da planta (nível 3a), 2º período, na escala de tempo cronológico.

Equação de Richards (A - D),

$$\ln y = 6,48 - (1/1,31) * [\exp(5,77 - 0,12*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = 2,13 + 0,090*t + 0,000061*t^2 - 0,000006*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

Richards e para a equação polinomial exponencial cúbica são semelhantes. A equação cúbica descreve um pequeno aumento final. Esse efeito pode ser um artifício do modelo, pois não existem indícios nos dados e a expectativa biológica não o justifica. Ele pode estar caracterizando uma situação de "over-fitting". A ocorrência simultânea de pequeno número de dados, concentrados em poucos instantes da escala de tempo, e a presença de quatro parâmetros na equação de ajuste podem ser responsáveis pelo fenômeno (Draper & Smith, 1981).

Uma diferença marcante entre os ajustes dos dois tipos de modelos é a forma dos intervalos de confiança. Para a equação de Richards eles são amplos, só se estreitando em direção ao final. Para a equação polinomial exponencial cúbica eles são estreitos em toda a extensão da escala temporal considerada, com uma ligeira ampliação em ambos os extremos, típica para as equações polinomiais (Daniel & Wood, 1980; Draper & Smith, 1981). A grande amplitude dos intervalos de confiança em toda a porção variante do gráfico da equação de Richards sugere dificuldades para a comparação de dados, que é afetada justamente na região em que está ocorrendo o crescimento. A causa pode tanto ser a instabilidade matemática e estatística do modelo (Ratkowski, 1983), quanto uma distribuição pouco uniforme dos dados em termos dos resíduos dos valores estimados (Figuras 13 e 14, gráfico C). As características dos intervalos de confiança da equação de Richards são melhores (mais estreitos) para os dados de área foliar (Figura 14) quando comparados aos dados de matéria seca das vagens (Figura 13), mesmo não tendo a qualidade observada no ajuste da equação exponencial cúbica. A amplitude dos intervalos de confiança reflete as variâncias das estimativas dos parâmetros (Tabelas 13 e 14).

Tanto para a equação de Richards, quanto para a equação polinomial exponencial cúbica existem padrões não aleatórios na distribuição dos resíduos quando representados em termos da escala de tempo (Figura 13, gráficos B e F). As formas das oscilações destes resíduos são parecidas nos dois modelos. No início a distribuição dos pontos é irregular, pois o desenvolvimento não

sincronizado de plantas determina a coleta dos primeiros valores mensuráveis em instantes diferentes e com magnitudes distintas. As porções remanescentes dos gráficos apresentam um padrão primeiramente decrescente e depois crescente.

Os resíduos dos dois modelos em termos dos dados estimados (Figura 13, gráficos C e G) também não apresentam distribuições aleatórias. Os valores destes resíduos se concentram nas proximidades dos valores máximos observados, sendo que a obtenção de resultados de boa qualidade para ajustes não-lineares se baseia na distribuição uniforme dos dados (Causton & Venus, 1981; Draper & Smith, 1981). As características dos resíduos temporais e os baseados nos valores estimados indicam a limitada capacidade do conjunto de parâmetros em descrever a variação do crescimento no intervalo.

Nos dados de área foliar do segundo período, expressos em termos da escala de TC (Figura 14), a queda final nos dados é marcante. A representação geral dos dados pelos dois modelos é boa, com exceção dos dados da última amostragem, que é caracterizada por menor média e maior variabilidade. A queda final nos dados não pode ser descrita pela forma definida da equação de Richards, mas o é, ao menos parcialmente, pela equação polinomial exponencial cúbica.

A grande quantidade de dados para a área foliar possibilita uma análise consistente dos resíduos (Figura 14). A distribuição dos dados (Figura 14, gráficos B e C) é mais aleatória que a observada nos dados de matéria seca das vagens (Figura 13, gráficos B e C). Isso não impede a observação da tendência de uma migração de valores superestimados para subestimados nos resíduos temporais da equação de Richards (Figura 14, gráfico B), no segmento final do intervalo. A equação polinomial exponencial cúbica mostra um padrão inverso e que sofre uma brusca inversão na última amostragem (Figura 14, gráfico F). A amplitude dos valores dos resíduos nas amostragens mostra que a variabilidade dos dados não é constante e sem padrão definido. Os resíduos em termos dos valores estimados mostram tendência de variabilidade crescente, para ambas as equações (Figura 14, gráficos C e G). Apesar da concentração de

dados próxima aos valores máximos, todo o intervalo de valores possíveis está representado.

Os dados de eixo principal e planta mostram que, na grande maioria dos casos, os ajustes da equação polinomial exponencial cúbica apresentam maiores coeficientes de determinação (Quadro 14, Apêndice) que a equação de Richards. Todavia, as tendências não aleatórias observadas nos gráficos dos resíduos (Figuras 13 e 14, gráficos B, C, F e G) indicam uma correspondência incompleta entre modelo e dados. Isso resulta da característica empírica do modelo, a cujos parâmetros não podem ser atribuídos significados biológicos (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)).

Para a comparação das duas escalas de tempo a Figura 15 mostra a descrição do crescimento da matéria seca do caule pela equação polinomial exponencial cúbica, para a escala de TC (gráficos A a D) e para a escala baseada no IP da planta (gráficos E a H), no segundo período. A comparação dos gráficos A e E mostra que na escala do índice de plastochron o crescimento máximo das plantas não é alcançado, reduzindo o ajuste a uma forma semelhante ao que seria obtido por uma equação do primeiro grau. Na escala de TC os dados estão agrupados em amostragens, o que é perdido na escala do IP, que dispersa os dados em relação à variável independente e reduz a amplitude dos resíduos (Figura 15, gráficos B, C, F e G). Os resíduos da escala de tempo baseada no IP têm variabilidade decrescente, apesar da transformação logarítmica dos dados (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b); Craw & Shimizu, 1988; Finney, 1989) e do uso da escala de desenvolvimento da planta (Erickson & Michelini, 1957; Ritterbusch, 1989) fazerem supor uma variabilidade constante. A diminuição da variabilidade pode indicar que plantas num mesmo estágio de desenvolvimento têm atividades metabólicas distintas, mas que os resultados finais das suas ações convergem para valores máximos próximos.

A avaliação da TCR resultante dos ajustes da equação polinomial exponencial cúbica mostra que a forma do seu gráfico é diferente nos exemplos apresentados (Figuras 13 e 14, gráfico H, e Figura 15, gráficos D e H). A expectativa biológica da TCR é ca-

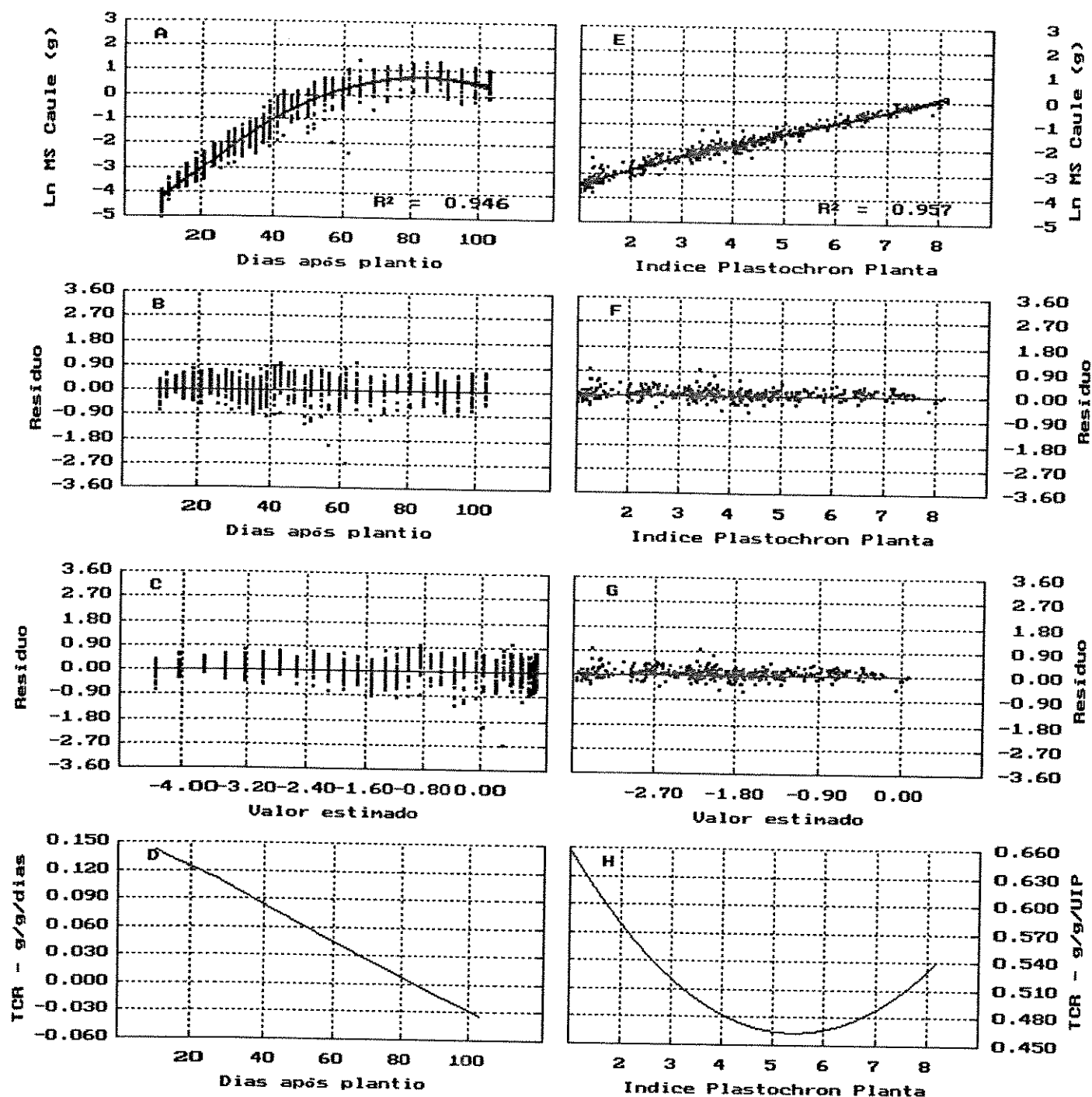


FIGURA 15. Descrição do acúmulo de matéria seca no caule do eixo principal (nível 2), 2º período, pela equação polinomial exponencial cúbica, em termos das escalas de tempo cronológico (A - D, y_1) e baseada no índice de plastochron da planta (E - H, y_2).

$$\ln y_1 = -5,97 + 0,16*t - 0,0011*t^2 + 0,00000063*t^3$$

$$\ln y_2 = -4,27 + 0,75*t - 0,54*t^2 + 0,0033*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

racterizada por um valor inicial elevado, seguido de uma fase decrescente, com final assintótico ao redor de zero (Evans, 1972; Hunt, 1982 (b)). Os dados da matéria seca de vagens (Figura 13, gráfico H) e da matéria seca do caule pelo IP (Figura 15, gráfico H) mostram primeiro um decréscimo da TCR seguido de valores crescentes. Nem os dados primários, nem a característica determinada da cultivar de soja IAC-15 (Miranda et al., 1989 (a)) suportam esse resultado, o que sugere uma limitação do modelo. As TCRs da área foliar (Figura 14, gráfico H) e da matéria seca do caule pela escala cronológica (Figura 15, gráfico D), ao contrário das anteriores, são continuamente decrescentes. Nas Figuras 13 e 14, nas quais é possível comparar os resultados obtidos para os dois modelos, vê-se que a equação de Richards produz curvas da TCR com forma mais constante e consistente com a expectativa biológica. Recomenda-se, portanto, a observação das características de grandezas secundárias para avaliar a utilidade de uma equação ajustada aos dados primários. Semelhante conclusão é encontrada em Hunt (1982 (b)).

4.2.3. Dados de ramos individuais - nível 2a

Os ramos só foram analisados em termos da escala de tempo do seu próprio IP, devido aos resultados observados na Figura 10 (vide discussão item 4.1.2). Os dados apresentados na Figura 10 indicam um padrão de crescimento exponencial, o que torna improvável a obtenção de resultados satisfatórios para os ajustes da equação de Richards. Para tanto falta uma fase assintótica bem definida.

Os resultados dos ajustes para a equação de Richards estão listados no Quadro 15 (Apêndice). Os seus coeficientes de determinação são consideradas bons. A maioria dos valores é superior a 0.8 e há diversos valores maiores que 0.9. Ao contrário do que foi observado para os dados dos níveis 1a e 2 (item 4.2.2), nenhuma das regressões para dados de ramos produziu matriz jacobiana singular. Uma característica dos ajustes da equação de Richards aos dados de

ramos é a elevada variância das estimativas de vários dos parâmetros. À semelhança do que foi discutido no item 4.2.2., essa característica pode prejudicar a comparação entre conjuntos de dados. Os resultados para os ajustes da equação polinomial exponencial cúbica aos dados de ramos estão listados no Quadro 16 (Apêndice) e os valores dos coeficientes de determinação são equivalentes aos observados para a equação de Richards.

As Figuras 16 e 17 apresentam exemplos de ajustes dos modelos aos dados de ramos individuais. Os gráficos A a D e E a H correspondem, respectivamente, aos resultados do ajuste da equação de Richards e da equação polinomial exponencial cúbica. Os gráficos A e B contêm os dados utilizados no ajuste, as equações ajustadas, os intervalos de confiança e os coeficientes de determinação. Os gráficos B e F apresentam os resíduos temporais. Nos gráficos C e G estão representados os resíduos em termos do valor estimado. Os gráficos D e H contêm a TCR calculada a partir das estimativas dos parâmetros.

A equação de Richards e a polinomial exponencial cúbica produzem curvas bastante semelhantes para os ajustes dos dados dos ramos 5 (Figura 16) e 6 (Figura 17), apesar de suas formas teóricas distintas (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)). Os intervalos de confiança para a equação polinomial cúbica são mais amplos que os obtidos para dados de planta (item 4.2.2., Figuras 13 a 15). Os intervalos de confiança muito amplos para os ajustes da equação de Richards são esperados devido aos elevados valores das variâncias das estimativas dos parâmetros. Para ambas as equações as características dos resíduos são pouco marcantes, limitando a sua utilidade para a avaliação qualitativa dos ajustes. As formas das TCRs para os ajustes da equação de Richards são anômolas se comparadas à forma típica (Figuras 13 e 14, gráfico D). A maneira de cálculo da TCR por fórmula de aproximação (Causton & Venus, 1981) pode produzir essas anomalias se as variâncias das estimativas dos parâmetros forem elevadas. Para a equação polinomial exponencial cúbica a TCR da matéria seca do ramo 5 (Figura 16) é primeiro crescente e depois decrescente. No ramo 6 (Figura 17) observa-se

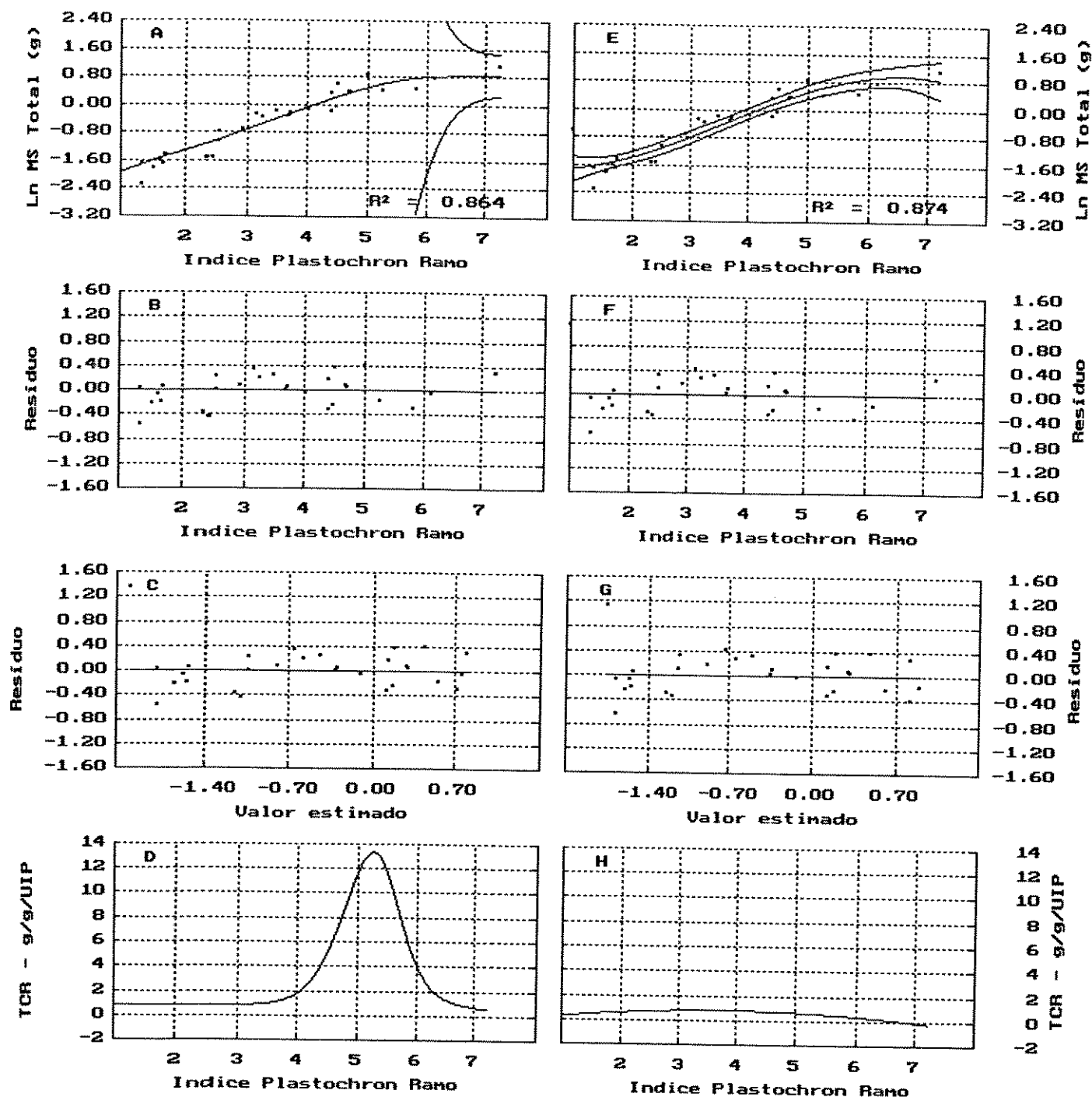


FIGURA 16. Descrição do acúmulo de matéria seca no ramo 5 (nível 2a), em termos da escala de tempo baseada no índice de plastochron do ramo (1º período).

Equação de Richards (A - D),

$$\ln y = 0,81 - (1/4,11) * [\exp(14,0 - 34,0*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -1,69 - 0,33*t + 0,28*t^2 - 0,026*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

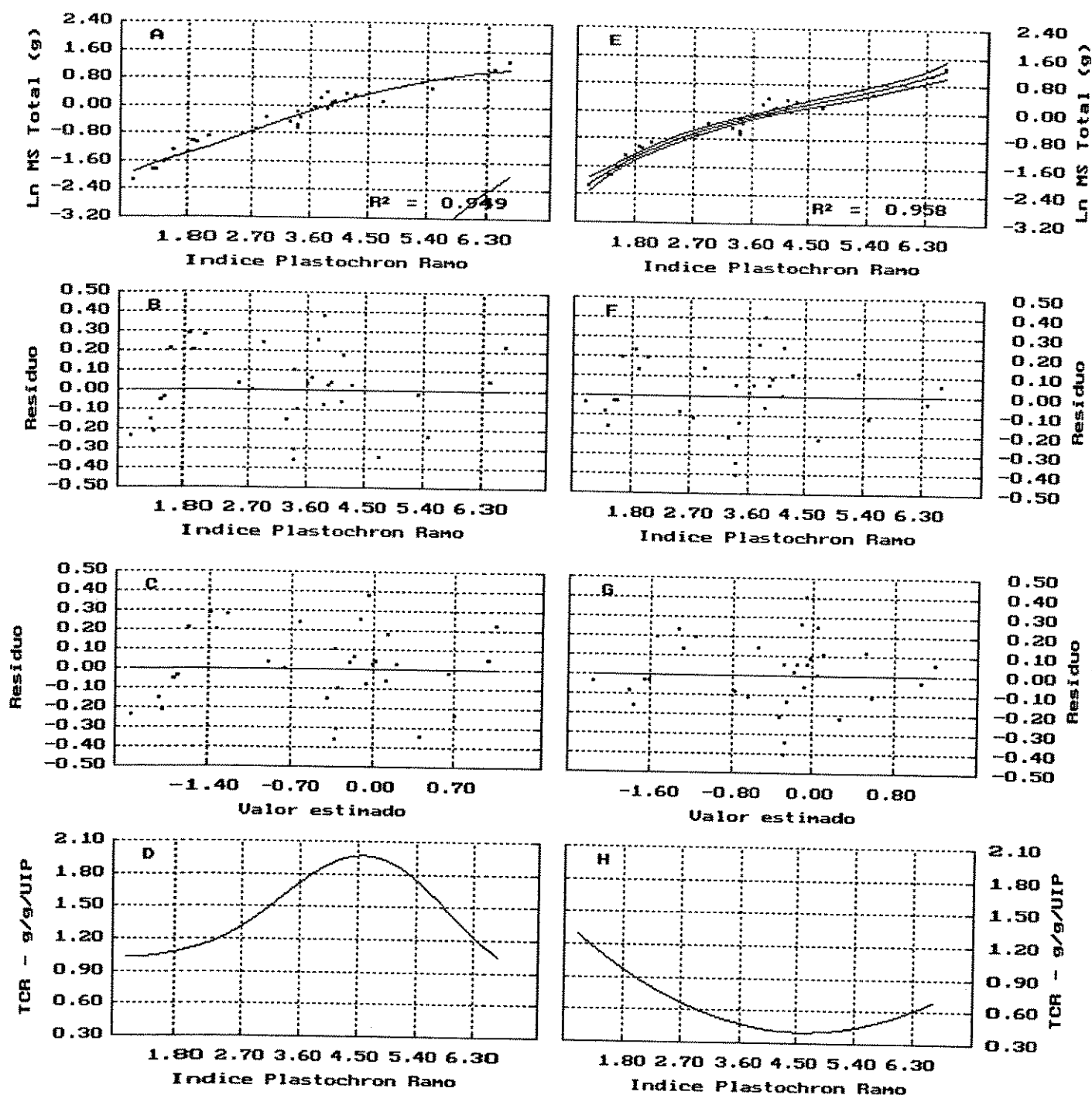


FIGURA 17. Descrição do acúmulo de matéria seca no ramo 6 (nível 2a), em termos da escala de tempo baseada no índice de plastochron do ramo (1º período). Equação de Richards (A - D),

$$\ln y = 1,36 - (1/0,88) * [\exp(3,66 - 0,88*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -3,93 + 1,93*t - 0,33*t^2 - 0,024*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

uma forma invertida. Essa diferença poderia ser atribuída à descrição de um crescimento inicial mais lento do ramo 5 pelo modelo. Na medida em que aos parâmetros da equação polinomial exponencial cúbica não podem ser atribuídos significados biológicos (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)), é difícil avaliar se a diferença observada é apenas uma característica do modelo, ou se representa uma diferença no padrão de crescimento.

4.2.4. Dados foliares - nível 3a

Os dados foliares representam o conjunto mais extenso disponível para a análise, além de serem os mais indicados para a obtenção de um bom ajuste da equação de Richards (Richards, 1959; Nelder, 1961; Obrucheve & Kovalev, 1979; Venus & Causton, 1979 (a),(b); Causton & Venus, 1981). Os resultados dos ajustes dos modelos se encontram nos Quadros 17 e 18 (Apêndice), respectivamente para a equação de Richards e para a equação polinomial exponencial cúbica.

A avaliação do Quadro 17 mostra diversos dados que dificultam a análise pela equação de Richards. Ajustes para dados com poucas repetições ou com distribuição inconsistente com a equação de Richards, produziram com freqüência matrizes jacobianas singulares ou não convergiam dentro dos limites estabelecidos. Outro fato corriqueiro para esses conjuntos de dados foi a obtenção de valores baixos para o coeficiente de determinação. Em geral, esses mesmos conjuntos de dados também apresentam baixos coeficientes de determinação para os ajustes da equação polinomial exponencial cúbica.

As causas para a grande quantidade de ajustes da equação de Richards que resultaram em matrizes jacobianas singulares podem ser diversas. Anteriormente já foi discutido que o conjunto de dados pode ser incompleto ou insuficiente para ser bem representado pela curva da equação de Richards. Em diferentes situações, todavia, a dispersão dos dados na região assintótica foi bastante acentuada (Figuras 11 e 12), o que dificulta a obtenção de bons ajustes. Uma

terceira causa possível, associada ao procedimento de ajuste, será discutida no item 4.3.

Ajustes com bons coeficientes de determinação predominam no primeiro período e para a escala de tempo cronológica. Durante o primeiro período o desenvolvimento vegetativo foi mais longo, possibilitando a um maior número de folhas o desenvolvimento pleno antes do início da competição com o crescimento reprodutivo. Nessas circunstâncias uma maior quantidade de folhas pode apresentar crescimento típico com a forma da curva 'S' (Obrucueva & Kovalev, 1979). Como a sua forma se aproxima bastante da equação de Richards, justifica-se a obtenção dos resultados positivos para o modelo.

A comparação dos ajustes da equação de Richards durante o primeiro período entre as duas escalas de tempo mostra algumas características consistentes. Quando os coeficientes de determinação dos ajustes são bons para ambas as escalas, os seus valores tendem a ser maiores e as variâncias das estimativas dos parâmetros menores na escala do IP. Isso ocorre apesar da menor quantidade de dados disponíveis para o ajuste. A agregação dos dados foliares pelo IP resulta numa acentuada redução da dispersão a que estão sujeitos os dados quando representados segundo a sua data de coleta cronológica. No segundo período essa característica não aparece, porque o desenvolvimento vegetativo foi mais curto e a contagem do IP se iniciou mais tarde, a partir do valor 1. Essas duas circunstâncias reduziram a correspondência entre o modelo e os dados.

Uma característica dos ajustes da equação de Richards com bons coeficientes de determinação é a ocorrência de variâncias elevadas para as estimativas dos parâmetros. Quando o coeficiente de determinação do ajuste é bom, a variância da estimativa do parâmetro ' α ' tende a ser boa. Em geral, a variância de ' β ' é acentuada, mas, ocasionalmente, ela também pode ser alta para ' κ ' e/ou ' v '. No trabalho de Causton & Venus (1981) são mostradas variâncias das estimativas dos parâmetros da equação de Richards, de ajustes para dados foliares, que são, predominantemente, menores que as

aqui observadas. Isso se justifica, em parte, pela condução do experimento em casa de vegetação, que possibilita condições mais controladas e, conseqüentemente, um crescimento mais uniforme. Os autores não discutem conjuntos de dados com variâncias das estimativas dos parâmetros elevadas, mas comentam que o problema não está resolvido.

Nas Figuras 18 e 19 estão representados os dados de área foliar das folhas 9 e 14, no primeiro período de plantio, em termos do IP. As Figuras 20 e 21 apresentam os dados de matéria seca foliar da folha 13, no primeiro período, em termos da escala de TC e baseada no IP da planta. Os gráficos A a D e E a H correspondem, respectivamente, aos resultados do ajuste da equação de Richards e da equação polinomial exponencial cúbica. Os gráficos A e B contém os dados utilizados no ajuste, as equações ajustadas, os intervalos de confiança e os coeficientes de determinação. Os gráficos B e F apresentam os resíduos temporais. Nos gráficos C e G estão representados os resíduos em termos do valor estimado. Os gráficos D e H contém a TCR calculada a partir das estimativas dos parâmetros.

As Figuras 18 a 21 mostram coeficientes de determinação altos nos ajustes da equação de Richards, mas intervalos de confiança que são amplos na fase de crescimento e estreitos na região assintótica, correspondendo às características descritas na literatura (Venus & Causton, 1979 (a); Causton & Venus, 1981). Esse fenômeno também já tinha sido observado para os dados dos níveis 1a e 2, item 4.2.2., e para os dados do nível 2a, item 4.2.2., e reletam os valores elevados das variâncias das estimativas dos parâmetros.

A análise dos resíduos da equação de Richards em termos do valor estimado mostra em todos os exemplos (Figuras 19 a 21, gráfico D) distribuição de dados pouco uniforme. A concentração de dados próxima ao extremo superior é marcante e a informação disponível sobre a fase de crescimento efetivo é reduzida. A comparação dos resíduos para as duas escalas de tempo mostra menor amplitude para o IP.

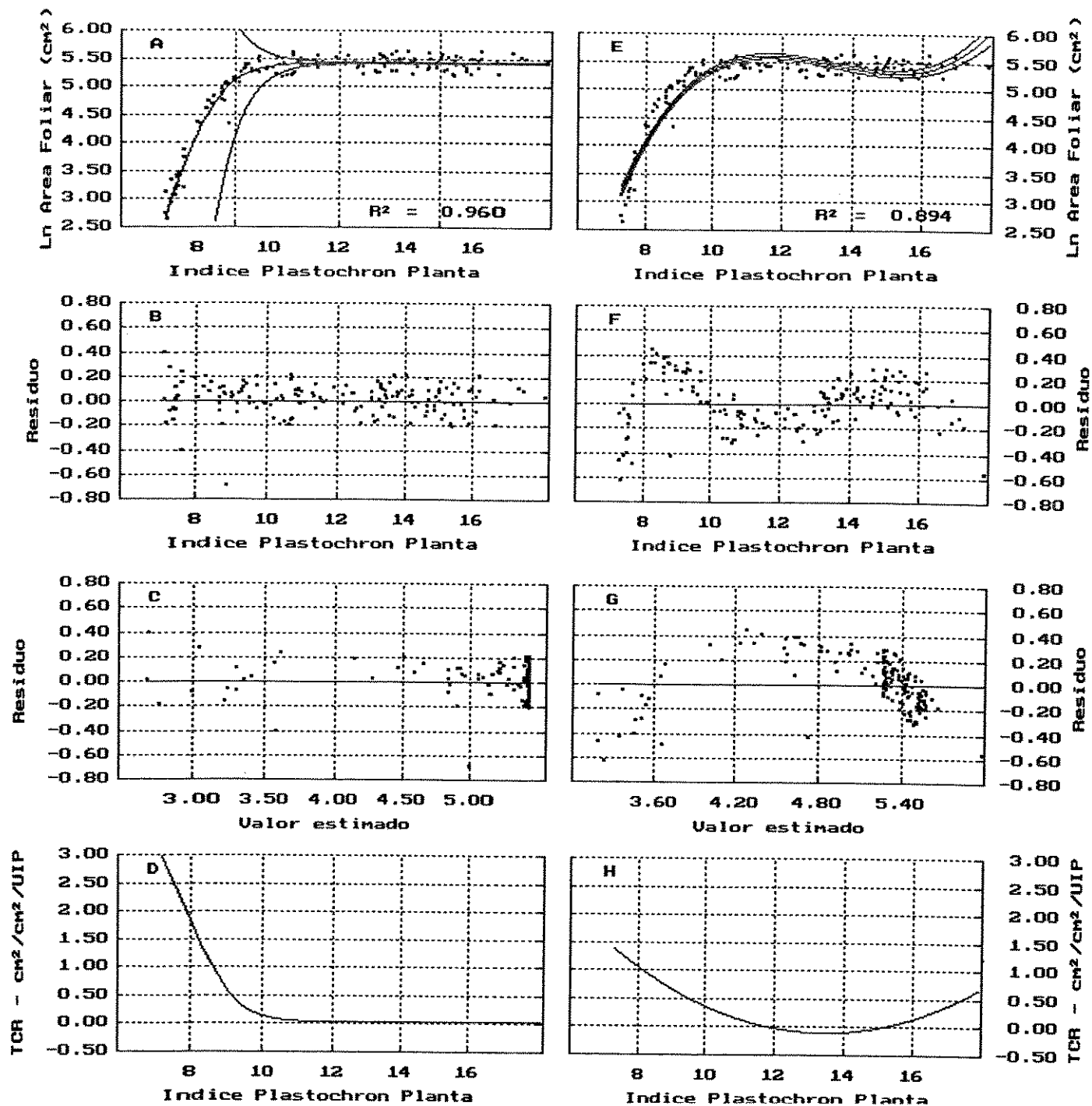


FIGURA 18. Descrição do crescimento da área da folha 9 (nível 3a), 1º período, na escala de tempo baseada no índice de plastochron da planta.

Equação de Richards (A - D)

$$\ln y = 5,39 - (1/0,42) * [\exp(12,37 - 1,59*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -24,31 + 6,88*t - 0,52*t^2 + 0,013*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

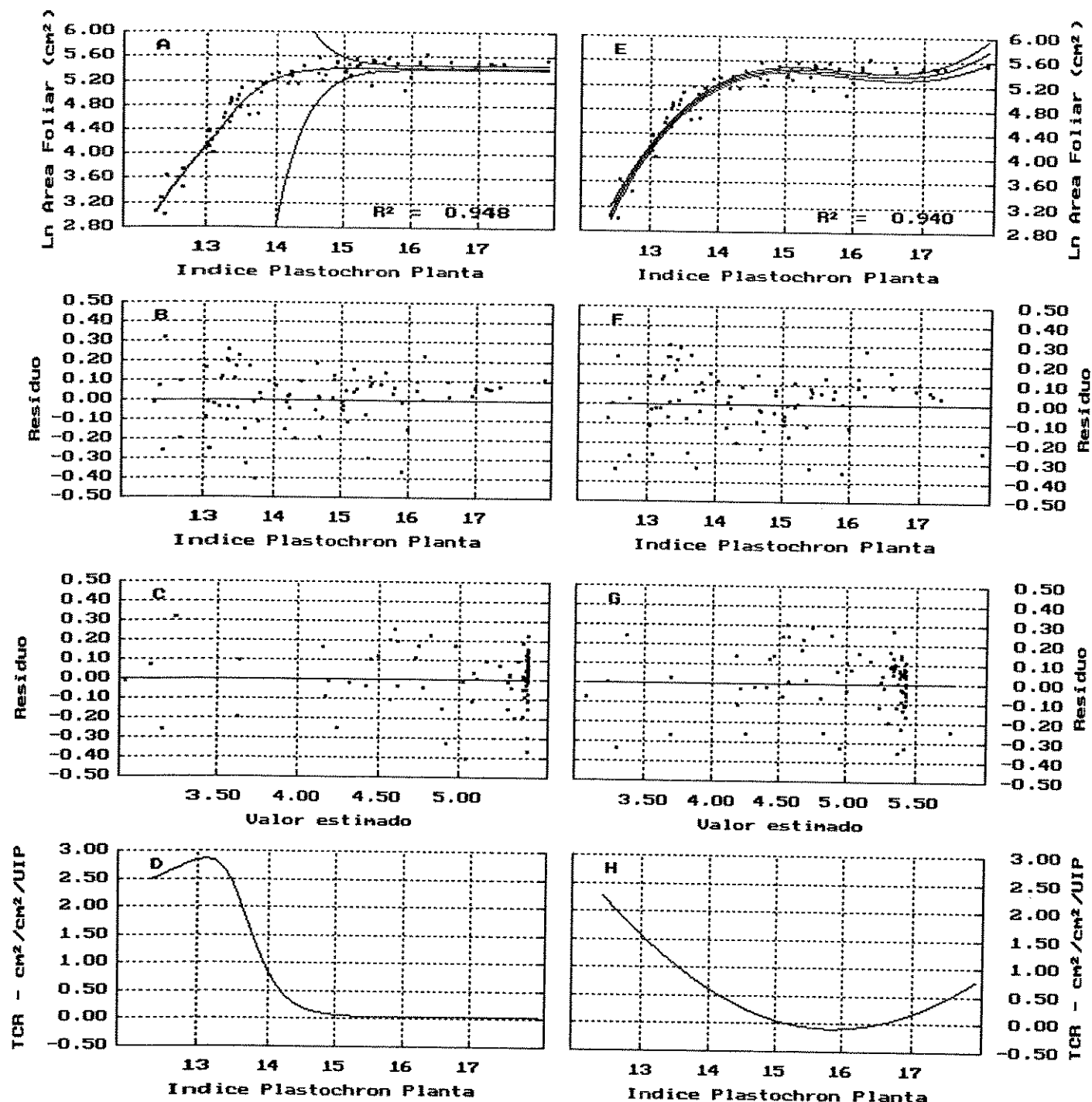


FIGURA 19. Descrição do crescimento da área da folha 14 (nível 3a), 1º período, na escala de tempo baseada no índice de plastochron da planta.

Equação de Richards (A - D)

$$\ln y = 5,39 - (1/1,28) * [\exp(37,59 - 2,78*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -262,28 + 50,88*t - 3,22*t^2 + 0,068*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

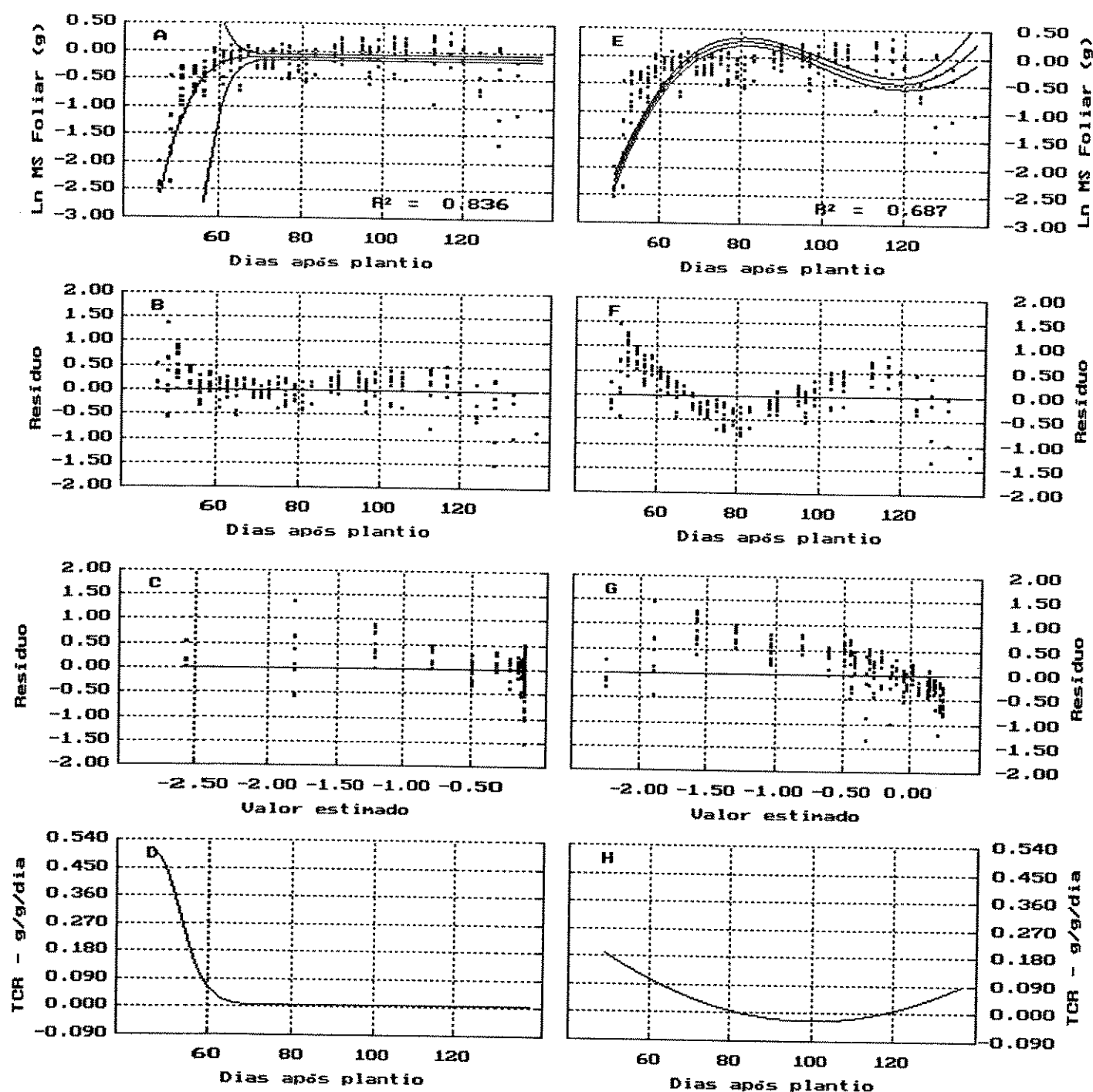


FIGURA 20. Descrição do crescimento da matéria seca do limbo da folha 13 (nível 3a), 1º período, na escala de tempo cronológica.

Equação de Richards (A - D)

$$\ln y = -0,15 - (1/0,74) * [\exp(18,91 - 0,35*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -24,65 + 0,80*t - 0,0083*t^2 + 0,000028*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

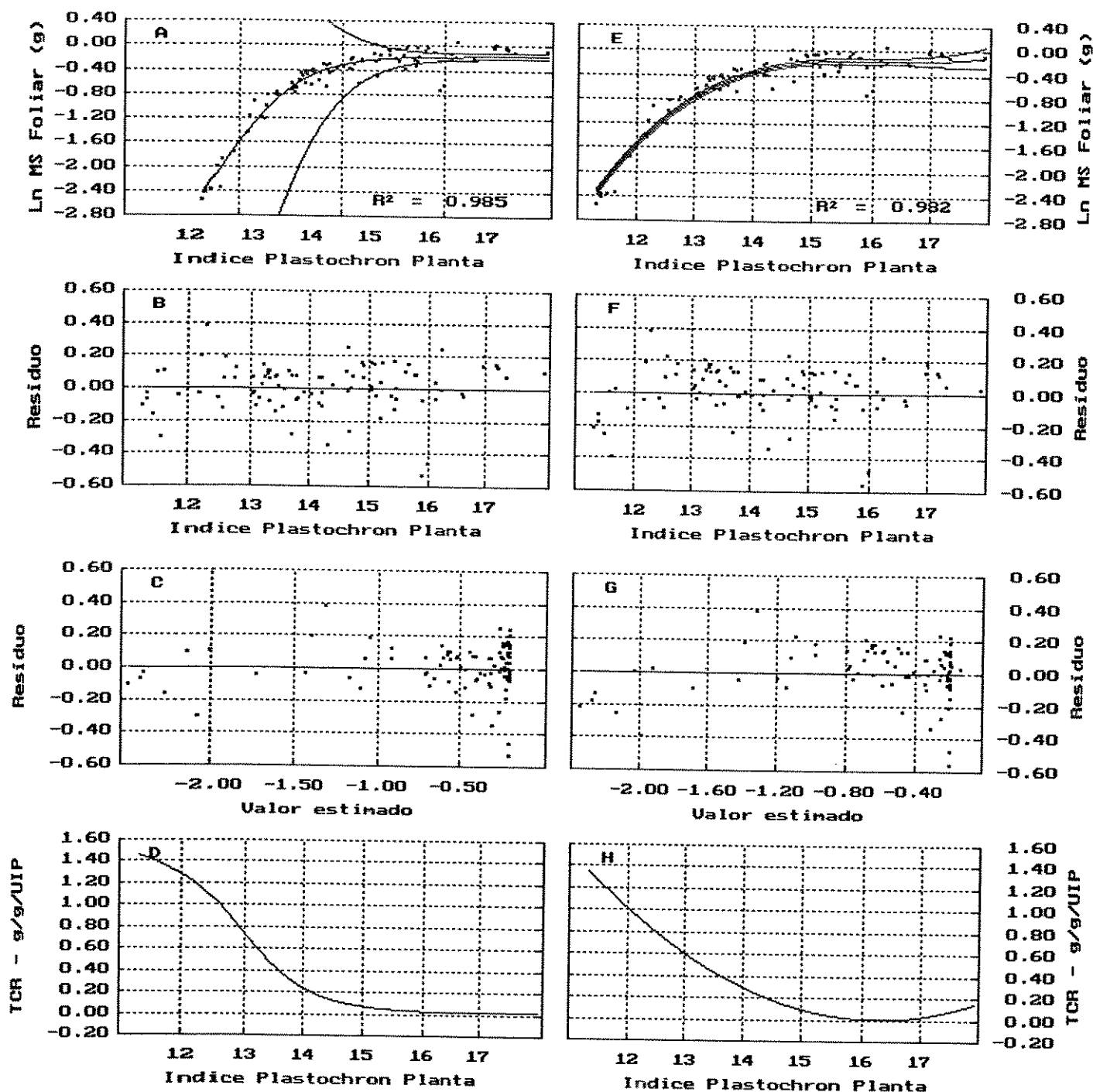


FIGURA 21. Descrição do crescimento da matéria seca do limbo da folha 13 (nível 3a), 1º período, na escala de tempo baseada no índice de plastochron da planta.

Equação de Richards (A - D)

$$\ln y = -0,20 - (1/0,95) * [\exp(18,76 - 1,47*t)]$$

Equação polinomial exponencial cúbica (E - H),

$$\ln y = -79,31 + 14,59*t - 0,90*t^2 + 0,018*t^3$$

Gráficos A e E: dados usados no ajuste, curva da equação ajustada e intervalos de confiança (95%). Gráficos B e F: resíduos temporais. Gráficos C e G: resíduos em termos dos valores estimados. Gráficos D e H: curva da TCR para os parâmetros da equação ajustada.

O resíduo temporal para a escala de TC (Figura 20, gráfico B) se mostra perturbado na região do ponto de inflexão. Os exemplos para o IP (Figuras 18, 19 e 21) não apresentam o mesmo problema. A variabilidade de desenvolvimento é inerente aos dados representados pela escala de TC, mas não para o IP (Causton & Venus, 1981), o que pode explicar o padrão observado.

O Quadro 18 (Apêndice) mostra resultados muito variáveis para os coeficientes de determinação dos ajustes da equação exponencial cúbica, mas em geral são melhores para a escala do IP. Nos exemplos das Figuras 18 a 21 o padrão definido pelo ajuste produz uma ascendência final após estabilização ou queda anterior. Isso se reflete nos padrões não aleatórios dos resíduos temporais, indicando uma inadequação do modelo na representação dos dados. Os resíduos baseados no valor estimado também não são aleatórios e podem apresentar concentração de dados no extremo final.

A comparação dos ajustes da equação de Richards e da polinomial exponencial cúbica nos quatro exemplos (Figuras 18 - 21) mostra que os coeficientes de determinação são melhores para a primeira. Esse resultado é diverso do observado para os dados dos demais níveis de organização estudados. A distribuição dos resíduos temporais é sempre aleatório para a equação de Richards, mas nem sempre para a equação polinomial exponencial cúbica (Figuras 18 e 20). Os resíduos em termos do valor estimado mostram para ambos os modelos uma concentração na porção final da curva. Para a equação polinomial exponencial cúbica a TCR é sempre decrescente de início e crescente no final, o que não corresponde à expectativa biológica. Já a TCR para a equação de Richards tem um comportamento estável e de acordo com a expectativa biológica (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)). Na Figura 19, contudo, a maneira de cálculo da TCR por fórmula de aproximação (Causton & Venus, 1981), provoca uma anomalia na forma da curva, à semelhança do que foi observado para os dados de ramos individuais, item 4.2.3. (Figuras 16 e 17).

As observações feitas nas Figuras 18 a 21 e nas Tabelas 17 e 18 indicam, portanto, uma melhor adequação da equação de Richards para a descrição do crescimento foliar. As suas características são

muito similares ao esquema da curva 'S', descrita por Obrucheva & Kovalev (1979), o que facilita a descrição pela equação de Richards.

4.3. Aspectos Matemáticos do Ajuste da Equação de Richards

A escolha da equação de Richards para a descrição do crescimento nos diversos níveis de organização se baseou na extensa lista de trabalhos que a aplicaram ou recomendaram (Richards, 1959; Nelder, 1961; Causton, 1969; Venus & Causton, 1979 (a) e (b); Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b); Beadle, 1987; Cusset, 1991; Barthou, 1992). Apesar desse suporte teórico-prático e dos bons coeficientes de determinação observados para grande parte dos ajustes, alguns problemas foram observados. Com frequência formaram-se matrizes jacobianas singulares durante o processo de ajuste, tornando a estimativa dos parâmetros impossível (Draper & Smith, 1981; Ratkowski, 1983; Gallant, 1987). As variâncias das estimativas dos parâmetros foram elevadas em diversas situações, o que dificulta a comparação dos resultados. A análise dos procedimentos de ajuste deve auxiliar na detecção das causas desses problemas.

É possível que a variabilidade inerente aos dados do presente experimento tenha sido excessiva para a obtenção de resultados satisfatórios dos ajustes da equação de Richards. Segundo Causton & Venus (1981), a obtenção de valores elevados das variâncias das estimativas dos parâmetros da equação de Richards é um problema não resolvido. A equação polinomial exponencial cúbica também apresenta problemas. Ela pode produzir formas pouco convenientes para parâmetros derivados (ex. TCR) dos dados primários ajustados e a seus parâmetros não podem ser atribuídos significados biológicos (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)). Mas, com os mesmos lotes de dados utilizados para ajustes da equação de Richards, conseguiu-se produzir estimativas de parâmetros com elevada precisão estatística. Essa constatação exemplifica as dificuldades matemático-

estatísticas da regressão não-linear em geral e da equação de Richards em especial.

O aspecto mais elementar é a aceitação da adequação do modelo aos dados. Os ajustes discutidos no item 4.2.2. (Figuras 13 e 14) e os ajustes de dados foliares baseados na escala de TC (Figura 21) mostraram problemas na região do ponto de inflexão. Baseado no esquema de crescimento 'S' (Obrucheva & Kovalev, 1979; Quadro 6) discutiu-se a incapacidade da equação de Richards em simular fases de desenvolvimento com aceleração de crescimento nula. A complexidade das interações entre os processos determinantes do crescimento sugerem justamente a possibilidade de ocorrência de padrões desse tipo.

As premissas estatísticas tradicionais associadas ao processo de regressão são independência, normalidade, aditividade e homocedasticidade.

A independência foi garantida pela coleta destrutiva dos dados. Não existem medidas em indivíduos repetidos, o que evita erros correlacionados (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b)). Normalidade e heterocedasticidade foram facilitadas pela transformação logarítmica dos dados (Causton & Venus, 1981; Hunt, 1982 (b); Craw & Shimizu, 1989; Finney, 1989).

As distribuições das estimativas dos parâmetros para regressões não-lineares dificilmente são normais (Draper & Smith, 1981; Ratkowski, 1983; Gallant, 1987; Bates & Watts, 1988) e nessas circunstâncias não são precisas. Nesses casos os resultados são aceitos quando o desvio em relação à normalidade não for acentuado (Venus & Causton, 1979 (a); Causton & Venus, 1981). Essa conclusão não pode ser extrapolada para situações em que ocorrem estimativas de parâmetros com elevadas variâncias.

A diferença entre modelos de regressão linear e não-linear pode ser avaliada em termos geométricos (Draper & Smith, 1981; Ratkowski, 1983; Bates & Watts, 1988). A função para a soma de quadrados dos erros é regular na regressão linear e irregular para a não-linear. O processo de ajuste de modelos não-lineares se baseia na procura de regiões em que o comportamento da função para

a soma de quadrados dos erros seja aproximadamente igual ao observado para regressões lineares. Quando essa aproximação não se concretiza, o uso do conceito de quadrados mínimos para o processo de ajuste é inadequado, o resultado instável, incerto e impreciso.

O estudo das características estatísticas da equação de Richards (Ratkowski, 1983) sugere que a instabilidade do modelo pode ser atribuída ao caráter acentuadamente não-linear de três dos quatro parâmetros ('B', ' κ ' e ' v '). Os valores elevados das variâncias das estimativas dos parâmetros observados no presente trabalho podem estar refletindo uma instabilidade correspondente.

Os procedimentos de regressão não-linear empregados para a determinação das estimativas dos parâmetros da equação de Richards podem ter comprometido o resultado obtido. Os problemas possíveis foram falta de convergência, estimativas iniciais dos parâmetros inadequadas e formação de matrizes jacobianas singulares.

A falta de convergência só ocorreu num limitado número de lotes de dados foliares. Em todas essas situações a avaliação dos dados mostrou que as suas características eram inadequadas ou incompletas para justificar a obtenção de bons resultados para o ajuste da equação de Richards.

A instabilidade da superfície de respostas de modelos não-lineares exige a precisa definição de estimativas iniciais dos parâmetros (Causton, 1969; Causton & Venus, 1981; Draper & Smith, 1981; Ratkowski, 1983; Bates & Watts, 1988), sob pena de o resultado convergir para um mínimo local.

O procedimento de determinação das estimativas iniciais para os parâmetros foi extraído de uma referência na literatura (Causton & Venus, 1981). Na prática do presente trabalho o algoritmo não se mostrou adequado. As estimativas iniciais dos parâmetros sempre levavam à equação de Gompertz, um dos sub-tipos definidos pela equação de Richards. As características dos ajustes produzidos por estes valores iniciais não se mostraram satisfatórias e se resumem a três tipos de situações: a) O procedimento de regressão não-linear do SAS não convergiu. b) Os resultados dos ajustes tinham baixos valores para os coeficientes de determinação. c) Os ajustes,

apesar de bons coeficientes de determinação, produziam equações cuja fase ascendente da curva não correspondia à região ocupada pelos dados usados no ajuste.

Mudanças empíricas foram capazes de produzir os resultados apresentados. Não há garantia de que essas mudanças sejam adequadas para a obtenção de boas estimativas iniciais para os parâmetros da equação de Richards, mas foram melhores que as produzidas pelo algoritmo original.

A formação de matrizes jacobianas singulares foi observada para uma série de lotes de dados. Os sucessivos passos iterativos do procedimento de regressão não-linear acumulam erros de arredondamento, que são crescentes à medida que aumenta a quantidade de dados e iterações. A formação de matrizes jacobianas singulares durante o processo iterativo da regressão não-linear pode ser consequência da combinação de três características: uma quantidade elevada de dados para o processo de regressão, um número grande de iterações e a limitada precisão numérica oferecida pelo sistema computacional (Kennedy & Gentle, 1980). Sob estes aspectos, as matrizes jacobianas singulares podem ser consequência ou da instabilidade do modelo face aos dados disponíveis ou de uma limitação do sistema computacional.

4.4. Considerações sobre o Estudo do Crescimento nos Diferentes Níveis de Organização

A necessidade da análise simultânea de dados dos diversos níveis de organização da planta é premente para integrar os resultados produzidos por trabalhos que se concentram em um único nível de organização. O trabalho de Causton & Venus (1981) pareceu oferecer um arcabouço ideal para implementar uma pesquisa com este intuito.

Os problemas enfrentados na obtenção de uma equação para a análise quantitativa limitam a análise das características de crescimento em termos numéricos, mas não esgotam a discussão sobre a metodologia.

A avaliação dos dados obtidos nos níveis 2 (ex. folhagem, Figuras 2 a 4 e 7 a 9) e 3a (ex. folhas individuais, Figuras 11 e 12), guardadas as devidas proporções, mostra que os últimos apresentam dados muito mais dispersos que os primeiros. Se a precisão estatística das análises para os dois tipos de dados for diferente, a comparação dos resultados será prejudicada.

O estudo do crescimento num nível de organização deve se conformar a um grau de precisão correspondente. A precisão numérica necessária para a avaliação do crescimento foliar é obrigatoriamente maior do que a do crescimento da planta. Um raciocínio equivalente se aplica aos fatores condicionantes do crescimento em cada nível. A radiação medida no topo da cultura, por exemplo, pode ser considerada uniforme ao nível de planta e dossel, mas pode variar consideravelmente ao nível das folhas. É possível, então, que folhas crescendo simultaneamente num dossel estejam expostas a condições diferentes, decorrentes da variabilidade espacial dos fatores, que é desconsiderada. As dificuldades observadas para a descrição do crescimento foliar (nível 3a, item 4.2.4) podem, portanto, ser consequência da presença de variabilidade decorrente da falta de condições uniformes para o crescimento dentro do dossel.

5. CONCLUSÕES

O crescimento das plantas no período de cultivo tradicional (novembro) superou em duas a três vezes o observado na outra época (fevereiro). A diferença foi atribuída a um período mais longo de desenvolvimento com condições ambientais mais favoráveis.

O uso do índice de plastochron para a representação do desenvolvimento das plantas e dos seus componentes resultou em uma acentuada uniformização dos dados e sugeriu padrões de crescimento mais consistentes que os produzidos pela escala de tempo cronológico. Apesar disso, a sua aplicação está limitada à fase vegetativa do desenvolvimento.

Baseado nos coeficientes de determinação e na análise de resíduos, tanto a equação de Richards quanto a equação polinomial exponencial cúbica apresentaram diversos conjuntos de dados com bons ajustes para o crescimento. A equação polinomial exponencial cúbica tendeu a ser melhor para os dados de planta e de ramos individuais, ao passo que a equação de Richards determinou melhores resultados para os dados foliares. Devido à melhor correspondência de seus parâmetros à realidade biológica, a equação de Richards deve ser usada preferencialmente. A ocorrência de instabilidades matemático-estatísticas e de elevadas variâncias para as estimativas dos seus parâmetros em diversas situações, exigem, contudo, uma avaliação caso a caso dos resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSTIN, R.B. A study of the growth and yield of the red-beet from a long-term manurial experiment. *Annals of Botany* 28: 637-46, 1964.
- AUSTIN, R.B.; NELDER, J.A.; BERRY, G. The use of a mathematical model for the analysis of manurial and weather effects on the growth of carrots. *Annals of Botany* 28: 153-62, 1964.
- BARD, Y. *Nonlinear parameter estimation*. New York, Academic Press, 1974. 341 p.
- BARLOW, P.W. 'The plant forms cells, not the cells the plant': the origin of the Bayr's aphorism. *Annals of Botany* 49: 269-71, 1982.
- BARLOW, E.W.R. Water relations of expanding leaves. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 45-58, 1986.
- BARTHOUE, H. Cinétique de croissance des entre-nœuds de la tige principale du soja (*Glycine max* L. Merr.). *Phyton* 53: 11-28, 1992.
- BARTHOUE, H. & BUIS, R. Morphogenese foliaire et activité photosynthétique chez la soja (*Glycine max*). *Canadian Journal of Botany* 66: 1039-46, 1987.
- BATES, D.M. & WATTS, D.G. *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York, John Wiley & Sons, 1988. 365 p.
- BAZZAZ, F.A. & HARPER, J.L. Demographic analysis of the growth of *Linum usitatissimum*. *New Phytologist* 78: 193-208, 1977.
- BEADLE, C.L. Plant growth analysis. In COOMBS, J.; HALL, D.O.; LONG, S.P.; SCURLOCK, J.M.O. *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. Oxford, Pergamon Press, 1987. p. 20-5.
- BEGONIC, G.B.; HESKETH, J.D.; FREDERICK, J.R.; FINKE, R.L.; PETTIGREW, W.T. Factors affecting leaf duration in soybean and maize. *Photosynthetica* 21: 285-95, 1987.
- BENJAMIN, L.R. & HARDWICK, R.C. Sources of variation and measures of variability in even-aged stands of plants. *Annals of Botany* 58: 757-78, 1986.
- BERLATO, A.M. Bioclimatologia da soja. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C. *A soja no Brasil*. Campinas, ITAL, 1981. p. 175-184.
- BLACKMAN, G.E. & RUTTER, A.J. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. III. The interaction

- between light intensity and mineral nutrient supply in leaf development and in net assimilation rate of the Blackbell (*Scilla non-scripta*). *Annals of Botany* 12: 1-20, 1948.
- BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. IV. The constancy for different species of logarithmic relationship between net assimilation rate and light intensity and its ecological significance. *Annals of Botany* 15: 63-94, 1951 (a).
- BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. VII. An analysis of the differential effects of light intensity on the net assimilation rate, leaf area ratio and relative growth rate of different species. *Annals of Botany* 15: 373-408, 1951 (b).
- BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. IX. Adaptive changes in the vegetative growth and development of *Helianthus annuus* induced by alteration in light level. *Annals of Botany* 18: 73-94, 1954.
- BOARD, J.E. & SETTIM, J.R. Photoperiod requirements for flowering and flower production in soybean. *Agronomy Journal* 80: 518-25, 1988.
- BOOR, C de. On calculating with B-Splines. *Journal of Approximation Theory* 6: 50-62, 1972.
- BOUDOT, G.W.; FIELD, R.J.; WHITE, J.H.G. Growth analysis of *Achillea millefolium* L. (yarrow) in the presence and absence of a competitor - *Hordeum vulgare* L. (barley). *New Phytologist* 101: 507-19, 1985.
- BRAND, D.G.; WEETMAN, G.F.; REHSLER, P. Growth analysis of perennial plants: the relative production rate and its yield components. *Annals of Botany* 59: 45-53, 1987.
- BUFF, E.; BAAKE, M.; SIEVERS, A. An empirical function for the description of root growth. *Plant Physiology* 83: 685-90, 1987.
- BUIS, R. On the generalization of the logistic law of growth. *Acta Biotheoretica* 39: 185-95, 1991.
- BUIS, R.; BARTHOU, H.; FREZOULS, M. Relations dimensionnelles inter-feuilles: mise en évidence d'action locales et à distance. *Bulletin de la Société Botanique de France: Lettres Botanique* 134: 107-14, 1987.
- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C.; TORRES, A.C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 1: 1-7, 1989 (a).

- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C.; TORRES, A.C. Ajuste de funções não lineares de crescimento. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 1: 9-18, 1989 (b).
- CALOIN, M. & YU, O. An extension of the logistic model of plant growth. *Annals of Botany* 49: 599-607, 1982.
- CAMARGO, M.B.P. Exigências bioclimáticas e estimativa de produtividade para quatro cultivares de soja no estado de São Paulo. Piracicaba, 1984. 96 p. (M.S. - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz"/USP)
- CARLSON, D.R. & BRUN, W.A. Effect of the reproductive sink on ^{14}C - assimilate partitioning between starch and water soluble compounds in soybean leaves. *Crop Science* 25: 283-8, 1985.
- CAO, W. & MOSS, D.N. Temperature and daylength interaction on phyllochron in wheat and barley. *Crop Science* 29: 1046-8, 1989.
- CATSKY, J. & TICHÁ, I. Photosynthetic characteristics during ontogenesis of leaves. 6. Intracellular conductance and its components. *Photosynthetica* 16: 253-84, 1982.
- CAUSTON, D.R. A computer program for fitting the Richards function. *Biometrics* 25: 401-9, 1969.
- CAUSTON, D.R. & DALE, M. The momomolecular and rectangular hyperbola as empirical models of the response of photosynthetic rate of photon flux density, with application to three *Veronica* species. *Annals of Botany* 65: 389-94, 1990.
- CAUSTON, D.R. & VENUS, J.C. *The biometry of plant growth*. London, Edward Arnold, 1981. 301 p.
- CHARLES-EDWARDS, D.A. *Physiological determinants of crop growth*. Sydney, Academic Press, 1982. 161 p.
- CHEESEMAN, J.M. & WICKENS, L.K. Control of Na^+ and K^+ transport in *Spergularia marina*. III. Relationship between ion uptake and growth at moderate salinity. *Physiologia Plantarum* 67: 15-22, 1986.
- CLARK, S.C. Reproductive and vegetative performances in two winter annual grasses, *Catapodium rigidum* (L.) C.E. Hubbard and *C. maritimum* (L.) C.E. Hubbard. 2. Leaf-demography and its relationship to the production of caryopses. *New Phytologist* 84: 79-93, 1980.
- COELHO, D.T & DALE, R.F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. *Agronomy Journal* 72: 503-10, 1980.

- COOMBE, D.E. An analysis of the growth of *Trema guineensis*. *Journal of Ecology* 48: 219-31, 1960.
- CRAFTS-BRANDER, S.J. & EGLI, D.B. Modification of seed growth in soybean by physical restriction: the effect of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany* 38: 2043-49, 1987 (a).
- CRAFTS-BRANDER, S.J. & EGLI, D.B. Sink removal and the senescence in soybean. Cultivar effects. *Plant Physiology* 85: 662-6, 1987 (b).
- CRAW, E.L. & SHIMIZU, K. *Lognormal distributions. Theory and application*. New York, Marcel Dekker, Inc. 1988. 387 p.
- CUSSET, G. Les models sigmoides en biologie vegetale. *Acta Biotheoretica* 39: 197-205, 1991.
- DALE, J.E. The control of leaf expansion. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39: 267-95, 1988.
- DALE, J.P. Piecewise regression using cubic splines. *Journal of the American Statistical Association* 68: 515-24, 1973.
- DANIEL, C. & WOOD, F.S. *Fitting equations to data: computer analysis of multifactor data for scientists and engineers*. New York, John Wiley, 1980. 342 p.
- DAYDE, J. & ECOCHARD, R. Elaboration de la matiere seche chez la soja. I. Comparaison des types determine et indetermine. *Agronomie* 5: 127-34, 1984.
- DAYER, L.M. & STEWART, D.W. Leaf area development in field-grown maize. *Agronomy Journal* 78: 334-43, 1986.
- DENFER, D. von; ZIEGLER, H.; EHRENDORFER, F.; BRESINSKY, A. *Strasburger, Lehrbuch der Botanik*. Stuttgart, Gustav Fischer, 1983. 1164 p.
- DENNETT, M.D. & AULD, B.A. The effects of position and temperature on the expansion of leaves in *Vicia faba* L. *Annals of Botany* 46: 511-7, 1980.
- DENNETT, M.D.; AULD, B.A.; ELSTON, J. A description of leaf growth in *Vicia faba* L. *Annals of Botany* 42: 223-32, 1978.
- DENNETT, M.D.; ELSTON, J.; MILFORD, J.R. The effect of temperature on the growth of individual leaves of *Vicia faba* L. in the field. *Annals of Botany* 43: 197-208, 1979.
- DIJKSTRA, P. & LAMBERS, H. Analysis of specific leaf area and photosynthesis of two inbred lines of *Plantago major* differing in relative growth rate. *New Phytologist* 113: 283-290, 1989.

- DOUST, J.L. Demographic growth analysis. *Trends in Ecology and Evolution* 6: 30, 1991.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York, John Wiley & Sons, 1981. 709 p.
- EAGLES, C.F. & OTHMAN, C.B. Variation in growth attributes of contrasting populations of *Trifolium repens*. *Annals of Applied Biology* 108: 619-28, 1986.
- EGLI, D.B.; GUFFY, R.D.; LEGGETT, J.E. Partitioning of assimilate between vegetative and reproductive growth in soybean. *Agronomy Journal* 77: 917-22, 1985 (a).
- EGLI, D.B.; GUFFY, R.D.; MECKEL, L.W.; LEGGETT, J.E. The effect of source-sink alterations on soybean seed-growth. *Annals of Botany* 55: 395-402, 1985 (b).
- ELIAS, C.O. & CAUSTON, D.R. Studies on data variability and the use of polynomial to describe plant growth. *New Phytologist* 77: 421-30, 1976.
- EMECZ, T.I. Suggested amendments in growth analysis and potentially assessment in relation to light. *Annals of Botany* 26: 517-27, 1962.
- ERICKSON, R.O. Integration of plant growth processes. *American Naturalist* 93: 225-35, 1959.
- ERICKSON, R.O. Modelling of plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* 27: 407-34, 1976.
- ERICKSON, R.O. & MICHELINI, F.J. The plastochron index. *American Journal of Botany* 44: 297-305, 1957.
- ESAU, K. *Anatomia das plantas com sementes*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1974. 293 p.
- EVANS, G.C. *The quantitative analysis of plant growth*. Los Angeles, Blackwell Scientific Publications, 1972. 734 p.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science* 11: 929-31, 1971.
- FERRI, M.G.; MENEZES, N.L.; MONTEIRO-SCANAVACCA, W.R. *Glossário ilustrado de botânica*. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1981. 197 p.
- FINNEY, D.J. Was this in your statistics textbook? V. Transformation of data. *Experimental Agriculture* 25: 165-75, 1989.

- FORD, D.M. & SHIBLES, R. Photosynthesis and other traits in relation to chloroplast number during soybean leaf senescence. *Plant Physiology* 86: 108-11, 1988.
- FRASER, J. & EATON, G.W. Application of yield component analysis to crop research. *Field Crop Abstracts* 36: 787-97.
- FREYMAN, S. Quantitative analysis of growth in Southern Alberta of two barley cultivars grown from magnetically treated and untreated seeds. *Canadian Journal of Plant Science* 60: 463-71, 1980.
- GALLAGHER, J.N. Field studies of cereal leaf growth. *Journal of Experimental Botany* 30: 625-36, 1979.
- GALLAGHER, J.N. & BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science* 91: 47-60, 1978.
- GALLANT, A.R. *Nonlinear statistical models*. New York, John Wiley & Sons, 1987. 610 p.
- GARNIER, E. Resource capture, biomass allocation and growth in herbaceous plants. *Trends in Ecology and Evolution* 6: 126-131, 1991.
- GAZZONI, D.L. Entomofauna da soja. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C. *A soja no Brasil*. Campinas, ITAL. 1981. p. 569-593.
- GBIKPI, P.J. & CROOKSLON, R.K. Effect of flowering date on accumulation of dry matter and protein in soybean seeds. *Crop Science* 21: 625-5, 1981.
- GENT, M.P.N. Rate of increase in size and dry weight of individual pod of field grown soya bean. *Annals of Botany* 51: 317-29, 1983.
- GUIAMET, J.J.; WILLEMOES, J.G.; MONTALDI, E.R. Modulation of progressive leaf senescence by the red:far-red ratio of incident light. *Botanical Gazette* 150: 148-51, 1989.
- GULDAN, S.J. & BRUN, W.A. Relationship of soybean cell number and seed respiration to soybean seed growth. *Crop Science* 25: 815-9, 1985.
- HARDWICK, R.C. Some recent developments in growth analysis - a review. *Annals of Botany* 54: 807-12, 1984.
- HARRIS, M.; SMITH, D.L.; MACKENDER, R.O. Growth analysis of soybean seedlings during the lifespan of the cotyledons. *Annals of Botany* 57: 69-79, 1986.
- HAY, R.K.M. & DELÉCOLLE, R. The setting of rates of development of

- wheat plants at crop emergence: influence of the environment on rates of leaf appearance. *Annals of Applied Biology* 115: 333-41, 1989.
- HEROLD, A. Regulation of photosynthesis by sink activity - the missing link. *New Phytologist* 86: 131-44, 1980.
- HOFSTRA, G.; HESKETH, J.D.; MYHRE, D.L. A plastochron model for the soybean leaf and stem growth. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 165-75, 1977.
- HOZUMI, K. Analysis of growth curve of stem volume in some woody species using the u-w diagram. *Botanical Magazine, Tokyo* 100: 87-97, 1987.
- HUGHES, A.P. & FREEMAN, P.R. Growth analysis using frequent small harvests. *Journal of Applied Ecology* 4: 553-60, 1967.
- HUNT, R. Plant growth analysis: the rationale behind the use of the fitted mathematical function. *Annals of Botany* 43: 245-9, 1979.
- HUNT, R. Diurnal progression in dry weight and short-term plant growth studies. *Plant, Cell & Environment* 3: 475-8, 1980.
- HUNT, R. Plant growth analysis: second derivatives and compounded second derivatives of splined plant growth curves. *Annals of Botany* 50: 317-28, 1982 (a).
- HUNT, R. Plant growth curves. *The functional approach to plant growth analysis*. London, Edward Arnold, 1982 (b). 248 p.
- HUNT, R. Relative growth rates of cohorts of ramets cloned from a single genet. *Journal of Ecology* 72: 299-305, 1984.
- HUNT, R. & BAZZAZ, F.A. The biology of *Ambrosia trifolia* L. V. Response of fertilizer, with growth analysis at the organismal and sub-organismal levels. *New Phytologist*, 84: 113-21. 1980.
- HUNT, R. & EVANS, G.C. Classical data on the growth of maize: curve fitting with statistical analysis. *New Phytologist* 86: 155-80, 1980.
- HUNT, R. & PARSONS, I.T. A computer program for deriving growth functions in plant growth analysis. *Journal of Applied Ecology* 11: 295-307, 1974.
- HUNT, R. & PARSONS, I.T. Plant growth analysis: further applications of a recent curve-fitting program. *Journal of Applied Ecology* 14: 965-8, 1977.
- HUNT, R.; WARREN WILSON, J.; HAND, D.W. Integrated analysis of resource capture and utilization. *Annals of Botany* 65: 643-8,

1990.

- HURD, R.G. Vegetative plant growth analysis in controlled environments. *Annals of Botany* 37: 779-87, 1977.
- JACK, S.B. & LONG, J.N. Structure, production and leaf area dynamics: a comparison of lodgepole pine and sunflower. *Annals of Botany* 68: 247-52, 1991.
- JEUNE, B. Etude biométrique du développement des folioles de *Parkinsonia aculeata* (Leguminosae). *Canadian Journal of Botany* 61: 87-92, 1983.
- JOLLIFFE, P.A. & COURTNEY, W.H. Plant growth analysis: additive and multiplicative components of growth. *Annals of Botany* 54: 243-254, 1984.
- JOLLIFFE, P.A.; EATON, G.W.; DOUST, J.L. Sequential analysis of plant growth. *New Phytologist* 92: 287-96, 1982.
- JOLLIFFE, P.A.; EATON, W.; POTDAR, M.V. Plant growth analysis: allometry, growth and interference in orchardgrass and timothy. *Annals of Botany* 62: 31-42, 1988.
- JOLLIFFE, P.A.; TARIMO, A.J.P.; EATON, G.W. Plant growth analysis and yield component responses to population density in forage maize. *Annals of Botany* 65: 139-47, 1990.
- KENNEDY, W.J & GENTLE, J.E. *Statistical computing*. New York, Marcel Dekker, Inc., 1980. 591 p.
- KIMBALL, B.A. Smoothing data with cubic spline. *Agronomy Journal* 68: 126-9, 1976.
- KRAJEWSKI, P. Heterogeneity of variance in field experiments: some cause and practical implications. *Journal of Agricultural Science* 115: 83-93, 1990.
- KRAUSE, G.F.; SIEGEL, P.B.; HURST, D.C. A probability structure for growth curves. *Biometrics* 23: 217-25, 1967.
- KVET, J.; ONDOK, J.P.; NECAS, J.; JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In SESTÁK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. *Plant photosynthetic production: manual of methods*. The Hague, Dr. W. Junk N.V., 1971. p. 343-91.
- LAMOURAUX, R.J.; CHANEY, W.R.; BROWN, K.M. The plastochron index: a review after two decades of use. *American Journal of Botany* 65: 586-93, 1978.
- LANCASTER, P. & SALKAUSKAS, K. *Curve and surface fitting. An introduction*. London, Academic Press, 1986. 280 p.

- LANDES, A. & PORTER, J.R. Comparison of scales used for categorising the development of wheat, barley, rey and oats. *Annals of Applied Biology* 114: 343-60, 1989.
- LAZOF, D.; BERNSTEIN, N.; LAEUCHLI, A. Growth and development of the *Lactuca sativa* shoot as affected by NaCl stress: consideration of leaf developmental stages. *Botanical Gazette* 152: 72-6, 1991.
- LOOMIS, R.S.; RABBINGE, R.; NG, E. Explanatory models in crop physiology. *Annual Review of Plant Physiology* 30: 339-67, 1979.
- LORENZ, K. *Die Rückseite des Spiegels*. München, DTV, 1977. 318 p.
- MACHADO, E.C. Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). Campinas, 1981. 115 p. (M.S. - Instituto de Biologia - UNCIAMP.)
- MAILLARD, P.; JACQUES, M.; MIGINIAC, E.; MILLET, B. Mathematical growth analysis of young *Terminalia superba* plants in a controlled environment: comparison of growth rhythmus of the principal axis and of axillary branches. *Annals of Botany* 64: 95-105, 1989.
- MAKSYMOWYCH, R. *Analysis of leaf development*. London, Cambridge University Press, 1973.
- MARIKO, S. Plant growth in relation to ontogenetic changes in productive characteristics of *Helianthus annuus* and *Zinia elegans* leaves. *Botanical Magazine, Tokyo* 101: 443-58, 1988.
- MCCAULY, M. & COXDALE, J. Establishment of plastochron index for *Dianthus chinensis* L. *American Journal of Botany* 71: 1373-81, 1984.
- MCGRAW, J.B. & GARBUTT, K. The analysis of plant growth in ecological and evolutionary studies. *Trends in Ecology and Evolution* 5: 251-4, 1990.
- MCGRAW, J. & GARBUTT, K. Reply ... *Trends in Ecology and Evolution* 6: 31, 1991.
- MEICENHEIMER, R.D. Cellular basis for growth and tissue differentiation patterns in *Linum usitatissimum* (Linaceae) stems: the stem unit. *American Journal of Botany* 79: 914-20, 1992.
- MILFORD, G.F.J.; POCOCK, T.O.; JAGGERD, K.W.; BISCOE, P.V.; ARMSTRONG, M.J.; LAST, P.J.; GOODMAN, P.J. An analysis of leaf growth in sugar beet. I. Leaf appearance and expansion in relation to temperature under controlled condition. *Annals of Applied Biology* 106: 163-72, 1985.

- MILTHORPE, F.L. & MOORBY, J. *An introduction to crop growth physiology*. Cambridge, Cambridge University Press, 1979. 244 p.
- MIRANDA, M.A.C.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.N.; GALLO, P.B.; LÉLIS, L.G.L.; TAVARES, D.Q.; COSTA, A.S. *Cultivar de soja IAC-14*. Campinas, Instituto Agronômico, 1988. Comunicado Técnico.
- MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.V.C.N.; GALLO, P.B.; LÉLIS, L.G.L. *Cultivar de soja IAC-15*. Campinas, Instituto Agronômico, 1989 (a). Comunicado Técnico.
- MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.V.C.N.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M. *Cultivar de soja IAC-16, para rotação com cana-de-açúcar*. Campinas, Instituto Agronômico, 1989 (b). Comunicado Técnico.
- MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C. No estado de São Paulo. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C. *A soja no Brasil*. Campinas, ITAL. 1981. p. 569-593.
- MONDAL, M.H.; BRUN, W.A.; BRENNER, M.L. Effects of sink removal on photosynthesis and senescence in leaves of soybean (*Glycine max* L.) plants. *Plant Physiology* 61: 394-7, 1978.
- MOORBY, J. Can models hope to guide change. *Annals of Botany* 60 (Supp. 4): 175-88, 1987.
- MORI, T.E.S.; Magalhães, A.C.N.; Sodek, L. Assimilate between determined leaves and fruits of soybean (*Glycine max* L. Merr.) *Revista Brasileira de Botânica* 8: 87-91, 1985.
- MORGAN, P.H.; MERCER, L.P.; FLODIN, N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 61: 427-9, 1975.
- MOSIMANN, J.E & CAMPBELL, G. Applications in biology: simple growth models. In CROW, E.L. & SHIMIZU, K. *Lognormal distributions. Theory and applications*. New York, Marcel Dekker, Inc., 1988. p. 287-302.
- MUTSAERS, H.J.W. Leaf growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) 2. The influence of temperature, light, water stress and root restriction on the growth and initiation of leaves. *Annals of Botany* 51: 521-9, 1983.
- NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics* 17: 89-110, 1961.
- NEWMANN, P.M.; TUCKER, A.T.; NOODÉN, L.D. Characterization of leaf senescence and pod development in soybean explants. *Plant Physiology* 72: 182-5, 1983.

- NICHOLLS, A.O. & CALDER, D.M. Comments on the use of regression analysis for the study of plant growth. *New Phytologist* 72: 571-81, 1973.
- NOGUEIRA Jr., S.; ARAÚJO, P.F.C.; YAMAGUISHI, C.T. Considerações sobre a economia da soja. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C. *A soja no Brasil*. Campinas, ITAL. 1981. p. 1019-34.
- NOITSAKIS, B. Le poids spécifique des feuilles: un indice de production de quatre graminées fourragères. *Agronomie* 6: 115-7, 1986.
- NOODÉN, L.D. & GUIAMÉT, J.J. Regulation of assimilation and senescence by the fruit in monocarpic plants. *Physiologia Plantarum* 77: 267-74, 1989.
- NOODÉN, L.D. & MAUK, C.S. Changes in the mineral composition of soybean sap during monocarpic senescence and alterations by depodding. *Physiologia Plantarum* 70: 735-42, 1987.
- OBRUCHEVA, N.V. & KOVALEV, A.G. Physiological interpretation of sigmoidal curves of organ growth in plants. *Soviet Plant Physiology* 26: 832-44, 1979.
- ONDOCK, I.R. & FINERAN, B.A. Internodal growth in seed plants. *Phytomorphology* 28: 105-13, 1978.
- PARSONS, I.T. & HUNT, R. Plant growth analysis: a program for the fitting of length series of data by method of B-splines. *Annals of Botany* 48: 341-52, 1981.
- PATEL, J.K. & CAMPBELL, B.R. *Handbook of the normal distribution*. New York, Marcel Dekker, Inc., 1982. 337 p.
- PEDRO Jr., M.; MASCARENHAS, M.A.A.; TISSELI Filho, O.; ANGELOCCI, L.R. Análise de crescimento em soja. *Turrialba* 35: 323-7, 1985.
- PEREIRA, A.R. & ARRUDA, H.V. *Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 50 p.
- PEREIRA, A.R. & MACHADO, E.C. *Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. Boletim Técnico 114. 33 p.
- POORTER, H. & LEWIS, C. Testing differences in relative growth rate: a method avoiding growth curve fitting and pairing. *Physiologia Plantarum* 67: 223-6, 1986.
- POTTER, J.R. & JONES, J.W. Leaf area partitioning as an important factor in growth. *Plant Physiology* 59: 10-4, 1977.
- RATKOWSKY, D.A. *Nonlinear regression modelling*. New York, Marcel

- Dekker, Inc., 1983. 276 p.
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; REITER, H.; CANTARELLA, H.; BELLUNAZZI, H.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Boletim 100. Campinas, Instituto Agrônomo, 1985. 107 p.
- REINSCH, C.H. Smoothing by spline functions. *Numerische Mathematik* 10: 177-83, 1967.
- RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10: 290-300, 1959.
- RITTERBUSCH, A. Comparison of temporal patterns in flower ontogenesis by means of normalized-age sequences. *Annals of Botany* 64: 179-83, 1989.
- RITTERBUSCH, A. The construction of plastochron ordered sequences in flower ontogenesis. *Flora* 184: 313-23, 1990 (a).
- RITTERBUSCH, A. The measure of biological age in plant modular systems. *Acta Biotheoretica* 38: 113-24, 1990 (b).
- RITTERBUSCH, A. & WUNDERLIN, V. On growth and development - a spatio temporal analysis of flower ontogenesis. *Environmental and Experimental Botany* 29: 111-21, 1989.
- RUSSELLE, M.P.; WILHELM, W.W.; OLSON, R.A.; POWER, J.F. Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32, 1984.
- RUSSIN, W.A.; CLAYTON, M.K.; DUBIN, R.D. Modelling nonexponential growth of a short-cycling plant, *Tagetes erecta* (Asteraceae). *Canadian Journal of Botany* 69: 316-20, 1991.
- SAS INSTITUTE INC. *SAS Users guide: Statistics, Version 5 Edition*. Cary, SAS Institute Inc., 1985. 956 p.
- SILK, W.K. Plastochron indices in cataloupe grown on an irrigation line source. *Botanical Gazette* 141: 73-8, 1980.
- SILVERMAN, B.W. Some aspects of the spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting. *Journal of the Royal Statistical Society B* 47: 1-52, 1985.
- SINGER, S.R. Analyzing growth in cell cultures. I. Calculation of growth rates. *Canadian Journal of Botany* 64: 233-7, 1986.
- SINGER, S.R. & McDANIEL, C.N. Analyzing growth in cell cultures. II. Effect of initial cell mass on growth. *Canadian Journal of Botany* 64: 238-41, 1986.
- SITH, R.J. Rethinking allometry. *Journal of Theoretical Biology* 87:

97-11, 1980.

- SMIT, M.A. Interaction between yield components and interplant competition of soybeans. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, V., Buenos Aires, 1989. *Proceedings*. Buenos Aires, 1989. p. 302-7.
- SMITH, C.A.B. *Biomathematics. Numerical methods, matrices, probability, statistics*. London, Charles Griffin & Company Limited, 1969. 682 p. (Volume 2)
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. *Statistical methods*. Ames, Iowa State University Press, 1989. 503 p.
- SNYDER, F.W. & BUNCE, J.A. Use of the plastochron index to evaluate effects of light, temperature and nitrogen on the growth of soya bean (*Glycine max* L. Merr.). *Annals of Botany* 52: 895-903, 1983.
- SNYDER, W.M. & HARPER, L.A. Significance testing for differences in integrals, functions and slopes using sliding polynomials. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32: 1309-15, 1989.
- SPITTERS, C.J.T. & KRAMER, T. Changes in relative growth rate with plant ontogeny in spring wheat genotypes grown as isolated plants. *Euphytica* 34: 833-47, 1988.
- STAHL, R.S. & MCCREE, K. Ontogenetic changes in the respiration coefficients of grain sorghum. *Crop Science* 28: 111-3, 1988.
- STEER, B.T. The dynamics of leaf growth and photosynthetic capacity in *Capsicum frutescens*. *Annals of Botany* 35: 1002-15, 1971.
- STRAND, E. Causes of variation in the lengths of growth and the heat sum requirements of cereal cultivars. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 1: 119-29, 1987.
- TEASDALE, R.D. Application of growth analysis to trace element nutrition: study of copper uptake with loblolly pine (*Pinus taeda*) cell suspension culture. *Journal of Experimental Botany* 35: 1495-1506, 1984.
- THOMAS, H. & POTTER, J.F. Fitting logistic-type curves to extension growth data for leaves of grass species by means of the maximum likelihood program: analysis of leaf extension in *Lolium temulentum* at optimal and chilling temperature. *Environmental and Experimental Botany* 25: 157-63, 1985.
- THORNE, G.N. Variations with age in net assimilation rate and the growth attributes of sugar-beet, potato and barley in a controlled environment. *Annals of Botany* 24: 356-71, 1960.
- THORNE, G.N. Effects of age and environment on net assimilation

- rate of barley. *Annals of Botany* 25: 29-38, 1961.
- THORNLEY, J.H.M. A new formulation of the logistic growth equation and its application to leaf growth. *Annals of Botany* 66: 309-311, 1990.
- THORNLEY, J.H.M. A model of leaf tissue growth, acclimation and senescence. *Annals of Botany* 67: 219-228, 1991.
- THORNLEY, J.H.M.; HAND, D.W.; WARREN WILSON, J. Modelling light absorption and canopy net photosynthesis of glasshouse row crops and application to cucumber. *Journal of Experimental Botany* 43: 383-91, 1992.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATTER, J.R. *The water balance*. Centerton, N.J., Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- TICHÁ, I. & CATSKY, J. Photosynthetic characteristics during ontogenesis of leaves. 5. Carbon dioxide compensation concentrations. *Photosynthetica* 15: 401-28, 1981.
- TOTTMAN, D.R. & BROAD, H. The decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of Applied Biology* 110: 441-54, 1987.
- VENDELAND, J.S.; SINCLAIR, T.T.; SPAETH, S.C.; CORTES, P.M. Assumption of plastochron index: evaluation with soya bean under field drought conditions. *Annals of Botany* 50: 673-80, 1982.
- VENUS, J.C. & CAUSTON, D.R. Confidence limits for Richards functions. *Journal of Applied Ecology* 16: 939-47, 1979 (a).
- VENUS, J.C. & CAUSTON, D.R. Plant growth analysis: the use of the Richards function as an alternative to polynomial exponentials. *Annals of Botany* 43: 623-32, 1979 (b).
- VENUS, J.C. & CAUSTON, D.R. Plant growth analysis: a re-examination of the methods of calculation of relative growth and net assimilation rates without using fitted functions. *Annals of Botany* 43: 633-8, 1979 (c).
- WARREN WILSON, J.; HUNT, R.; HAND, D.W. Philosophical aspects of measurements, equations and inferences in plant growth studies. *Annals of Botany* 58: 73-80, 1986.
- WEGMAN, E.J. & WRIGHT, I.W. Splines in statistics. *Journal of the American Statistical Association* 78: 351-65, 1983.
- WEIS, J.M. Demographic growth analysis. *Trends in Ecology and Evolution* 6: 31, 1991.
- WELLS, R. & MEREDITH Jr., W.R. Comparative growth of obsolete and

- modern cultivars I. Vegetative dry matter partitioning. *Crop Science* 24: 858-62, 1984.
- WICKENS, L.K. & CHEESEMAN, J.M. Application of growth analysis to physiological studies involving environmental discontinuities. *Physiologia Plantarum* 73: 271-7, 1988.
- WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. *Annals of Botany* 10: 41-72, 1946.
- WOLD, S. Spline functions in data analysis. *Technometrics* 16: 1-11, 1974.
- WOODWARD, F.I. The differential temperature of the growth of certain plant species from different altitudes. II. Analysis of the control and morphology of leaf extension and specific leaf area of *Phleum bertolonii* D.C. and *P. alpinum* L. *New Phytologist* 82: 397-405, 1979.
- WOOLLEY, J.T.; ALFICH, R.A.; LARSON, E.M. Direct measurement of irradiance upon phototropic soybean leaves throughout the day. *Crop Science* 24: 614-6, 1984.
- ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-21, 1974.
- ZELAWSKI, W. Aging of the plant organism (A survey of experiments and hypotheses). *Soviet Plant Physiology* 27: 658-64, 1980.

QUADRO 7. Balanço hídrico mensal. Campinas/SP. Armazenamento máximo : 100 mm (Thorntwait & Matter, 1955). Dados normais.

MÊS	TEM.	EP.	PRE.	ARM.	ER.	DEF.	EXC.
JAN	24.0	121	240	100	121	0	119
FEV	24.4	110	191	100	110	0	81
MAR	23.9	110	147	100	110	0	37
ABR	22.0	82	71	89	82	0	0
MAI	19.6	61	65	93	61	0	0
JUN	18.3	50	49	92	50	0	0
JUL	18.2	48	37	82	47	1	0
AGO	19.8	64	37	62	57	7	0
SET	21.0	76	66	56	72	4	0
OUT	22.1	93	124	77	93	0	31
NOV	22.9	103	138	100	103	0	35
DEZ	23.4	115	217	100	115	0	102

TEM - temperatura média (°C)
EP - evapotranspiração potencial (mm)
PRE - precipitação (mm)
ARM - armazenamento (mm)
ER - evapotranspiração real (mm)
DEF - deficiência hídrica (mm)
EXC - excedente hídrico (mm)

QUADRO 8. Caracterização Química do Solo

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	Al	V
(1)	%	(2)	mg/100cm ³ TFSA							%
5.5	2.7	8	0.37	4.8	1.5	2.5	6.67	9.17	0.0	71

(1) pH medido em CaCl₂
(2) extraído em ácido sulfúrico 0.05 N (µg/cm³)

QUADRO 9. Balanço hídrico decendial 1990/1991. Campinas/SP.
Armazenamento máximo : 100 mm (Thorntwait & Mat-
ter, 1955).

MÊS	DEC.	TEM.	EP.	PRE.	ARM.	ER.	DEF.	EXC.
JUL	19	18.0	17	22	58	17	0	0
	20	17.2	15	70	100	15	0	13
	21	14.3	11	23	100	11	0	12
AGO	22	17.3	16	0	86	15	1	0
	23	19.7	21	21	85	21	0	0
	24	16.7	16	13	83	16	0	0
SET	25	18.4	19	29	93	19	0	0
	26	18.6	20	32	100	20	0	0
	27	18.2	19	7	88	18	1	0
OUT	28	23.0	33	10	70	28	5	0
	29	21.9	30	52	92	30	0	0
	30	22.2	35	2	66	28	7	0
NOV	31	23.1	35	47	77	35	0	0
	32	26.3	48	27	62	42	6	0
	33	23.4	37	14	49	27	10	0
DEZ	34	24.6	42	17	38	28	14	0
	35	23.4	38	39	39	38	0	0
	36	23.1	41	40	39	40	1	0
JAN	01	22.9	36	26	35	30	6	0
	02	22.7	35	165	100	35	0	65
	03	23.4	41	215	100	41	0	174
FEV	04	22.5	33	210	100	33	0	177
	05	23.0	35	30	96	35	0	0
	06	22.6	26	2	75	23	4	0
MAR	07	22.7	33	98	100	33	0	40
	08	22.7	32	36	100	32	0	4
	09	20.2	27	214	100	27	0	188
ABR	10	21.7	28	8	82	26	2	0
	11	21.8	28	51	100	28	0	6
	12	19.1	20	75	100	20	0	55
MAI	13	10.0	20	18	99	20	0	0
	14	18.8	19	23	100	19	0	3
	15	19.2	21	55	100	21	0	34
JUN	16	18.4	17	0	84	16	1	0
	17	18.5	18	0	70	14	4	0
	18	17.6	16	32	87	16	0	0

TEM - temperatura média (°C)
EP - evapotranspiração potencial (mm)
PRE - precipitação (mm)
ARM - armazenamento (mm)
ER - evapotranspiração real (mm)
DEF - deficiência hídrica (mm)
EXC - excedente hídrico (mm)

QUADRO 10. Dados agrometeorológicos do experimento

Data	Tm °C	GD1 °C dia	GD2 °C dia	P mm	RFA MJ m ⁻²	RG E m ⁻²
22/11	25.4	11.4		0.0	49.17	25.87
23/11	25.3	22.7		0.0	38.24	20.24
24/11	22.0	30.7		0.8	26.40	13.66
25/11	23.3	40.0		0.0	53.83	28.06
26/11	24.7	50.7		0.0	47.48	25.23
27/11	25.0	61.7		11.6	37.95	19.90
28/11	23.7	71.4		0.0	53.61	28.94
29/11	23.4	80.8		0.0	48.86	27.65
30/11	24.6	91.4		0.0	52.96	28.93
01/12	27.3	104.7		0.0	52.93	28.26
02/12	27.5	118.2		0.0	56.23	29.68
03/12	27.7	131.9		0.0	44.32	23.99
04/12	26.7	144.6		0.0	41.15	21.79
05/12	27.1	157.7		0.0	35.81	18.74
06/12	26.7	170.4		0.0	43.91	22.36
07/12	25.7	182.1		0.0	22.96	11.74
08/12	23.2	191.3		9.2	38.08	19.55
09/12	23.0	200.3		0.0	31.08	15.70
10/12	25.2	211.5		0.0	29.25	14.78
11/12	25.2	222.7		0.4	31.89	16.01
12/12	26.3	235.0		21.8	35.87	18.62
13/12	26.1	247.1		0.0	22.51	11.13
14/12	24.0	257.1		12.2	17.56	8.21
15/12	22.5	265.6		21.6	29.29	14.96
16/12	26.0	277.6		0.0	44.84	25.74
17/12	26.2	289.8		0.0	58.01	30.87
18/12	26.1	301.9		0.0	45.09	23.89
19/12	26.3	314.2		0.0	50.77	27.45
20/12	24.6	324.8		16.6	40.60	21.10
21/12	25.4	336.2		0.6	52.29	28.07
22/12	25.1	347.3		0.0	54.91	29.94
23/12	26.7	360.0		2.0	55.18	30.55
24/12	25.5	371.5		2.4	41.16	21.72
25/12	25.1	382.6		30.0	44.91	23.86
26/12	23.0	391.6		0.0	43.22	23.34
27/12	24.7	402.3		0.0	52.51	27.97
28/12	24.3	412.6		0.0	55.51	30.54
29/12	17.6	416.2		0.0	18.90	9.45
30/12	18.7	420.9		7.4	58.49	31.37
31/12	22.0	428.9		0.0	54.29	29.23

(continua)

Tm - Temperatura média

GD1 - Graus-dias acumulados do primeiro período de plantio

GD2 - Graus-dias acumulados do segundo período de plantio

P - Precipitação

RFA - Radiação fotossinteticamente ativa

RG - Radiação global

QUADRO 10. Dados agrometeorológicos do experimento

Data	Tm °C	GD1 °C dia	GD2 °C dia	P mm	RFA MJ m ⁻²	RG E m ⁻²
01/01	23.6	438.5		0.0	51.96	27.88
02/01	25.1	449.6		0.0	51.68	27.61
03/01	24.4	460.0		0.0	32.95	17.09
04/01	21.7	467.7		9.2	18.96	9.21
05/01	22.4	476.1		3.8	48.17	25.16
06/01	23.5	485.6		0.0	52.87	27.97
07/01	25.0	496.6		0.0	52.39	32.15
08/01	26.3	508.9		0.0	45.50	24.09
09/01	27.0	521.9		0.0	47.20	25.13
10/01	25.0	532.9		0.0	41.14	21.43
11/01	24.0	542.9		7.2	20.62	10.18
12/01	23.1	552.0		51.2	34.83	21.91
13/01	24.3	562.3		10.0	52.97	28.42
14/01	25.1	573.4		0.0	20.50	10.29
15/01	24.7	584.1		59.0	28.95	14.56
16/01	24.7	594.8		83.2	28.19	14.85
17/01	24.1	604.9		0.4	41.18	21.95
18/01	23.1	614.0		0.0	55.78	29.25
19/01	23.8	623.8		0.0	42.40	23.69
20/01	25.1	634.9		0.0	44.36	23.59
21/01	26.1	647.0		0.0	48.78	25.81
22/01	27.2	660.2		0.8	50.79	30.78
23/01	27.3	673.5		0.3	50.30	27.04
24/01	25.8	685.3		0.0	43.27	29.41
25/01	24.8	696.1		0.0	24.20	12.52
26/01	21.6	703.7		51.8	13.49	6.46
27/01	20.9	710.6		60.6	14.78	7.17
28/01	24.9	721.5		48.2	38.83	20.53
29/01	24.8	732.3		32.4	49.27	26.07
30/01	24.8	743.1		0.2	42.54	21.89
31/01	26.0	754.4		0.0	33.30	16.99
01/02	24.4	764.8		10.8	33.92	
02/02	24.9	775.7		4.2	37.25	16.51
03/02	25.6	787.3		0.0	34.00	19.10
04/02	26.3	799.3		0.0	50.87	17.65
05/02	24.7	810.3		8.8	31.38	26.79
06/02	24.7	821.0		34.4	45.21	16.30
07/02	24.5	831.5		46.0	32.43	23.36
08/02	22.1	839.6		8.6	21.02	16.67
09/02	23.9	849.5		25.6	23.81	10.43
						12.06

(continua)

Tm - Temperatura média

GD1 - Graus-dias acumulados do primeiro período de plantio

GD2 - Graus-dias acumulados do segundo período de plantio

P - Precipitação

RFA - Radiação fotossinteticamente ativa

RG - Radiação global

QUADRO 10. Dados agrometeorológicos do experimento

Data	Tm °C	GD °C dia	GD2 °C dia	P mm	RFA MJ m ⁻²	RG E m ⁻²
10/02	24.4	859.9		27.2	25.71	12.98
11/02	24.4	870.3		3.8	34.51	17.85
12/02	24.8	881.1		0.0	37.46	19.54
13/02	25.1	892.2		2.8	39.75	20.73
14/02	24.6	902.8		0.0	45.91	24.41
15/02	24.9	913.7		0.0	27.42	14.51
16/02	25.0	924.7		0.0	33.97	18.25
17/02	25.0	935.7		0.0	41.42	21.86
18/02	24.1	945.8		0.4	22.55	11.39
19/02	23.9	955.7		35.8	43.88	23.36
20/02	23.3	965.0		0.0	49.96	27.01
21/02	25.2	976.2		0.0	49.82	26.71
22/02	25.5	987.7	11.5	0.0	44.97	23.71
23/02	24.4	998.1	21.9	0.0	37.75	20.62
24/02	22.5	1006.6	30.4	0.0	55.09	28.21
25/02	23.9	1016.5	40.3	0.0	42.06	22.21
26/02	24.2	1026.7	50.5	0.0	43.09	23.92
27/02	25.9	1038.6	62.4	0.0	42.52	22.44
28/02	25.8	1050.4	74.2	2.0	36.48	19.39
01/03	24.7	1061.1	84.9	2.0	32.26	17.33
02/03	22.7	1069.8	93.6	39.6	24.58	12.83
03/03	24.9	1080.7	104.5	5.2	32.52	16.57
04/03	22.5	1089.2	113.0	2.5	23.19	16.47
05/03	23.0	1098.2	122.0	0.2	18.37	9.02
06/03	22.9	1107.1	130.9	11.4	26.07	13.17
07/03	23.6	1116.7	140.5	17.6	23.14	11.78
08/03	25.6	1128.3	152.1	0.0	40.64	21.31
09/03	26.0	1140.3	164.1	0.0	47.03	25.11
10/03	24.5	1150.8	174.6	0.0	48.44	25.46
11/03	25.6	1162.4	186.2	0.0	40.94	21.34
12/03	25.6	1174.0	197.8	1.6	41.53	21.48
13/03	25.8	1185.8	209.6	2.2	39.91	20.50
14/03	25.0	1196.8	220.6	47.0	39.24	18.69
15/03	23.4	1206.2	230.0	0.0	42.98	22.17
16/03	22.7	1214.9	238.7	0.0	49.71	24.88
17/03	23.5	1224.4	248.2	0.0	38.96	20.47
18/03	24.5	1234.9	258.7	0.0	36.77	22.34
19/03	23.6	1244.5	268.3	0.0	16.51	8.26
20/03	24.9	1255.4	279.2	25.6	32.73	16.38
21/03	25.7	1267.1	290.9	0.0	32.45	16.44

(continua)

Tm - Temperatura média

GD1 - Graus-dias acumulados do primeiro período de plantio

GD2 - Graus-dias acumulados do segundo período de plantio

P - Precipitação

RFA - Radiação fotossinteticamente ativa

RG - Radiação global

QUADRO 10. Dados agrometeorológicos do experimento

Data	Tm °C	GD °C dia	GD2 °C dia	P mm	RFA MJ m ⁻²	RG E m ⁻²
22/03	24.1	1277.2	301.0	66.0	30.84	15.56
23/03	23.9	1287.1	310.9	0.0	44.93	22.81
24/03	23.7	1296.8	320.6	0.0	30.23	15.27
25/03	24.4	1307.2	331.0	0.0	25.03	12.29
26/03	21.3	1314.5	338.3	18.0	11.55	5.55
27/03	18.0	1318.5	342.3	20.8	6.10	2.78
28/03	18.1	1322.6	346.4	46.7	7.06	3.22
29/03	19.0	1327.6	351.4	30.4	9.02	4.26
30/03	20.9	1334.5	358.3	19.2	10.23	4.91
31/03	23.2	1343.7	367.5	10.4	20.98	10.63
01/04	24.6	1354.3	378.1	7.1	34.59	18.21
02/04	24.0	1364.3	388.1	0.0	36.41	17.75
03/04	23.4	1373.7	397.5	0.0	38.26	19.70
04/04	24.5	1384.2	408.0	0.0	33.32	17.11
05/04	21.0	1391.2	415.0	0.0	32.42	22.34
06/04	22.3	1399.5	423.3	0.0	41.85	18.26
07/04	23.1	1408.6	432.4	0.0	34.86	14.83
08/04	24.1	1418.7	442.5	2.4	29.18	18.94
09/04	24.5		453.0	0.0	38.30	18.69
10/04	24.7		463.7	0.0	38.80	19.69
11/04	25.3		475.0	0.0	34.84	18.17
12/04	25.4		486.4	0.0	33.49	17.34
13/04	22.3		494.7	3.6	11.75	8.73
14/04	25.4		506.1	10.8	31.55	20.64
15/04	26.3		518.4	0.0	36.99	19.11
16/04	24.7		529.1	8.0	29.92	15.09
17/04	24.5		539.6	10.8	30.55	15.21
18/04	24.2		549.8	3.0	24.38	11.72
19/04	21.2		557.0	4.4	10.28	4.62
20/04	19.0		562.0	1.4	33.72	16.98
21/04	20.6		568.6	0.0	37.09	18.23
22/04	21.5		576.1	0.0	35.57	18.34
23/04	20.3		582.4	0.0	37.69	19.38
24/04	20.8		589.2	0.0	30.44	13.88
25/04	19.6		594.8	68.0	9.91	4.73
26/04	20.3		601.1	18.0	19.82	9.83
27/04	20.2		607.3	3.4	25.18	12.70
28/04	18.8		612.1	0.0	33.23	17.03
29/04	19.5		617.6	0.0	34.08	17.44
30/04	20.3		623.9	0.0	35.66	18.06

(continua)

Tm - Temperatura média

GD1 - Graus-dias acumulados do primeiro período de plantio

GD2 - Graus-dias acumulados do segundo período de plantio

P - Precipitação

RFA - Radiação fotossinteticamente ativa

RG - Radiação global

QUADRO 10. Dados agrometeorológicos do experimento

Data	Tm °C	GD °C dia	GD2 °C dia	P mm	RFA MJ m ⁻²	RG E m ⁻²
01/05	20.7		630.6	0.0	35.34	18.10
02/05	21.4		638.0	0.0	33.55	17.96
03/05	21.6		645.6	0.0	31.04	16.07
04/05	21.3		652.9	0.0	30.53	15.72
05/05	21.1		660.0	0.0	32.32	15.38
06/05	21.7		667.7	0.0	15.99	7.93
07/05	19.5		673.2	0.0	18.68	8.85
08/05	19.5		678.7	2.6	18.52	9.31
09/05	18.4		683.1	0.0	31.66	15.12
10/05	20.1		689.2	0.0	30.51	15.71
11/05	20.8		696.0	0.0	28.68	14.70
12/05	20.9		702.9	0.0	30.95	15.80
13/05	20.9		709.8	0.0	27.69	14.75
14/05	20.6		716.4	0.0	21.07	14.58
15/05	18.5		720.9	25.2	11.66	14.48
16/05	20.2		727.1	1.2	22.68	13.81
17/05	19.8		732.9	0.0	29.07	14.13
18/05	22.1		741.0	0.0	30.95	13.62
19/05	22.7		749.7	0.0	30.93	10.83
20/05	23.4		759.1	0.0	30.77	11.34
21/05	20.9		766.0	4.6	30.83	10.59
22/05	21.9		773.9	0.0	28.22	14.20
23/05	21.3		781.2	0.0	24.74	12.93
24/05	20.6		787.8	0.0	29.65	14.45
25/05	19.6		793.4	0.0	28.86	13.86
26/05	22.5		801.9	0.0	27.88	12.99
27/05	21.5		809.4	0.0	29.23	
28/05	20.7		816.1	0.0	28.68	14.97
29/05	21.3		823.4	0.0	28.48	14.58
30/05	20.5		829.9	0.0	30.07	15.08
31/05	19.8		835.7	0.0	28.02	15.12
						13.95
01/06	18.1		839.8	0.0	28.24	
02/06	19.4		845.2	0.0	28.46	22.67
03/06	21.6		852.8	0.0	28.50	10.65
04/06	20.5		859.3	0.0	27.46	5.67
05/06	20.3		865.6	0.0	27.68	11.44
06/06	20.4		872.0	0.0	26.63	14.73
07/06	21.5		879.5	0.0	20.96	15.58
08/06	20.2		885.7	0.0	22.60	15.53
09/06	19.1		890.8	0.0	20.50	15.40
10/06	18.9		895.7	0.0	27.56	15.83
11/06	17.4		899.1	0.0	25.90	14.17
12/06	17.9		903.0	0.0	27.11	12.54
13/06	19.6		908.6	0.0	28.24	15.22
14/06	20.3		914.9	0.0	26.39	14.91
						14.73

Tm - Temperatura média

GD1 - Graus-dias acumulados do primeiro período de plantio

GD2 - Graus-dias acumulados do segundo período de plantio

P - Precipitação

RFA - Radiação fotossinteticamente ativa

RG - Radiação global

QUADRO 13. Ajustes da equação de Richards - níveis 1a e 2.

DA	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	v	V(v)
Planta - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
AF	Jacobiana singular									
MC	Jacobiana singular									
MF	688	0.003080	0.501159	0.005980	-42.584472	3.754E+003	0.296397	3.370020	-0.091985	329.032067
MT	Jacobiana singular									
MV	139	0.385226	1.868732	0.007758	29.669841	2.162E+003	-0.268336	0.168775	4.987363	80.988820
Conjunto de Ramos - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
AF	312	0.208708	5.846531	0.006129	394.918646	9.073E+008	-4.993738	1.450E+005	124.606414	9.039E+007
MC	290	0.684623	1.275898	0.006398	62.236424	3.985E+004	-0.691561	4.896561	9.293174	899.622947
MF	295	0.390373	0.513413	0.007442	32.368705	6.234E+003	-0.395667	1.205350	6.629131	362.539299
MT	271	0.587653	1.673195	0.006846	51.211066	5.842E+004	-0.603899	8.079399	8.159634	1.504E+003
MV	157	0.859063	2.316998	0.003667	51.887805	3.119E+003	-0.482460	0.266464	3.557351	15.690755
Eixo Principal - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
AF	Jacobiana singular									
MC	623	0.021554	-0.210408	0.010746	-89.886389	5.846E+006	0.633142	432.224187	-0.012923	4.424E+003
MF	682	0.004728	0.514906	0.006600	-43.375095	3.764E+003	0.300291	5.529355	-0.089054	804.426888
MT	616	0.016400	1.040588	0.007849	-80.797327	1.103E+006	0.568372	202.059001	-0.023881	4.818E+003
MV	157	0.891288	2.794782	0.003958	12.691166	13.700217	-0.144887	0.000990	0.283096	0.037951
Planta - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	237	0.966697	7.548884	0.000310	28.682715	284.841698	-2.388121	1.952924	8.473520	25.562374
MC	441	0.959318	-5.176048	1.899E+003	3.524212	590.213573	0.809645	246.232203	-2.101613	1.661E+003
MF	Jacobiana singular									
MT	439	0.942214	-3.275020	5.973E+003	3.884064	4.190E+003	1.096075	2.549E+003	-3.119829	2.066E+004
Conjunto de Ramos - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	107	0.258193	6.581037	2.720E+004	29.557641	3.418E+007	-1.476389	1.168E+005	6.117171	2.008E+006
MC	Jacobiana singular									
MF	Jacobiana singular									
MT	Jacobiana singular									
Eixo Principal - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	237	0.953946	7.677403	0.000522	33.722397	783.954680	-2.734020	5.126564	9.524551	63.794499
MC	432	0.962057	-5.222392	2.055E+003	3.576118	626.873457	0.821420	266.590224	-2.097316	1.740E+003
MF	Jacobiana singular									
MT	428	0.946478	-3.281750	4.891E+003	3.817806	3.489E+003	1.106901	2.156E+003	-3.102039	1.694E+004
Planta - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
AF	Jacobiana singular									
MC	Jacobiana singular									
MF	966	0.903890	0.910372	0.000687	9.921262	3.407676	-0.184798	0.001061	2.226506	0.191697

(continua)

DA - tipo de dado : AF - área foliar;
MC - matéria seca de caule;
MF - matéria seca foliar;
MT - matéria seca total;
MV - matéria seca de vagens;
PT - número de pontos usados para o ajuste;
R² - coeficiente de determinação;
 α, β, κ, v - estimativas dos parâmetros da equação;
V(α), V(β), V(κ), V(v) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 13. Ajustes da equação de Richards - níveis 1a e 2.

DA	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	ν	V(ν)
Planta - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
MT	966	0.921676	1.409397	0.000460	57.538115	5.472E+003	-1.020957	1.718036	12.431839	256.727834
MV	664	0.854498	0.873622	0.001332	101.915458	1.228E+004	-1.227274	1.775290	6.311696	47.888759
Conjunto de Ramos - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
AF	Jacobiana singular									
MC	406	0.413299	-1.029964	0.003000	29.634652	1.480E+003	-0.429542	0.302246	5.537257	56.859868
MF	429	0.444611	-0.289407	0.002853	96.629577	1.278E+005	-1.478483	29.795416	12.845121	2.298E+003
MT	428	0.486390	0.074724	0.002776	52.391532	9.129E+003	-0.806087	2.136318	6.755292	158.597055
MV	559	0.771593	1.150324	0.002225	99.225208	2.063E+004	-1.220160	3.109563	6.881707	101.265327
Eixo Principal - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
AF	964	0.874466	6.483831	0.000957	5.768343	0.986692	-0.120135	0.000298	1.310370	0.062205
MC	1299	0.914006	0.634093	0.000334	59.668254	9.574E+003	-1.027017	2.827249	10.423563	293.198956
MF	1366	0.823739	1.039492	0.000498	47.058659	5.163E+003	-0.832708	1.607925	10.587698	262.945579
MT	1365	0.852700	1.475267	0.000400	53.940673	7.784E+003	-0.955204	2.430711	11.397327	349.136345
MV	666	0.759171	1.460291	0.001636	99.566206	1.459E+004	-1.253680	2.302409	6.148583	57.093852
Planta - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	441	0.938398	6.133718	0.006149	35.995591	1.630E+003	-4.948768	31.686713	12.152099	192.841280
MC	441	0.955337	-0.225196	0.007385	42.254269	2.306E+003	-5.737208	43.504803	11.272076	169.092323
MF	440	0.943244	0.643860	0.019539	30.064602	1.153E+003	-3.946489	20.949509	9.146426	113.663027
MT	440	0.955448	1.019567	0.016394	28.994468	752.751432	-3.813959	13.766323	8.454910	68.388207
Conjunto de Ramos - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	Jacobiana singular									
MC	Jacobiana singular									
MF	Jacobiana singular									
MT	22	0.001593	-2.434282	2.346E+004	7.731906	7.108E+008	-0.824327	9.437E+006	29.763635	1.659E+010
Eixo Principal - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	441	0.937514	6.232857	0.010793	37.547959	2.463E+003	-4.995864	45.000666	12.266722	273.413525
MC	441	0.954654	-0.159024	0.009878	42.496356	2.732E+003	-5.679001	50.005566	11.129711	193.315774
MF	440	0.942741	0.667266	0.017521	38.204034	3.415E+003	-4.985397	60.195574	11.532817	324.228179
MT	440	0.954714	1.038497	0.013017	39.305285	2.763E+003	-5.148082	48.924032	11.390944	241.068840

DA - tipo de dado : AF - área foliar;
MC - matéria seca de caule;
MF - matéria seca foliar;
MT - matéria seca total;
MV - matéria seca de vagens;
PT - número de pontos usados para o ajuste;
R² - coeficiente de determinação;
 $\alpha, \beta, \kappa, \nu$ - estimativas dos parâmetros da equação;
V(α), V(β), V(κ), V(ν) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 14. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - níveis 1a e 2.

DA	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
Eixo Principal - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
MT	966	0.935300	-3.599875	0.006730	0.105576	0.000034	-0.000132	1.399E-008	-0.000005	5.016E-013
MV	664	0.863800	-47.677058	25.496048	1.276842	0.035807	-0.010898	0.000005	0.000030	8.840E-011
- Segundo período - Escala de tempo cronológico										
AF	408	0.457100	-5.994222	9.316522	0.247643	0.017492	-0.000738	0.000003	-0.000007	7.147E-011
MC	406	0.435000	-11.758845	6.969050	0.280274	0.013151	-0.002030	0.000003	0.000003	5.362E-011
MF	429	0.505000	-13.498033	8.806532	0.321478	0.016519	-0.001696	0.000003	-0.000003	6.742E-011
MT	428	0.538600	-13.937700	7.533542	0.358718	0.014219	-0.002274	0.000003	3.610E-007	5.799E-011
MV	559	0.780400	-20.882389	74.557912	0.306952	0.114278	0.001132	0.000019	-0.000020	3.423E-010
- Segundo período - Escala de tempo cronológico										
AF	964	0.901200	2.133028	0.008091	0.089562	0.000041	0.000061	1.712E-008	-0.000006	6.205E-013
MC	1299	0.920600	-6.117386	0.009640	0.174506	0.000041	-0.001249	1.386E-008	0.000002	4.137E-013
MF	1366	0.871600	-3.428963	0.011067	0.071401	0.000049	0.000570	1.770E-008	-0.000009	5.633E-013
MT	1365	0.890800	-3.552305	0.009442	0.099754	0.000040	0.000044	1.358E-008	-0.000006	4.052E-013
MV	666	0.784000	-34.955468	30.848140	0.810450	0.043643	-0.004601	0.000007	0.000001	1.093E-010
Eixo Principal - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	441	0.940300	3.029091	0.006239	0.495540	0.004943	-0.010668	0.000333	-0.000134	0.000002
MC	441	0.956600	-4.268946	0.007047	0.753642	0.005591	-0.053987	0.000376	0.003329	0.000002
MF	440	0.943300	-2.758312	0.006738	0.522400	0.005339	-0.018518	0.000359	0.000986	0.000002
MT	440	0.955600	-2.554778	0.005696	0.569100	0.004519	-0.025152	0.000304	0.001452	0.000002
- Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	20	0.291700	619.083391	2.901E+005	-248.843061	5.196E+004	33.257640	1.024E+003	-1.471390	2.220982
MC	20	0.328100	337.829018	1.244E+005	-134.470864	2.231E+004	17.517316	440.119854	-0.754038	0.955810
MF	22	0.326900	429.768742	1.756E+005	-172.530151	3.145E+004	22.746623	619.784513	-0.991538	1.344272
MT	22	0.371900	469.680825	1.449E+005	-188.763612	2.599E+004	24.958962	512.707805	-1.091452	1.113449
- Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	441	0.939500	2.999706	0.006439	0.528668	0.005103	-0.021088	0.000343	0.000839	0.000002
MC	441	0.956100	-4.289005	0.007215	0.776817	0.005724	-0.061506	0.000385	0.004057	0.000002
MF	440	0.943100	-2.776712	0.006848	0.543293	0.005426	-0.025152	0.000365	0.001612	0.000002
MT	440	0.955200	-2.573605	0.005829	0.590602	0.004624	-0.032027	0.000311	0.002107	0.000002

DA - tipo de dado : AF - área foliar;

MC - matéria seca de caule;

MF - matéria seca foliar;

MT - matéria seca total;

MV - matéria seca de vagens;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;

V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 14. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - níveis 1a e 2.

DA	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
Eixo Principal - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
AF	436	0.835300	1.729043	0.040600	0.180793	0.000087	-0.001667	1.693E-008	0.000004	3.085E-013
MC	636	0.983900	-6.455208	0.003003	0.237339	0.000014	-0.002003	4.237E-009	0.000006	1.000E-013
MF	688	0.974000	-5.152664	0.003640	0.234427	0.000016	-0.002274	4.783E-009	0.000007	1.149E-013
MT	644	0.985900	-4.776506	0.002270	0.227060	0.000010	-0.002069	2.745E-009	0.000006	6.299E-014
MV	139	0.401000	-17.182990	529.508796	0.361832	0.388123	-0.002156	0.000031	0.000004	2.710E-010
- Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
AF	312	0.241600	0.105511	2.998830	0.127166	0.004306	-0.000751	6.115E-007	6.980E-007	8.706E-012
MC	290	0.687700	-8.152497	2.530099	0.165539	0.003553	-0.000748	4.975E-007	2.810E-007	7.010E-012
MF	296	0.997800	-6.661737	4.053430	0.142055	0.005681	-0.000759	7.813E-007	6.590E-007	1.083E-011
MT	271	0.600600	-9.117959	3.140863	0.238214	0.004370	-0.001664	6.046E-007	0.000004	8.431E-012
MV	157	0.871800	-53.381801	132.818219	1.198455	0.105285	-0.008514	0.000009	0.000020	8.445E-011
- Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
AF	445	0.775500	1.985321	0.069162	0.163467	0.000144	-0.001313	2.719E-008	0.000002	4.782E-013
MC	623	0.983500	-6.440284	0.003270	0.235183	0.000015	-0.001932	4.647E-009	0.000005	1.098E-013
MF	682	0.969900	-5.049114	0.004358	0.224292	0.000019	-0.002034	5.382E-009	0.000005	1.282E-013
MT	616	0.985500	-4.755872	0.002572	0.224231	0.000011	-0.001986	3.154E-009	0.000006	7.245E-014
MV	157	0.883600	-115.660668	130.033024	2.931306	0.103077	-0.024169	0.000009	0.000066	8.268E-011
Eixo Principal - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	237	0.977700	2.870001	0.028243	0.669057	0.002976	-0.030508	0.000030	0.000462	2.948E-008
MC	441	0.985600	-3.877940	0.001029	0.548653	0.000443	-0.004257	0.000010	-0.000444	1.655E-008
MF	439	0.989100	-3.060508	0.000615	0.763935	0.000267	-0.036864	0.000006	0.000620	1.001E-008
MT	439	0.992900	-2.670917	0.000428	0.699623	0.000184	-0.027745	0.000004	0.000345	6.887E-009
- Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	107	0.278500	-13.111173	109.434766	4.064738	6.599160	-0.317677	0.042190	0.008548	0.000029
MC	103	0.411800	-33.288987	103.005357	7.347024	6.225034	-0.573347	0.039768	0.015127	0.000027
MF	103	0.256300	-33.602386	218.992350	7.555197	12.594467	-0.592726	0.077006	0.015624	0.000050
MT	97	0.408300	-43.949570	134.199523	9.986095	8.138189	-0.769219	0.051950	0.019841	0.000035
- Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
AF	237	0.966600	2.762318	0.048527	0.703325	0.005113	-0.034016	0.000051	0.000614	5.066E-008
MC	432	0.985300	-3.877406	0.001072	0.547948	0.000462	-0.004267	0.000010	-0.000415	1.727E-008
MF	437	0.988400	-3.060842	0.000673	0.764821	0.000295	-0.037355	0.000007	0.000673	1.118E-008
MT	428	0.992300	-2.670505	0.000481	0.699643	0.000209	-0.028064	0.000005	0.000391	7.905E-009
Eixo Principal - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
AF	963	0.898500	1.889579	0.006700	0.113829	0.000034	-0.000565	1.424E-008	-0.000002	5.170E-013
MC	963	0.946400	-5.972197	0.007958	0.163991	0.000040	-0.001062	1.654E-008	6.300E-007	5.931E-013
MF	966	0.921000	-3.626938	0.007236	0.089988	0.000037	0.000108	1.538E-008	-0.000006	5.584E-013

(continua)

DA - tipo de dado : AF - área foliar;
 MC - matéria seca de caule;
 MF - matéria seca foliar;
 MT - matéria seca total;
 MV - matéria seca de vagens;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;

V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 15. Ajustes da equação de Richards - nível 2a.

DA	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	v	V(v)
Ramo 4										
AF	17	0.808039	6.318978	0.147821	12.183611	1587.780085	-2.083984	46.164887	4.156505	201.251105
MC	17	0.783250	0.553167	0.763185	4.251235	94.679419	-0.665692	1.575349	1.070607	7.305619
MF	17	0.811966	0.930768	0.263966	11.540047	1288.885231	-1.540970	21.986133	3.272977	111.065425
MT	17	0.810252	1.460481	0.448349	5.903787	136.233585	-0.844956	2.348844	1.587392	11.859053
Ramo 5										
AF	38	0.832517	5.910227	0.081293	11.626470	347.052813	-2.346023	13.879037	3.961363	46.391526
MC	31	0.861654	-0.050037	0.104404	18.237819	1732.036787	-3.341478	58.936039	4.687447	122.658239
MF	40	0.837240	0.128387	0.073697	17.645626	2648.167514	-3.396426	97.289677	5.594423	281.739411
MT	30	0.863761	0.809320	0.115199	14.018093	1016.585871	-2.558270	34.020702	4.110782	95.442415
Ramo 6										
AF	43	0.785341	5.646629	0.016882	15.746666	848.020785	-4.022956	51.529910	4.709136	82.702526
MC	33	0.934015	0.315681	0.046319	19.190657	977.128800	-3.195505	27.777848	5.162242	75.841725
MF	45	0.915534	0.596245	0.419760	6.201623	81.796964	-1.137376	2.705659	1.605210	7.129795
MT	32	0.945548	1.360254	0.715609	3.655783	30.781954	-0.716562	0.841050	0.878687	2.320140
Ramo 7										
AF	24	0.818164	6.106558	0.308798	15.473075	2887.539384	-2.925083	104.684367	4.061133	216.075626
MC	22	0.901810	-0.409612	0.042084	18.880085	1.828E+004	-4.389076	985.587310	5.033939	1320.616780
MF	25	0.867531	0.683786	6.616566	19.139194	5.973E+004	-3.124257	1719.638679	4.583186	3776.615339
MT	20	0.910093	1.061295	0.542759	14.541204	2867.001156	-2.514114	89.136710	3.635866	198.282661
Ramo 8										
AF	19	0.843097	4.812383	0.049286	16.703246	1524.763187	-6.467802	217.906305	3.927080	95.506320
MC	17	0.911742	-1.268069	0.015125	22.121002	2458.989399	-7.987246	313.698063	7.188438	277.881720
MF	20	0.912489	-1.147930	0.025204	13.878853	447.970055	-5.593117	67.692117	3.666618	37.798950
MT	16	0.944388	-0.467910	0.020758	14.510279	389.237513	-5.486845	52.479270	4.165222	37.910134
Ramo 9										
AF	23	0.908627	4.825957	0.025742	15.590994	578.360938	-5.475709	67.455838	4.041776	43.117144
MC	20	0.865671	-0.648220	0.581082	13.452210	4008.340123	-3.789879	332.981487	3.891530	377.121915
MF	20	0.888037	-1.176256	0.245279	11.564621	584.419722	-4.224021	81.052058	3.684541	73.277459
MT	17	0.882215	-0.347114	1.788335	2.197259	228.061204	-1.320604	15.157283	0.519246	13.768832
Todos os ramos										
AF	173	0.818867	5.744636	0.007338	26.337989	2562.969879	-6.258830	143.741408	7.198316	195.957421
MC	149	0.868832	0.077608	0.011987	29.175127	2878.469412	-5.222177	92.604935	7.916224	216.728947
MF	178	0.865373	0.398519	0.013904	27.576005	3233.429832	-5.096928	110.631556	7.217820	225.552352
MT	141	0.886326	0.938507	0.011648	27.386906	2748.982126	-5.037049	93.122783	7.329051	200.521685

DA - tipo de dado : AF - área foliar;

MC - matéria seca de caule;

MF - matéria seca foliar;

MT - matéria seca total;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

α, β, κ, v - estimativas dos parâmetros da equação;

V(α), V(β), V(κ), V(v) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 16. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - nível 2a.

DA	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
Ramo 4										
AF	17	0.807800	3.611361	0.479190	0.305805	0.300788	0.053562	0.013800	-0.005569	0.000049
MC	17	0.783600	-3.653613	0.789460	0.831297	0.465406	-0.050940	0.020760	0.001036	0.000073
MF	17	0.817100	-2.569979	0.557329	0.398674	0.328559	0.032302	0.014656	-0.003668	0.000052
MT	17	0.810900	-2.295705	0.607050	0.555242	0.357871	0.001755	0.015964	-0.001929	0.000056
Ramo 5										
AF	38	0.835500	3.097850	0.364472	0.440032	0.327755	0.064288	0.024303	-0.009379	0.000164
MC	31	0.869900	-3.062117	0.481306	-0.197070	0.404709	0.277674	0.029387	-0.026500	0.000197
MF	40	0.842200	-2.438173	0.529642	-0.025870	0.483117	0.202071	0.036042	-0.020516	0.000241
MT	30	0.873800	-1.685357	0.461520	-0.325381	0.413657	0.283753	0.030685	-0.026438	0.000204
Ramo 6										
AF	43	0.844300	-0.470052	0.510393	3.721805	0.462840	-0.802218	0.035799	0.058841	0.000251
MC	33	0.954800	-4.829955	0.164359	1.895883	0.147956	-0.313235	0.011400	0.021886	0.000080
MF	45	0.925200	-4.334648	0.389749	1.776662	0.387243	-0.292464	0.032415	0.020763	0.000242
MT	32	0.957900	-3.925144	0.213655	1.933392	0.212282	-0.335361	0.017769	0.024263	0.000132
Ramo 7										
AF	24	0.830100	1.321558	1.459969	1.692996	1.640796	-0.259615	0.157480	0.018369	0.001345
MC	22	0.923200	-5.562938	0.533566	2.416419	0.595079	-0.466690	0.057231	0.035491	0.000491
MF	25	0.898100	-5.018698	0.861699	2.236175	0.965800	-0.438437	0.093093	0.035737	0.000794
MT	20	0.939200	-4.642126	0.468006	2.434969	0.528899	-0.489572	0.050819	0.039175	0.000431
Ramo 8										
AF	19	0.861000	-5.021153	17.289380	8.872198	32.795008	-2.800926	6.278882	0.306947	0.121793
MC	17	0.913400	-2.017581	5.244341	-2.426124	10.000305	1.752394	1.929348	-0.285559	0.037677
MF	20	0.921500	-8.824643	7.796435	6.667494	14.600595	-2.026429	2.780920	0.217131	0.054129
MT	16	0.945100	-5.455473	5.701055	3.124490	10.608099	-0.582053	2.001060	0.029770	0.038599
Ramo 9										
AF	23	0.916400	-0.988428	2.654558	3.819484	5.009285	-0.851241	0.896000	0.066230	0.015342
MC	20	0.899300	-7.860118	3.455147	6.009945	6.462918	-2.024974	1.143991	0.244900	0.019393
MF	20	0.910400	-8.238536	5.173984	7.031642	12.670774	-2.727299	3.145238	0.388448	0.079937
MT	17	0.908400	-9.676319	7.187581	10.331568	17.368121	-4.353856	4.229924	0.642518	0.105387
Todos os ramos										
AF	173	0.832500	1.297588	0.056769	1.674104	0.040969	-0.201224	0.002198	0.008525	0.000010
MC	149	0.884800	-4.195713	0.027542	1.158017	0.016937	-0.097303	0.000746	0.003027	0.000002
MF	178	0.887100	-4.081080	0.031805	1.291140	0.020364	-0.121613	0.000913	0.004288	0.000003
MT	141	0.905300	-3.446529	0.026120	1.259746	0.016494	-0.118530	0.000736	0.004186	0.000002

DA - tipo de dado : AF - área foliar;
 MC - matéria seca de caule;
 MF - matéria seca foliar;
 MT - matéria seca total;
 PT - número de pontos usados para o ajuste;
 R² - coeficiente de determinação;
 a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;
 V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 17. Ajustes da equação de Richards - nível 3a.

NF	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	v	V(v)
MS Limbo - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
3	Jacobiana singular									
4	Jacobiana singular									
5	Jacobiana singular									
6	Jacobiana singular									
7	Jacobiana singular									
8	Jacobiana singular									
9	197	0.703066	-0.536109	0.001382	54.319010	4889.529529	-1.709229	2.385176	5.847417	61.022459
10	Jacobiana singular									
11	Jacobiana singular									
12	256	0.837823	-0.249476	0.000777	37.526224	220.829692	-0.717204	0.076801	1.905659	0.755250
13	254	0.835681	-0.145573	0.000963	18.908945	23.215422	-0.353324	0.006424	0.742314	0.093595
14	257	0.854883	-0.177556	0.000923	22.939492	24.396467	-0.409083	0.006741	0.832601	0.060240
15	242	0.874965	-0.178397	0.000975	20.891594	23.462737	-0.348581	0.005483	0.815458	0.076613
16	217	0.871953	-0.264765	0.001611	19.637514	29.394657	-0.309129	0.006138	0.800358	0.096612
17	189	0.863335	-0.425388	0.002590	18.909070	30.842697	-0.282783	0.005863	0.796716	0.100795
18	183	0.810444	-0.603300	0.003730	23.480849	119.568674	-0.315059	0.019573	1.292084	0.524823
19	164	0.855249	-0.729266	0.003210	82.753509	2.620E+004	-0.999860	3.805932	5.376867	112.901154
MS Folha - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
3	276	0.685963	-2.139733	0.000456	27.320017	656.059186	-1.342521	1.509670	7.562721	58.337534
4	204	0.672809	-1.606723	0.000574	15.823057	97.381567	-0.702593	0.151485	2.190840	4.149516
5	204	0.744544	-1.075744	0.000628	16.358516	43.005918	-0.589403	0.046536	1.941156	1.019724
6	239	0.828559	-0.763153	0.000918	24.076775	89.504780	-0.837136	0.094202	1.117555	0.382945
7	224	0.844317	-0.438555	0.000860	22.313672	51.109505	-0.639419	0.038153	1.614637	0.375239
8	222	0.699820	-0.259452	0.000879	42.183053	1139.481993	-1.045400	0.680076	4.199765	13.037271
9	228	0.773646	-0.121584	0.001308	49.966608	2068.377497	-1.109855	1.000541	4.248236	16.441631
10	239	0.842735	-0.046836	0.000972	119.968289	9.200E+004	-2.520894	40.451730	8.210624	440.097073
11	264	0.870970	0.027493	0.000689	68.567255	3031.604053	-1.367730	1.192741	3.952465	10.759056
12	278	0.871839	0.186539	0.000789	28.708337	63.840810	-0.551233	0.021602	1.256786	0.190233
13	278	0.869594	0.265812	0.000844	41.066039	236.422178	-0.737325	0.072941	1.754156	0.561654
14	283	0.903702	0.260698	0.000885	37.467165	115.099001	-0.650312	0.033062	1.417610	0.213472
15	266	0.886520	0.239917	0.001012	35.103268	116.403304	-0.569998	0.028978	1.429521	0.266673
16	257	0.887498	0.137776	0.001548	40.482725	324.305224	-0.620465	0.073594	1.682962	0.677942
17	232	0.882075	-0.043378	0.002343	42.283712	445.867562	-0.616327	0.092175	1.791465	0.927619
18	229	0.826532	-0.178427	0.003873	49.083208	2005.077053	-0.639952	0.334579	2.744189	6.830133
19	212	0.868238	-0.319273	0.003537	62.891995	7323.728260	-0.760193	1.061078	3.690048	26.105121
Area Foliar - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
3	não convergiu									
4	não convergiu									
5	não convergiu									
6	218	0.463443	4.734575	0.000840	16.303830	624.919561	-0.616802	0.363641	0.470472	10.442165
7	215	0.706845	5.021093	0.000632	30.083430	246.039261	-0.907399	0.200885	1.795891	1.660959
8	226	0.592380	5.175387	0.001156	25.886130	280.623998	-0.664022	0.167837	2.395756	3.713546
9	211	0.666778	5.326385	0.000727	86.574924	2.582E+004	-1.953491	13.063649	9.057482	293.273222
10	Jacobiana singular									

(continua)

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

α, β, κ, v - estimativas dos parâmetros da equação;

V(α), V(β), V(κ), V(v) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 17. Ajustes da equação de Richards - nível 3a.

NF	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	v	V(v)
Area Foliar - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
11	Jacobiana singular									
12	271	0.567010	5.368330	0.000545	27.217162	174.837770	-0.522743	0.055911	1.814493	1.826272
13	Jacobiana singular									
14	259	0.395738	5.278248	0.000591	16.237733	102.615995	-0.317633	0.017816	0.446924	1.298141
15	249	0.708113	5.209399	0.000601	37.726574	241.627417	-0.628804	0.061459	1.651926	0.918742
16	231	0.557100	5.107186	0.000796	13.717455	111.425391	-0.263810	0.007101	0.098589	0.274958
17	208	0.358920	4.920105	0.001385	13.340596	137.311611	-0.232580	0.013100	0.253283	1.095641
18	187	0.240819	4.704083	0.003045	15.845655	477.359300	-0.200326	0.060178	3.139211	41.466926
19	167	0.466179	4.483225	0.002081	18.962637	218.960399	-0.247065	0.028875	1.391482	3.394291
MS Limbo - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	81	0.186608	-2.723068	0.048788	-13.142286	1.523E+006	17.839931	2.664E+006	-281.527424	6.637E+008
4	Jacobiana singular									
5	Jacobiana singular									
6	Jacobiana singular									
7	Jacobiana singular									
8	Jacobiana singular									
9	149	0.965385	-0.449944	0.000288	12.077376	2.749219	-1.500128	0.028607	0.683485	0.024040
10	144	0.978326	-0.372099	0.000285	16.861568	5.290343	-1.754033	0.048150	1.086648	0.037528
11	118	0.973873	-0.305188	0.000497	13.501863	4.228557	-1.329265	0.028930	0.665991	0.028160
12	109	0.983157	-0.278621	0.000400	30.193134	38.723148	-2.560292	0.265632	1.731721	0.157680
13	92	0.984562	-0.198072	0.000925	18.760452	6.504949	-1.474535	0.034131	0.951568	0.031840
14	81	0.979834	-0.256074	0.001753	41.080507	146.920852	-2.937103	0.732990	2.104830	0.442366
15	65	0.985347	-0.344295	0.002062	55.109536	246.141688	-3.636185	1.063118	2.912355	0.759598
16	42	0.991512	-0.290875	0.007154	28.632171	28.109905	-1.795206	0.108433	1.314066	0.076294
17	24	0.940960	-0.540908	0.150014	59.535048	5606.044260	-3.497425	19.639149	2.910929	14.137035
18	Jacobiana singular									
19	não convergiu									
MS Folha - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	Jacobiana singular									
4	201	0.432290	-1.615700	0.001012	281.643819	9.080E+008	-55.736255	3.555E+007	219.475528	5.515E+008
5	202	0.490707	-1.068101	0.001338	99.560990	3.790E+006	-14.727626	8.281E+004	52.152302	1.042E+006
6	Jacobiana singular									
7	Jacobiana singular									
8	192	0.918148	-0.194969	0.000344	13.992428	8.164747	-1.904889	0.112233	0.888853	0.076925
9	181	0.977485	-0.069879	0.000231	13.387420	2.360075	-1.590363	0.024624	0.794302	0.018699
10	165	0.981856	-0.020630	0.000259	32.221278	44.582235	-3.255053	0.437633	2.079868	0.218251
11	148	0.977787	0.036024	0.000413	38.626130	109.797989	-3.515208	0.874252	2.358043	0.488842
12	131	0.984429	0.064170	0.000393	49.895753	311.675791	-4.200718	2.177633	2.695916	0.979599
13	116	0.982371	0.067406	0.000717	58.443189	362.745379	-4.454872	2.069109	3.151943	1.174308
14	107	0.980322	0.072678	0.001583	70.200819	1236.104927	-5.007309	6.243937	3.365468	2.976896
15	89	0.985792	-0.020781	0.001969	71.355328	656.140313	-4.721810	2.858373	3.441271	1.631408
16	82	0.990759	-0.143161	0.003100	88.155130	1453.935049	-5.520020	5.701310	3.917376	2.979651
17	67	0.987014	-0.192860	0.034469	65.791807	1686.100701	-3.867966	5.919686	2.887407	3.397056
18	52	0.953309	-0.442168	3.970332	87.613018	2.762E+005	-4.905581	888.271891	3.737515	520.079270

(continua)

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação; α, β, κ, v - estimativas dos parâmetros da equação;V(α), V(β), V(κ), V(v) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 17. Ajustes da equação de Richards - nível 3a.

NF	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	v	V(v)
MS Folha - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
19	jacobiana singular									
Area Foliar - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	não convergiu									
4	não convergiu									
5	não convergiu									
6	jacobiana singular									
7	jacobiana singular									
8	195	0.920347	5.242708	0.000272	18.737614	16.771945	-2.641318	0.253997	0.835838	0.104396
9	164	0.959668	5.393726	0.000163	12.373084	5.201386	-1.593710	0.041510	0.421470	0.044869
10	147	0.943345	5.430115	0.000226	21.979801	24.099229	-2.319407	0.214784	1.042495	0.170634
11	123	0.887554	5.406597	0.000366	27.039217	60.718753	-2.598112	0.457930	1.057796	0.330195
12	112	0.961603	5.435895	0.000284	24.951434	26.031367	-2.241682	0.167140	0.707261	0.085864
13	92	0.963535	5.446929	0.000345	30.334132	33.705738	-2.457201	0.186101	0.917017	0.105868
14	81	0.947931	5.393857	0.000622	37.592346	85.067725	-2.780735	0.418654	1.283194	0.255713
15	67	0.973633	5.317981	0.001378	60.627259	319.536435	-4.105219	1.423102	2.206949	0.596570
16	44	0.953658	5.227009	0.004692	63.142797	694.655418	-4.014912	2.742420	2.162980	1.162518
17	24	0.952554	5.203382	0.024368	64.617149	2627.944857	-3.892578	9.344351	1.886103	3.243485
18	jacobiana singular									
19	não convergiu									
MS Limbo - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
3	jacobiana singular									
4	jacobiana singular									
5	jacobiana singular									
6	jacobiana singular									
7	jacobiana singular									
8	jacobiana singular									
9	jacobiana singular									
10	jacobiana singular									
11	jacobiana singular									
12	jacobiana singular									
13	jacobiana singular									
MS Folha - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
3	332	0.825690	-2.514724	0.000537	11.966875	58.929449	-0.716245	0.165141	1.158816	0.932528
4	353	0.853677	-2.062270	0.001458	19.052333	54.303625	-0.728958	0.073913	2.520398	1.114412
5	482	0.774414	-1.490237	0.001373	7.852986	3.730030	-0.259660	0.002309	0.756328	0.077910
6	458	0.801934	-1.217872	0.001901	29.324744	310.817565	-0.720937	0.182440	3.061621	3.664433
7	531	0.844734	-1.028597	0.001351	31.436167	200.954092	-0.698192	0.096060	2.538854	1.444999
8	512	0.786883	-0.935378	0.001914	24.244744	96.300427	-0.497175	0.038255	1.709234	0.572134
9	506	0.730632	-0.792433	0.002374	34.576489	600.404368	-0.598476	0.175114	2.995744	4.931864
10	449	0.738094	-0.897777	0.002392	38.965655	712.928864	-0.640762	0.188236	3.056706	4.781632
11	jacobiana singular									
12	jacobiana singular									

(continua)

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

α, β, κ, v - estimativas dos parâmetros da equação;

V(α), V(β), V(κ), V(v) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 17. Ajustes da equação de Richards - nível 3a.

NF	PT	R ²	α	V(α)	β	V(β)	κ	V(κ)	v	V(v)
MS Folha - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
13	190	0.654545	-2.001087	0.006929	409.154092	7.924E+007	-5.618725	1.494E+004	34.404661	5.611E+005
Area Foliar - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
3	636	0.001239	3.048982	0.000213	-297.915180	7.985E+010	5.899507	3.131E+007	2577.167844	5.976E+012
4	jacobiana singular									
5	jacobiana singular									
6	jacobiana singular									
7	jacobiana singular									
8	jacobiana singular									
9	jacobiana singular									
10	jacobiana singular									
11	jacobiana singular									
12	jacobiana singular									
13	jacobiana singular									
MS Limbo - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	jacobiana singular									
4	jacobiana singular									
5	jacobiana singular									
6	jacobiana singular									
7	jacobiana singular									
8	jacobiana singular									
9	jacobiana singular									
10	jacobiana singular									
11	jacobiana singular									
MS Folha - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	247	0.563517	-2.455187	0.003656	7.756796	94.186092	-2.761356	10.398667	6.604746	68.913286
4	253	0.545129	-1.930067	0.026066	45.689599	2.154E+005	-9.708252	9727.562123	19.002312	3.740E+004
5	302	0.443589	-0.947138	2.598725	17.265660	7362.490002	-2.283026	151.124815	5.376341	847.561931
6	245	0.393079	-0.914269	27.323527	35.003897	1.116E+006	-4.418760	1.907E+004	7.783637	5.928E+004
7	229	0.405936	-1.175625	1712.758286	45.620836	2.784E+007	-5.380306	4.443E+005	9.187200	1.296E+006
8	jacobiana singular									
9	jacobiana singular									
10	jacobiana singular									
11	jacobiana singular									
Area Foliar - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	jacobiana singular									
4	jacobiana singular									
5	jacobiana singular									
6	jacobiana singular									
7	jacobiana singular									
8	jacobiana singular									

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

α, β, κ, v - estimativas dos parâmetros da equação;

V(α), V(β), V(κ), V(v) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 18. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - nível 3a.

NF	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
MS Limbo - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
3	82	0.629000	-8.869368	0.206114	0.628420	0.002659	-0.018667	0.000003	0.000175	3.881E-010
4	90	0.544900	-11.137896	0.892538	0.760461	0.008074	-0.019579	0.000007	0.000161	6.969E-010
5	122	0.630200	-16.844051	1.531997	1.116117	0.010275	-0.025704	0.000007	0.000190	5.079E-010
6	163	0.748900	-27.217459	3.204089	1.674931	0.018042	-0.034179	0.000010	0.000223	6.128E-010
7	161	0.781300	-28.556447	1.981742	1.618948	0.008763	-0.030265	0.000004	0.000182	1.912E-010
8	177	0.585000	-24.640190	3.918300	1.280566	0.013923	-0.021953	0.000005	0.000121	2.013E-010
9	197	0.702900	-25.983909	3.877727	1.188311	0.011864	-0.017910	0.000004	0.000087	1.261E-010
10	219	0.730000	-23.484132	1.395870	0.932581	0.002916	-0.012011	6.098E-007	0.000049	1.278E-011
11	235	0.672000	-19.768513	1.061324	0.699856	0.001754	-0.008007	2.893E-007	0.000029	4.807E-012
12	256	0.688800	-22.734326	1.672115	0.767372	0.002568	-0.008348	3.976E-007	0.000029	6.280E-012
13	254	0.686800	-24.647352	2.412377	0.796307	0.003406	-0.008276	4.855E-007	0.000028	7.068E-012
14	257	0.757900	-34.100155	3.000994	1.103524	0.004138	-0.011531	5.788E-007	0.000039	8.307E-012
15	242	0.787700	-35.441609	4.085142	1.106971	0.005352	-0.011264	7.187E-007	0.000037	9.984E-012
16	217	0.823700	-40.118725	5.025637	1.204042	0.006293	-0.011820	8.084E-007	0.000038	1.075E-011
17	189	0.843900	-44.611187	7.182898	1.293812	0.006762	-0.012328	0.000001	0.000038	1.445E-011
18	183	0.809700	-49.093922	13.609871	1.390392	0.015683	-0.013105	0.000002	0.000041	2.355E-011
MS Folha - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
3	276	0.683400	-9.041458	0.197392	0.646840	0.002547	-0.019306	0.000003	0.000184	3.717E-010
4	204	0.643600	-11.771177	0.775217	0.818717	0.007013	-0.021296	0.000006	0.000180	6.053E-010
5	204	0.730600	-16.418971	1.289976	1.070252	0.008652	-0.024199	0.000006	0.000178	4.277E-010
6	239	0.809800	-28.174516	2.767556	1.742416	0.015584	-0.035654	0.000009	0.000236	5.293E-010
7	224	0.848900	-29.219448	1.639313	1.644238	0.007249	-0.030338	0.000003	0.000181	1.581E-010
8	222	0.722700	-27.678725	3.215283	1.440869	0.011425	-0.024524	0.000004	0.000135	1.652E-010
9	228	0.753200	-33.425275	6.122150	1.595209	0.019259	-0.024917	0.000006	0.000127	2.181E-010
10	239	0.761800	-25.312729	1.539448	1.017252	0.003216	-0.013075	6.719E-007	0.000054	1.405E-011
11	264	0.716400	-21.608363	1.179532	0.775666	0.001951	-0.008840	3.217E-007	0.000032	5.343E-012
12	278	0.726300	-25.091178	1.814431	0.862189	0.002786	-0.009411	4.314E-007	0.000033	6.814E-012
13	278	0.722200	-27.630729	2.663967	0.910701	0.003761	-0.009534	5.361E-007	0.000032	7.806E-012
14	283	0.786600	-36.998747	3.201877	1.210777	0.004415	-0.012668	6.175E-007	0.000043	8.863E-012
15	266	0.807300	-39.096180	4.534772	1.237122	0.005941	-0.012623	7.978E-007	0.000042	1.108E-011
16	257	0.844800	-44.768193	5.446082	1.361364	0.006820	-0.013419	8.761E-007	0.000043	1.165E-011
17	232	0.871000	-50.521429	7.235040	1.489756	0.008815	-0.014326	0.000001	0.000045	1.451E-011
18	229	0.833200	-54.725475	14.403540	1.569918	0.016598	-0.014868	0.000002	0.000046	2.493E-011
19	212	0.859400	-53.840273	19.775814	1.458674	0.022212	-0.013149	0.000003	0.000039	3.230E-011
Area Foliar - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
3	136	0.132900	10.924762	15.532378	-0.612023	0.107338	0.016248	0.000079	-0.000144	6.305E-009
4	147	0.040900	3.385180	8.071909	0.064269	0.052140	-0.002342	0.000036	0.000024	2.640E-009
5	177	0.016900	5.191105	4.028401	-0.065399	0.023432	0.001698	0.000014	-0.000015	9.188E-010
6	218	0.458100	-6.357009	3.651742	0.654641	0.019090	-0.012182	0.000010	0.000071	5.825E-010
7	215	0.631500	-16.652158	2.956274	1.237450	0.012279	-0.022772	0.000005	0.000135	2.413E-010
8	226	0.615300	-19.032744	4.569516	1.262165	0.016213	-0.021246	0.000006	0.000116	2.328E-010
9	211	0.648600	-18.814007	4.786360	1.149835	0.014402	-0.017782	0.000005	0.000089	1.529E-010
10	226	0.556500	-10.363893	1.315192	0.631500	0.002530	-0.008037	4.946E-007	0.000032	9.830E-012
11	242	0.342200	-3.531415	0.882964	0.319534	0.001332	-0.003616	2.034E-007	0.000013	3.166E-012

(continua)

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;

V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 18. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - nível 3a.

NF	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
Area Foliar - Primeiro período - Escala de tempo cronológico										
12	271	0.412900	-6.083774	1.292034	0.385650	0.001843	-0.004110	2.678E-007	0.000014	4.012E-012
13	259	0.247600	-3.246527	2.139351	0.276328	0.002804	-0.002793	3.754E-007	0.000009	5.184E-012
14	259	0.303900	-5.148426	2.048296	0.333373	0.002590	-0.003399	3.367E-007	0.000011	4.540E-012
15	249	0.501700	-17.630482	4.685625	0.727128	0.005793	-0.007483	7.415E-007	0.000025	9.894E-012
16	231	0.422300	-11.836636	5.563666	0.501388	0.006299	-0.004802	7.439E-007	0.000015	9.220E-012
17	208	0.322800	-11.056751	11.265946	0.452381	0.012116	-0.004143	0.000001	0.000012	1.643E-011
18	187	0.238000	-7.395283	22.120108	0.313687	0.022500	-0.002638	0.000002	0.000007	2.789E-011
MS Limbo - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	81	0.423500	-3.317445	0.005693	0.441140	0.003365	-0.051669	0.000144	0.001657	5.025E-007
4	89	0.294400	-2.605409	0.014889	0.129747	0.004399	0.011882	0.000138	-0.001661	4.012E-007
5	121	0.294500	-2.485130	0.038221	0.117414	0.006802	0.016405	0.000136	-0.001533	2.640E-007
6	161	0.533400	-3.782772	0.079581	0.260181	0.011315	0.029465	0.000173	-0.002485	2.559E-007
7	153	0.513000	-4.230651	0.162061	0.355610	0.017716	0.020917	0.000220	-0.002022	2.785E-007
8	147	0.773100	-18.876259	1.021231	4.528603	0.080881	-0.357220	0.000650	0.009032	5.380E-007
9	149	0.952300	-29.612920	0.759361	6.805734	0.056627	-0.517903	0.000434	0.012879	3.450E-007
10	144	0.971300	-39.252156	1.291254	8.498179	0.086586	-0.610091	0.000606	0.014398	4.463E-007
11	118	0.971700	-54.519220	4.028282	11.357371	0.241075	-0.786143	0.001528	0.017978	0.000001
12	109	0.982900	-63.090661	6.587379	12.287238	0.364706	-0.797755	0.002161	0.017203	0.000001
13	92	0.981700	-79.311511	27.059159	14.587292	1.355283	-0.895665	0.007337	0.018316	0.000004
14	81	0.980400	-70.956622	73.913558	11.469585	3.559094	-0.609255	0.018602	0.010571	0.000011
15	65	0.983300	-4.080849	146.808149	-3.443612	6.454828	0.451193	0.031103	-0.013820	0.000016
16	42	0.990800	45.712481	315.797165	-13.933600	12.910085	1.150769	0.058061	-0.028849	0.000029
17	24	0.940300	79.343077	6348.904833	-19.439401	247.827764	1.411720	1.065797	-0.032102	0.000505
18	9	0.963600	250.117480	9536.050585	-51.033421	352.761089	3.327607	1.442118	-0.070409	0.000651
19	2	0.940600	280.593989	7.528E+004	-53.013681	2595.013574	3.211178	9.908317	-0.063186	0.004190
MS Folha - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	273	0.491700	-3.306216	0.005634	0.428887	0.003330	-0.047296	0.000142	0.001569	4.973E-007
4	201	0.396600	-2.581485	0.014125	0.111043	0.004173	0.017655	0.000131	-0.001818	3.806E-007
5	202	0.457200	-2.403417	0.033994	0.053244	0.006050	0.031284	0.000121	-0.002146	2.348E-007
6	236	0.616500	-3.749479	0.074559	0.238131	0.010601	0.036041	0.000162	-0.002676	2.397E-007
7	216	0.613000	-4.194378	0.156212	0.288715	0.010777	0.035890	0.000212	-0.002595	2.684E-007
8	192	0.886500	-21.122154	0.677395	5.095165	0.053649	-0.398530	0.000431	0.010061	3.569E-007
9	181	0.966400	-32.112233	0.679539	7.413413	0.050344	-0.560300	0.000384	0.013859	3.040E-007
10	165	0.976000	-42.797150	1.333012	9.337269	0.089386	-0.669431	0.000625	0.015788	4.607E-007
11	148	0.978300	-60.010572	3.903320	12.546316	0.233596	-0.865753	0.001480	0.019741	9.993E-007
12	131	0.985300	-68.589226	6.798950	13.420239	0.376420	-0.870589	0.002231	0.018760	0.000001
13	116	0.984000	-87.536964	28.802263	16.159287	1.442588	-0.990611	0.007810	0.020207	0.000005
14	107	0.981200	-75.466073	83.690988	12.174958	4.029898	-0.640325	0.021063	0.010950	0.000012
15	89	0.983100	1.859510	177.871225	-5.062108	7.820603	0.587250	0.037684	-0.017358	0.000020
16	82	0.991300	93.000809	359.878232	-23.837177	14.712161	1.832807	0.066166	-0.044246	0.000033
17	67	0.987900	166.775115	1524.921088	-36.912792	59.531582	2.562534	0.256046	-0.057053	0.000121
18	52	0.961600	278.650329	1.163E+004	-55.993506	430.196001	3.605762	1.758679	-0.075366	0.000794
19	36	0.944200	172.261164	7.590E+004	-32.215306	2616.245695	1.881461	9.989386	-0.034876	0.004225

(continua)

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;

V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 18. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - nível 3a.

NF	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
Area Foliar - Primeiro período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	134	0.063000	3.440084	0.013514	-0.044116	0.002902	0.005757	0.000119	-0.000378	4.154E-007
4	145	0.029600	3.983248	0.014150	-0.008488	0.002620	-0.004865	0.000082	0.000363	2.409E-007
5	175	0.012100	4.384876	0.016138	0.012755	0.002427	-0.003968	0.000050	0.000192	1.004E-007
6	215	0.350100	3.524287	0.039071	0.056985	0.004883	0.023178	0.000074	-0.001517	1.108E-007
7	207	0.416700	2.970004	0.109708	0.113449	0.011110	0.026872	0.000136	-0.001699	1.737E-007
8	195	0.601400	-14.557909	1.211353	4.826598	0.095164	-0.377706	0.000758	0.009543	6.217E-007
9	164	0.893800	-24.305147	1.718579	6.878223	0.115948	-0.520252	0.000817	0.012878	6.062E-007
10	147	0.888700	-36.462430	5.300722	9.222899	0.313791	-0.666934	0.001969	0.015859	0.000001
11	123	0.819300	-60.556887	22.929321	14.108934	1.200028	-0.995162	0.006762	0.023158	0.000004
12	112	0.923200	-93.320909	43.705016	20.078633	2.145982	-1.351787	0.011422	0.030140	0.000007
13	92	0.949200	-181.390794	84.353534	36.978425	3.759091	-2.429169	0.018339	0.052964	0.000010
14	81	0.940200	-262.280042	425.816796	50.877833	17.291658	-3.216562	0.077265	0.067637	0.000038
15	67	0.971900	-373.317101	1738.189432	68.548486	67.224448	-4.135236	0.286617	0.083135	0.000135
16	44	0.957700	-409.060091	1.382E+004	70.277525	492.474951	-3.971341	1.941967	0.074776	0.000847
17	24	0.953700	-471.526622	2.745E+005	75.358625	9022.839259	-3.954221	32.881111	0.068851	0.013286
18	9	0.945200	7320.724692	2.841E+006	-1285.795164	8.902E+004	75.199856	309.490907	-1.463691	0.119361
19	2	1.000000	-37.014351	37.200434	2.283375	0.036100	0.000E+000	0.000004	0.000E+000	4.170E-011
MS Limbo - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
3	274	0.692700	-8.303389	0.063354	0.404092	0.000557	-0.008952	4.421E-007	0.000061	2.873E-011
4	264	0.779500	-10.662456	0.083643	0.497146	0.000533	-0.008919	3.075E-007	0.000050	1.621E-011
5	436	0.707000	-11.598628	0.170497	0.476117	0.000662	-0.007096	2.399E-007	0.000033	8.490E-012
6	362	0.774600	-16.197046	0.372191	0.651672	0.001225	-0.009028	3.711E-007	0.000040	1.102E-011
7	407	0.809800	-21.324995	0.583147	0.834518	0.001646	-0.011160	4.472E-007	0.000048	1.209E-011
8	412	0.767900	-25.108630	1.351724	0.936629	0.003369	-0.011895	8.392E-007	0.000049	2.120E-011
9	422	0.718400	-25.266990	2.765036	0.860524	0.006151	-0.009954	0.000001	0.000037	3.261E-011
11	333	0.600500	-27.498453	14.246083	0.808322	0.026195	-0.008064	0.000005	0.000026	1.038E-010
12	257	0.536400	-27.611274	44.592003	0.742580	0.076028	-0.006689	0.000014	0.000018	2.663E-010
13	149	0.603600	-18.016117	88.564053	0.263464	0.146045	0.000313	0.000026	-0.000014	4.814E-010
14	39	0.613100	-57.569759	589.870928	1.759602	0.929625	-0.018222	0.000156	0.000061	2.832E-009
MS Folha - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
3	332	0.742500	-8.762669	0.064616	0.450126	0.000569	-0.009926	4.513E-007	0.000068	2.933E-011
4	353	0.819900	-11.886141	0.112043	0.607839	0.000795	-0.011567	5.120E-007	0.000069	2.911E-011
5	482	0.746900	-12.141842	0.177085	0.514399	0.000688	-0.007685	2.493E-007	0.000036	8.822E-012
6	458	0.799700	-16.996924	0.394108	0.697665	0.001297	-0.009662	3.526E-007	0.000043	1.166E-011
7	531	0.824400	-22.520064	0.641763	0.892045	0.001811	-0.011861	4.922E-007	0.000051	1.330E-011
8	512	0.785000	-26.380219	1.467446	0.991494	0.003658	-0.012497	9.110E-007	0.000051	2.301E-011
9	506	0.735000	-26.789799	3.043753	0.923339	0.006773	-0.010650	0.000002	0.000040	3.590E-011
10	449	0.737600	-30.601206	5.231257	1.008895	0.010578	-0.011123	0.000002	0.000040	4.827E-011
11	386	0.618400	-29.112794	15.359392	0.867187	0.028249	-0.008665	0.000005	0.000028	1.119E-010
12	311	0.554000	-30.393310	48.830051	0.841813	0.083254	-0.007749	0.000015	0.000022	2.916E-010
13	190	0.654000	-23.210485	83.879886	0.461038	0.138372	-0.002060	0.000024	-0.000005	4.555E-010
14	46	0.614300	-57.620981	681.261392	1.745013	1.076038	-0.017776	0.000181	0.000058	3.283E-009

(continua)

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;

V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;

QUADRO 18. Ajustes da equação polinomial exponencial cúbica - nível 3a.

NF	PT	R ²	a	V(a)	b ₁	V(b ₁)	b ₂	V(b ₂)	b ₃	V(b ₃)
Area Foliar - Segundo período - Escala de tempo cronológico										
3	636	0.109600	1.602814	0.033457	0.105475	0.000218	-0.002282	1.319E-007	0.000015	7.620E-012
4	617	0.178700	0.976459	0.065344	0.150943	0.000298	-0.002758	1.318E-007	0.000016	5.778E-012
5	640	0.476800	-4.159458	0.193653	0.418776	0.000691	-0.006688	2.369E-007	0.000034	7.970E-012
6	568	0.469500	-4.614412	0.326238	0.398660	0.000939	-0.005689	2.666E-007	0.000026	7.563E-012
7	509	0.266900	-2.690496	0.791861	0.284518	0.001831	-0.003753	4.312E-007	0.000016	1.043E-011
8	463	0.277900	-0.960188	1.308011	0.181902	0.002759	-0.001974	6.016E-007	0.000007	1.363E-011
9	419	0.361700	-6.004539	2.519705	0.365640	0.004868	-0.004159	9.839E-007	0.000015	2.088E-011
10	365	0.215400	-3.373156	10.834638	0.217528	0.018247	-0.001833	0.000003	0.000004	6.225E-011
11	331	0.264500	-18.857149	31.351424	0.783298	0.050877	-0.008855	0.000009	0.000009	1.633E-010
12	253	0.183200	-15.876787	108.487523	0.609992	0.166035	-0.006211	0.000027	0.000020	4.840E-010
13	149	0.208400	-29.954797	260.287420	1.066090	0.379735	-0.011192	0.000060	0.000038	1.021E-009
14	38	0.226800	-95.244389	2321.994387	3.503303	3.273111	-0.040888	0.000499	0.000156	8.246E-009
MS Limbo - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	233	0.528600	-3.581081	0.003755	0.426505	0.001704	-0.066706	0.000502	0.003902	0.000006
4	186	0.648800	-4.614454	0.005276	0.007243	0.003087	0.270699	0.000695	-0.031300	0.000008
5	262	0.770100	-4.526809	0.006806	-0.712221	0.002914	0.484832	0.000601	-0.046510	0.000007
6	152	0.864800	-5.810041	0.013537	-1.516042	0.005320	0.807093	0.001091	-0.071423	0.000012
7	110	0.904500	-6.276213	0.018783	-2.012198	0.007019	0.844692	0.001271	-0.065235	0.000011
8	65	0.898600	-6.436518	0.047092	-1.906505	0.018683	0.651308	0.003257	-0.040964	0.000025
9	26	0.927600	-6.500263	0.102650	-1.837936	0.046533	0.491829	0.007202	-0.023174	0.000048
10	1	0.933800	-7.048712	0.593138	-1.188346	0.306069	0.239376	0.039326	-0.003689	0.000218
11	0	0.688800	239.507431	5.325E+006	-91.183860	8.146E+005	11.119600	1.383E+004	-0.442562	26.032601
MS Folha - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	247	0.562500	-3.514141	0.004233	0.466315	0.001926	-0.064663	0.000564	0.003369	0.000007
4	253	0.661800	-4.602044	0.006057	-0.011261	0.003539	0.302734	0.000801	-0.034594	0.000009
5	302	0.778100	-4.504921	0.007654	-0.771232	0.003276	0.524750	0.000676	-0.050340	0.000008
6	245	0.872900	-5.868672	0.014600	-1.642391	0.005738	0.871299	0.001176	-0.077078	0.000013
7	229	0.910600	-6.365096	0.020361	-2.150860	0.007608	0.900588	0.001380	-0.069345	0.000012
8	156	0.902300	-6.444223	0.050637	-1.991430	0.020089	0.673480	0.003502	-0.041842	0.000027
9	97	0.931300	-6.357119	0.107735	-1.785663	0.048838	0.455681	0.007559	-0.019265	0.000050
10	47	0.934600	-6.854466	0.596705	-1.050113	0.307910	0.187361	0.039562	0.000339	0.000220
11	11	0.688800	239.507431	5.325E+006	-91.183860	8.146E+005	11.119600	1.383E+004	-0.442562	26.032601
Area Foliar - Segundo período - Escala de tempo do índice de plastochron										
3	433	0.125400	2.854089	0.001001	0.086873	0.000592	-0.012209	0.000098	0.001023	0.000001
4	363	0.214500	3.077240	0.002431	-0.038171	0.001070	0.052085	0.000174	-0.004960	0.000002
5	316	0.583800	2.181031	0.011587	-0.736517	0.004514	0.407206	0.000754	-0.036822	0.000007
6	207	0.700800	1.684305	0.024322	-1.297598	0.009117	0.572777	0.001634	-0.046933	0.000014
7	111	0.902300	0.021919	0.032812	-2.650003	0.014545	1.003950	0.002353	-0.076075	0.000016
8	65	0.933500	-3.145605	0.216920	-4.775798	0.109423	1.613878	0.014729	-0.111955	0.000085
9	26	0.957700	-6.333127	4.389937	-6.206591	2.377729	1.880847	0.265192	-0.117549	0.001312

NF - número da folha;

PT - número de pontos usados para o ajuste;

R² - coeficiente de determinação;

a, b₁, b₂, b₃ - estimativas dos parâmetros da equação;

V(a), V(b₁), V(b₂), V(b₃) - variâncias das estimativas dos parâmetros da equação;