

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO EM DUAS CULTIVARES DE ARROZ, EM
RESPOSTA AO TRATAMENTO COM DOSES DIFERENCIADAS DE
NITROGÊNIO, SOB CONDIÇÕES DE CAMPO.**

EDSON MATTOS GESTEIRA

ORIENTADOR: Prof. Roberto Oscar Pereyra Rossiello

CO-ORIENTADOR: Prof. Maurício Ballesteiro Pereira

Dissertação submetida como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Magister Scientiae em Agronomia,
área de concentração em Ciência do
Solo.

Rio de Janeiro

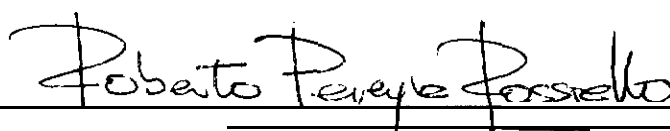
1996

ANÁLISE DE CRESCIMENTO EM DUAS CULTIVARES DE ARROZ,
EM RESPOSTA AO TRATAMENTO COM DOSES DIFERENCIADAS
DE NITROGÊNIO, SOB CONDIÇÕES DE CAMPO.

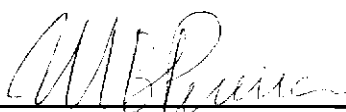
Autor

EDSON MATTOS GESTEIRA

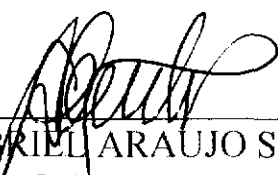
Aprovado em: 09/09/1996



Prof. ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO
Presidentc - Prof. da UFRRJ



Prof. MAURICIO BALLESTEIRO PEREIRA
Prof. da UFRRJ



Prof. GABRIEL ARAUJO SANTOS
Prof. da UFRRJ

“Em ciência, todo começo é difícil.”

K. Marx
(1818 - 1883)

“A ciência não é o pleonasmo da experiência.”

Gaston Bachelard
(1884 – 1962)

Aos meus pais,
Elísio e Maria Lourdes,
e à Jaqueline,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO, pela orientação e atenção dispensada para a realização do trabalho de dissertação.

Um especial agradecimento ao Professor MAURÍCIO BALLESTEIRO PEREIRA pela amizade, generosidade, apoio e orientação dispensada.

Aos professores CARLOS PIMENTEL e ADELSON PAULO DE ARAÚJO, pela colaboração nos momentos difíceis.

Aos servidores das bibliotecas da UFRRJ e da EMBRAPA, pelo apoio no trabalho de levantamento bibliográfico.

Aos colegas do Campo Experimental, pela ajuda na fase de desenvolvimento de campo do experimento.

À JAQUELINE DA SILVA DE SOUZA, pela compreensão, apoio e carinho dispensado na realização deste trabalho.

Aos companheiros de turma, pela amizade e apoio nos bons e difíceis momentos da convivência acadêmica.

Ao CNPAF/EMBRAPA, representado pela Dra. Marlene Freire, pelo envio do material bibliográfico referente aos genótipos de arroz utilizados.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que me permitiu, ao longo destes 16 anos de estudo, o acesso ao mundo do saber, onde se gera, difunde e se aprofunda o livre exercício democrático da crítica.

A todos aqueles que, de um forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

EDSON MATTOS GESTEIRA, nascido na cidade do Rio de Janeiro em 03 de junho de 1964, concluiu o curso de Agropecuária em 1982 pelo Colégio Técnico da UFRRJ. Ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas, na UFRRJ, em 1985, concluindo-o em 1988. No mesmo ano, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na mesma universidade, formando-se em 1991.

Em 1993, ingressou no curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo da UFRRJ, em nível de mestrado, concluindo-o em 1996.

Tendo ingressado em 1986 na UFRRJ, como servidor, atualmente trabalha no Campo Experimental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, orientando alunos de graduação nos trabalhos de experimentação e produção agrícolas.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Análise de Crescimento e Ajuste de Curvas	5
2.1.1 Análise de Crescimento em Arroz	8
2.1.2 Crescimento e Desenvolvimento da Cultura de Arroz	10
2.1.3 Economia de Carbono e a Planta de Arroz	14
2.1.4 Nitrogênio na Cultura de Arroz	17
3. Materiais e Métodos	22
3.1 Local	22
3.2 Solo	22
3.3 Clima	23
3.4 Características das Cultivares Estudadas	25
3.5 Plantio	27
3.6 Modelo Experimental	28
3.7 Coleta das Amostras	32
3.8 Determinação dos Parâmetros fisiológicos	33
3.9 Avaliação da Heterocedasticidade na Análise da Variância	35
3.9.1 Teste para verificação da Heterocedasticidade	36

3.10 Ajuste dos Modelos Matemáticos	37
4. Resultados e Discussão	40
4.1 Avaliação da Variância Amostral dos Parâmetros em Estudo	40
4.2 Modelos Matemáticos para ajuste de função	44
4.3 Análise dos Parâmetros Fisiológicos	45
4.4 Número de Perfilhos	47
4.5 Altura das Planta	52
4.6 Massa Seca das folhas (W_f)	55
4.7 Massa Seca do Colmo (W_c)	58
4.8 Massa Seca de Panícula (W_p)	61
4.9 Massa Seca Total (W_t)	64
4.10 Taxa de Crescimento da Cultura (TCC)	67
4.11 Índice de Área Foliar (IAF)	70
4.12 Taxa de Assimilação Líquida (TAL)	74
4.13 Partição de Matéria Seca	76
4.14 Produção Final	79
5. Conclusão	81
6. Referências Bibliográficas	85
7. Anexos	96
8. Glossário	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Cultivar Agulha	26
Figura 3.2 - Cultivar IRGA 412.....	26
Figura 3.3 - Esquema geral da condução do experimento	27
Figura 3.4 - Croqui da área experimental	30
Figura 3.5 - Vista parcial da área experimental	31
Figura 3.6 - Unidade experimental (subparcela)	31
Figura 4.1 - Perfilhamento da Cultivar IRGA 412	50
Figura 4.2 - Perfilhamento da Cultivar Agulha	50
Figura 4.3 - Altura de planta	53
Figura 4.4 - Massa seca de folha (W_f)	56
Figura 4.5 – Massa do massa seca de colmo (W_c)	59
Figura 4.6 - Massa do massa seca de panícula (W_p)	63
Figura 4.7 - Massa seca total (W_t)	65
Figura 4.8 - Taxa de crescimento da cultura (TCC)	69
Figura 4.9 - Índice de área foliar (IAF)	71
Figura 4.10 - Taxa de assimilação líquida (TAL)	75
Figura 4.11 - Partição de matéria seca nas Cultivar Agulha e IRGA. 412 nos tratamentos de nitrogênio.....	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Histórico da cultura do arroz	3
Tabela 3.1 – Análise química do solo da área experimental.....	23
Tabela 3.2 – Médias dos dados climatológicos semanais relativos ao ciclo vegetativo da cultura	24
Tabela 3.3 – Variância do experimento	29
Tabela 3.4 – Parâmetros observados nas coletas	32
Tabela 4.1 – Variância amostral dos dados originaisdos diversos parâmetros	41
Tabela 4.2 – Variância amostral dos dados após transformação em logaritmo natural	41
Tabela 4.3 – Análise da variância dos parâmetros estudados	46
Tabela 4.4 – Médias dos parâmetros estudados	48
Tabela 4.5 – Médias da interações Nitrogênio x Cultivar dos parâmetros estudados.....	49
Tabela 7.1 – Ajuste de curvas pelo métodos dos polinômios ortogonais para massa seca de folha (Wf)	97
Tabela 7.2 – Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de colmo (Wc)	98

Tabela 7.3 – Ajuste de curvas pelo método dos polinômicos ortogonais para massa seca de panícula (Wp)	99
Tabela 7.4 – Ajuste de curvas pelo método dos polinômicos ortogonais para massa seca total (Wt)	100
Tabela 7.5 – Ajuste de curvas pelo método dos polinômicos ortogonais para índice de área foliar (IAF)	101

RESUMO

Foi conduzido um experimento para avaliar o efeito de três doses de nitrogênio - 0, 40 e 80 Kg.ha⁻¹ - sobre o padrão de crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de arroz de hábitos contrastantes de crescimento, isto é, Agulha, que é uma planta do tipo tradicional, e uma outra melhorada, denominada IRGA 412, cultivadas em condições de irrigação por inundação.

A área experimental localizada em Seropédica, no Campo Experimental da UFRRJ, caracteriza-se por um solo de gradiente textural entre os horizontes A e B, com uma textura arenosa no horizonte superficial, e relevo plano. O Delineamento experimental foi em bloco ao acaso com parcelas subdivididas. Cada bloco apresentava três parcelas que correspondiam aos tratamentos de nitrogênio. Cada parcela foi subdividida em duas subparcelas que continham as duas diferentes cultivares. O número de repetições dos blocos foram seis.

O plantio foi realizado em 18 de fevereiro de 1994, em sementeira, e, aos 40 dias após, foi realizado o transplante para local

definitivo. A adubação nitrogenada foi em dose única no início da fase reprodutiva.

A coleta dos dados para a análise de crescimento foi iniciada aos 85 DAP, onde foram analisados o número de perfilhos, altura da planta, área foliar e acúmulo e partição de massa seca da parte aérea, através de amostragem aos 85, 92, 99, 106, 113 e 120 dias após o plantio. A colheita, foi feita aos 150 DAP, quando foi avaliada a produtividade dos grãos em casca das cultivares.

Os resultados do acúmulo de matéria seca da parte aérea e da variação estacional do índice de área foliar (IAF) foram ajustados pelo método dos polinômios ortogonais, e as componentes das diversas regressões foram analisadas em sua significância estatística. A partir da escolha da melhor função para o ajuste, foram estimados os valores da taxa de crescimento (TCC) e taxa de assimilação líquida (TAL).

Os resultados obtidos mostraram que o pouco perfilhamento das cultivares, aliado a uma baixa densidade de *stand*, determinaram um pequeno IAF na área do experimento.

A variação da partição de massa seca da cultivar Agulha foi superior quando comparada com a cultivar IRGA 412. Esta superioridade corresponde a uma maior produção de palhada da cultivar tradicional. Entretanto, há uma inversão de acúmulo de matéria seca de panícula, em que a cultivar melhorada apresenta uma melhor resposta.

Quanto à variação estacional do IAF, observa-se que ocorre uma tendência à estabilização de crescimento de área foliar na maioria dos tratamentos de Nitrogênio. Entretanto, os tratamentos de 80 kgN/ha para Agulha e de 40 kgN/ha para a cultivar IRGA 412 apresentaram melhores respostas de variação de IAF.

O aumento da dose de nitrogênio incrementou o número de perfilhos, massa seca de folha, massa seca total e área foliar. Em contrapartida, observa-se uma ausência de resposta à adubação nitrogenada nos seguintes parâmetros: massa de colmo, massa seca de panícula, altura de planta e produção final, quanto a este último parâmetro não só na dose de nitrogênio, mas também no efeito de cultivar, não foram constatadas diferenças significativas.

Quanto aos resultados obtidos de TCC, observa-se que o comportamento das cultivares mostrou-se semelhante ao de IAF, que somente nos tratamentos de 40 kgN/ha para IRGA 412 e 80 kgN/ha para Agulha apresentaram respostas diferentes à regra, que foi de tendência à estabilização.

O tratamento 80 kgN/ha para o Agulha apresentou uma maior TCC quando comparado ao tratamento de 40kgN/ha da cultivar IRGA 412. Entretanto, as taxas de assimilação líquida (TAL) tenderam a apresentar quedas de valores a partir do período de coleta.

Quanto à produção final, os melhores resultados se encontraram em torno de 2.200-2500 Kg/ha em média, nos tratamentos de 80 KgN/ha para as duas cultivares, apresentando níveis pouco satisfatórios se for comparada às melhores produções. Entretanto, se fosse aumentado o IAF pela melhoria da densidade de plantio e incremento do perfilhamento, poderia-se esperar uma melhor resposta em termo de produtividade final.

ABSTRACT

The effects of three nitrogen levels - 0, 40 and 80 kg.ha⁻¹ - on the growth and dry matter partitioning of two rice varieties - Agulha and IRGA 412 -, growing under irrigation conditions, has been studied. The experiment was located in the Experimental Field of UFRRJ. The design presented randomized blocks, with subdivided parcels, and six replications.

It was analyzed the tiller number, plant height, leaf area index and shoot dry matter accumulation, from 85 to 120 days after planting. Dry matter and leaf area index (LAI) was adjusted by methods of Orthogonal Polynomials. From the correspondent functions was estimated the crop growth rate (CGR) and net assimilation rate (NAR).

The low tillering and a low plant density reflected negatively in the LAI. There was a tendency to stabilization of leaf area growth. The increment of nitrogen level increased the tiller number, dry matter leaf, dry matter total and leaf area. However, it was observed an absence of response as for: dry matter stem, dry matter panicle, plant height and final production.

The cultivar IRGA 412 showed a better result of dry matter production by leaf area unit in the smaller nitrogen dose.

With regard to final production, the better results was, on an average, 2.200-2.500 Kg/ha and it didn't present significant differences among the cultivars and the different nitrogen treatments.

1 - INTRODUÇÃO

O arroz pertence ao gênero *oryza*, que apresenta vinte espécies conhecidas. A espécie *oryza sativa*, a qual pertence a grande maioria das variedades cultivadas no mundo, originou-se no sudoeste da Ásia. A subespécie *oryza sativa* indica é a mais utilizada nas regiões tropicais.

Devido a sua ampla adaptabilidade climática, o arroz é plantado em diferentes partes do mundo, sob as mais variadas condições ecológicas, e, em função desta grande flexibilidade, esta espécie vegetal tornou-se o mais importante alimento cultivado no mundo, considerando-se a área de cultivo e o número de pessoas dependentes dessa cultura, pois é do arroz que provém mais calorias por hectare do que de qualquer outro cereal (De Datta, 1981).

Em função do papel de destaque ocupado pela cultura, foi a partir da década de 60, com a fundação do Instituto Internacional de Investigação em Arroz (IRRI), nas Filipinas, é que se aumentou consideravelmente o volume das pesquisas sobre a planta de arroz, possibilitando uma melhor compreensão das bases fisiológicas e de nutrição desta espécie, produzindo substancial mudança na arquitetura da planta e

resposta dos cultivares melhorados à utilização de um modelo de agricultura baseado no intensivo uso de fertilizantes, principalmente o nitrogênio, atingindo significativos progressos na resposta ao aumento de produtividade (Vide tabela 1.1).

Segundo Chandler (1984), a substituição do tipo de planta, isto é, de cultivares de porte alto, baixo perfilhamento e folhas longas e decumbentes, por cultivares de porte baixo, com alto perfilhamento, de folhas curtas e eretas e altamente responsivas ao nitrogênio, foi a mudança de maior impacto no potencial de rendimento dessa cultura. A FAO (1994) informa que mais de 60% da área do mundo é plantada com arroz do tipo moderno, com esta substituição de um modelo de produção tradicional, por um outro altamente tecnificado, gerou-se a dicotomia entre cultivar tradicional e cultivar moderno, que será enfocada em nosso trabalho.

O Brasil, que é um país de dimensões continentais, apresenta no seu território diversos climas, bem como contrastes de ordem econômica, social e cultural, que repercutirão na possibilidade de escolha de adoção do modelo de exploração agrícola da cultura de arroz. A produtividade média a nível nacional é considerada muito baixa, estando em torno de 1.362 kg/ha em comparação com a produtividade de 5.128 kg/ha do Japão (FAO, 1981). Esta discrepância não só pode ser atribuída à deficiência no uso de irrigação, insumos e ao baixo nível tecnológico, como também à pouca compreensão dos padrões de adaptação ecofisiológica de nossos cultivares, principalmente as não melhoradas, às condições adversas dos trópicos, não devendo ficar descartada a possibilidade de melhoria no padrão de arquitetura destes cultivares de sequeiro (Pinheiro *et alii*, 1985), pois mesmo os genótipos de baixa performance produtiva precisam ser melhor estudados para se compreender as necessidades de respostas de sobrevivência e produção, num

Tabela 1.1 – Histórico da Cultura do Arroz

Até a década de 40	Década de 50	Década de 60	Década de 70	Décadas de 80 e 90	Futuro
- Sistema clímax - equilíbrio entre entrada e saída de nutrientes	- Revolução Verde - utilização de adubos industrializados - baixa resposta das cultivares ao Nitrogênio	- fundação do IRRI - criação de cultivares melhoradas (IR8) - altamente responsiva ao Nitrogênio	- aumento significativo de produção	- estagnação da produção mundial de arroz - aumento de consumo de adubo nitrogenado - criação de novas cultivares que passem a produzir dos atuais 10t/há para 13t/há (IRRI, 1994) - poluição ambiental (N) - alto custo de insumos e mão-de-obra	- aumento de 1,7% e de até 2,1% da produção de arroz (FAO, 1994) até 2020 - carência de áreas baixas para cultivo - adaptação ecofisiológicas para com modelo diversificado de produção - agricultura sustentável

modelo de agricultura mais sintonizado com as diversidades e particularidades regionais. Podendo, estas variedades tradicionais, vir a desempenhar um importante papel como fonte de germoplasma para os trabalhos de cruzamentos intervarietais.

Para avaliar possíveis diferenças de respostas dos cultivares, aos tratamentos de nitrogênio, utilizou-se a análise de crescimento, que é uma técnica considerada internacionalmente como método padrão para se obter a estimativa de produtividade biológica das comunidades vegetais (Magalhães, 1985), baseando-se na coleta seqüencial de matéria seca e área foliar para determinação de parâmetros fisiológicos que nos possibilitem avaliar com maior precisão as modificações morfo-fisiológicas dos dois cultivares, tanto em uma ou várias fases de crescimento, como durante todo o ciclo da planta.

Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da aplicação de três doses de nitrogênio (0-40-80kg/ha), sobre o padrão de crescimento e acumulação de matéria seca, em duas cultivares de hábitos de crescimento distintos, a cultivar irrigada IRGA 412, com alta pressão de seleção e com características ideotípicas de planta de arroz, e uma outra de sequeiro, Agulha, com baixa pressão de seleção e características de planta tradicional, ambas sob o sistema de cultivo inundado, em condições de campo.

Possíveis diferenças entre uma e outra cultivar foram particularmente estudadas nos seguintes parâmetros: produção e partição de massa seca total; perfilhamento; taxa de assimilação líquida e índice de área foliar; produção final.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. - Análise de Crescimento e Ajuste de Curvas

Durante o desenvolvimento, o vegetal ocupa nas diferentes fases, diferentes períodos de crescimento e, conseqüentemente, seria de fundamental importância o conhecimento dos efeitos dos diferentes tratamentos nas plantas a serem analisadas, durante o transcorrer de um determinado experimento (Lucchesi, 1984).

A análise de crescimento se constitui numa “ferramenta” para se procurar perceber essas diferenças. O fundamento da análise de crescimento é a medida seqüencial da acumulação de matéria orgânica, e sua determinação é feita considerando o peso seco da planta, bem como a área foliar, permitindo acompanhar a dinâmica da produção fotossintética efetiva dada pelo balanço entre fotossíntese, respiração e perdas devido à senescência de tecidos e órgãos (Pereira e Machado, 1987). Neste sentido, Rossiello et alii (1983) informaram que o estudo dos padrões de crescimento e desenvolvimento da área foliar são de importância em pelo menos três direções: em estudos ecofisiológicos, na avaliação de práticas agronômicas e na avaliação fitotécnica de cultivares.

A curva de crescimento é caracteristicamente sigmóide e permite um tratamento matemático para sua interpretação. Geralmente envolvem aplicação de equações diferenciais. Vários são os modelos matemáticos para expressar o crescimento e seus parâmetros derivados (taxa de crescimento relativo, taxa de crescimento líquido, etc.), fornecendo subsídio para a melhor compreensão dos diferentes processos fisiológicos envolvidos na morfogênese da planta (Calbo et alii, 1988).

Usualmente, o ajuste de funções contínuas no domínio real muitas vezes tem interesse para evitar critérios individuais na construção de retas, parábolas e outras curvas de ajustamento que se adaptem ao conjunto de dados.

Machado et alii (1982) citam uma série de vantagens no uso de funções matemáticas no estudo de análise de crescimento:

- a. as amostras não necessitam ser simultâneas em tratamentos e variedades diferentes quando os experimentos são conduzidos simultaneamente;
- b. as amostragens não necessitam ser realizadas em intervalos regulares e em grande freqüência;
- c. pequenos erros de amostragem são suavizados estatisticamente;
- d. não há necessidade de pressupor que o crescimento em si seja de um determinado tipo, mas apenas de que as funções matemáticas se ajustam adequadamente à variação do peso seco e da área foliar durante a estação de crescimento;

- e. um grande número de informações pode ser representado por uma única expressão matemática. Tais vantagens facilitam grandemente a execução de experimentos com vários tratamentos e repetições.

Uma medida da qualidade do ajustamento de uma curva aos dados apresentados (aderência) é obtida pela soma dos quadrados dos desvios (Spiegel, 1974; Calbo *et alii*, 1988b). Isto é, quanto menor for a soma dos quadrados destes desvios, melhor será a regressão obtida por este ajuste, teremos então a curva de mínimos quadrados.

Um outro método aproximativo de ajuste que pode ser utilizado é dos polinômios ortogonais, sendo uma metodologia de relativa facilidade de aplicação, desde que os tratamentos estejam igualmente espaçados, oferecendo a vantagem de conduzir o ajuste em etapas sucessivas, permitindo observar a marcha do ajuste ao término de cada grau mais alto, com probabilidade de significância de cada etapa (Trippett, 1952; Snedecor, 1964; Regazzi, 1993), pois os diferentes componentes linear não interfere na componente quadráticas e esta, por sua vez, não participa da componente cúbica e assim por diante (Gomes, 1985).

Do ponto de vista biológico, o melhor polinômio pode não ser o mais conveniente. A desvantagem de os índices fisiológicos serem obtidos através das derivadas de tais polinômios é que podem apresentar tendências inaceitáveis biologicamente, em função de superajustamento de curvas. A melhor decisão envolve o bom senso do usuário, pois o problema não se restringe apenas a um questão matemática no ajuste das curvas (Pereira e Machado, 1987).

2.1.1. - Análise de Crescimento em Arroz

Na cultura do arroz o índice de área foliar varia de acordo com o cultivar, o espaçamento, a densidade e adubação, principalmente de nitrogênio e fósforo. O aumento do IAF é devido a dois fatores: aumento do número de perfilhos e do tamanho das folhas (Fageria, 1989).

Nas cultivares tradicionais, pouco perfilhadoras, o tamanho da folha é o fator que mais contribui para o aumento do IAF, e nas cultivares melhoradas, o número de perfilhos (Tanaka *et alii*, 1964; citado por Stone e Steimnetz, 1979).

Fagade e De Datta (1971) confirmaram que maiores valores de IAF podem ser obtidos pelo aumento da densidade de plantio da cultura aliado à aplicação de altas doses de nitrogênio.

Yoshida (1972) informou que o IAF ótimo na cultura de arroz irrigado se encontra em torno de 4 a 7. Sendo que no sistema de sequeiro é aproximadamente a metade, pois o arroz de sequeiro, cultivado em condições de deficiência hídrica, em geral possui poucos perfilhos e menor área foliar do que o arroz irrigado.

Entretanto, estudos realizados por Stone *et alii* (1979) concluíram que o IAF ótimo para arroz de sequeiro é proporcional à disponibilidade de água, ou seja, tanto mais baixo quanto menor for esta. Stone e Sleimnetz (1979) demonstraram que um IAF alto pode acentuar o efeito de estiagem resultando em menor produção.

Quanto mais rápido a cultura atinge o IAF máximo e quanto mais tempo a área foliar permanece ativa, maior será a produtividade. Counce (1992) sugere que o índice de estratificação do dossel (CSI), que é a taxa de área foliar da metade superior do dossel, pode ser utilizado como critério de seleção genotípica em arroz. Há, entretanto, uma relação inversa entre o IAF e TAL, por causa do auto sombreamento das folhas. Portanto, um aumento na área foliar não acarreta necessariamente um aumento na produção de matéria seca em culturas bem adubadas e irrigadas (Lopes e Maestri, 1981).

Watson (1952) observou que, na cultura de arroz, o IAF seria o fator mais importante e a TAL teria uma importância secundária. Entretanto, Murata (1961), citado por Stone Steinmetz (1979), provou que as observações acima são válidas para cultivares de arroz com baixo IAF. Para aqueles que apresentam altos valores de IAF, a taxa de assimilação líquida assume maior importância.

Segundo Yoshida (1972), a capacidade de perfilhamento é uma característica secundária na cultura de arroz, pois ele suporta altas densidades de plantio. A planta de arroz é capaz de produzir pelo menos uma panícula por planta, mesmo em densidades altas, não comprometendo o valor de IAF.

Alfonsi *et alii* (1979), trabalhando com dois cultivares de arroz de hábitos de crescimento contrastantes, o IAC 1246 (sequeiro) e o IR 665 (irrigado), em duas densidades de plantio (0,30 e 0,60 m) entre linhas e 0,10m dentro da linha, observaram que os maiores IAF foram para o cultivar de sequeiro à 0,30m, tendo se estabilizado logo após a diferenciação de panícula. No espaçamento de 0,60m, isso aconteceu mais tardiamente, perto da fase de florescimento. Para a cultivar de irrigado a estabilização do IAF foi após o florescimento nos dois espaçamentos.

Num outro trabalho com arroz de sequeiro (IAC 47) e irrigado (CICA 4), Stone *et alii* (1979) verificaram que o número de perfilhos nas duas cultivares estabilizou após os 70 dias da emergência das plantas e que o desenvolvimento da área foliar da cultivar de sequeiro foi mais rápido do que da cultivar semi-anã (CICA 4).

Pinheiro *et alii* (1990) científicaram que o melhoramento do arroz tradicional de sequeiro é possível com o aumento do número de perfilhos, sem perda da capacidade de resistência à seca, desde que se busque a redução da área foliar do perfilho. Estes mesmos autores afirmaram que um dos fatores de baixa produtividade do arroz de sequeiro no Brasil, além do estresse hídrico, doenças, limitação de uso de fertilizante, seria simplesmente o baixo IAF de cultivo, pela baixa densidade de *stand*. Neste sentido, Fagade e De Datta (1971), Counce (1987), e Gravois e Helms (1992 e 1996) observaram que a densidade de panícula por unidade de área foi um dos principais fatores que aumentaram a produtividade do arroz em sistema de semeio direto no campo. Pois, como relatou Washio (1993), quanto mais densa for plantada a cultura de arroz, menor será o número de colmos e panículas por touceira, entretanto este número aumenta por área.

2.1.2 - Crescimento e Desenvolvimento da Planta de Arroz

A planta de arroz pode levar de 3 a 6 meses do plantio à maturidade, entretanto, a maioria das cultivares apresenta um ciclo de 110 a 150 dias. Pode-se observar três fases no desenvolvimento da planta: vegetativa, reprodutiva e amadurecimento.

Ferraz (1987) informou que numa variedade de arroz com o ciclo de 120 dias, nos trópicos, ela consumiria 60 dias (50%) na fase vegetativa, 30 dias (15%) na fase reprodutiva e 30 dias (25%) na de amadurecimento.

A fase vegetativa começa da germinação até o início dos primórdios da panícula. A fase reprodutiva, do início dos primórdios até o florescimento. A fase de amadurecimento vai da fecundação ao amadurecimento completo. Entretanto, estas três fases distintas podem ser subdivididas, oferecendo uma melhor compreensão das alterações morfológicas e fisiológicas durante o ciclo da cultura. Fageria (1989) apresentou nove diferentes estádios de desenvolvimento da cultura de arroz.

- 1º. Plântula - emergência da semente até antes da formação dos primeiros perfilhos.
- 2º. Perfilhamento - compreende o período entre o início e o fim do perfilhamento. Stone *et alii* (1979) e Castilho *et alii* (1992) informaram que um déficit moderado de água neste período apresenta uma correlação positiva com o aumento da produção final, em função da maior profundidade de enraizamento.
- 3º. Alongamento do colmo - esta etapa começa quando os entrenós superiores do colmo principal começa a crescer. Geralmente, esta fase caminha paralela ao início da formação dos primórdios da panícula.

- 4º. Diferenciação do primórdio da panícula - este estágio marca a passagem da fase vegetativa para a reprodutiva. Esta fase é muito crítica, a planta está muito sensível a estresse ambiental, tais como: baixa temperatura; nível de radiação insuficiente e deficiência de água e nitrogênio (Yoshida, 1977; Malavolta e Fornasieri Filho, 1983; e Fageria, 1989).
- 5º. Desenvolvimento da panícula - compreende o período de diferenciação visível da panícula.
- 6º. Floração - é quando a panícula emerge da bainha da folha bandeira com a abertura das espiguetas.
- 7º. Grão leitoso - refere-se ao início da fase de maturação em que ocorre o processo de enchimento dos grãos.
- 8º. Grão pastoso - o grão começa a ficar pastoso, endurecido ao fim de 3 a 8 dias.
- 9º. Maturação - aproximadamente um mês após a floração, o arroz completa a maturação nas regiões tropicais.

Das fases da ontogênese da planta de arroz, o estágio vegetativo é o mais variável, refletindo nos padrões de crescimento da cultura. Esta variação pode ser resultado da interação entre cultivares, clima e sistema de manejo.

Tanaka (1976), citado por Fageria (1984), propôs três tipos de curva de crescimento, levando em consideração a maior relação entre perfilhamento e iniciação floral.

No primeiro padrão de crescimento, a iniciação do primórdio floral começa logo após o perfilhamento máximo. Neste tipo de curva, a floração é uniforme e a produção alta.

No segundo padrão, o perfilhamento continua após a iniciação dos primórdios florais. Há desuniformidade na floração e a produção de grãos é baixa.

No último padrão de crescimento, o perfilhamento estaciona muito antes do início do primórdio floral. A floração é uniforme e a produção geralmente baixa. Neste tipo de curva, o período entre o perfilhamento máximo e o início do primórdio floral chama-se de fase vegetativa defasada.

Um fator de variação da fase vegetativa relatado por Von Uexkull (1979) e Schnier (1990) é o choque do transplante, o qual atrasa o estabelecimento da cultura e causa o comprometimento da formação do aparato fotossintético da cultura, influenciando fortemente o desenvolvimento e a produtividade do arroz plantado neste sistema, quando comparada ao plantio direto da semente no campo. No sistema de semeio direto, o índice de colheita do arroz é menor do que comparado ao sistema de transplante, pois apresenta uma maior demanda de N e produção de altos níveis de fitomassa que promove um efeito de diluição do nitrogênio nos tecidos com baixa eficiência de conversão de alta produção de matéria seca em produtividade de grão. Genótipos alternativos, com limitada produção de área foliar durante o estágio reprodutivo e um menor perfilhamento, poderiam apresentar uma melhor resposta fisiológica.

Fageria (1984) relatou que a curva de crescimento do arroz irrigado é um sigmóide semelhante a das outras culturas. A matéria seca

aumenta pouco até os 70 dias de idade, passando a intensificar de modo quase que linear em relação ao tempo, a partir do perfilhamento máximo até o florescimento, quando mostra uma tendência sigmóide. No caso de arroz de sequeiro, as curvas de crescimento foram quadráticas, em dois anos de estudo. Até 50 a 60 dias, o material seco aumenta pouco e depois, entre 60 e 110 dias, houve um aumento acentuado.

2. 1. 3 - Economia de Carbono e a Planta de Arroz

O arroz é uma gramínea do grupo C_3 de ciclo anual, para a sua maior eficiência na competição deve fazer o melhor uso possível de um curto espaço de tempo, no qual as condições são favoráveis ao crescimento, à floração e a frutificação. O princípio operativo é utilizar a maior proporção possível dos fotossintatos para a formação das folhas. Estas, então, participam na produção e aumentam a absorção das plantas (Larcher, 1985).

A planta de arroz foi ao longo destes 30 a 40 anos intensamente modificada para aumentar a superfície foliar de interceptação de luz; os elementos que mais influenciam essa absorção são: o tamanho e forma da folha, angulo de inserção, orientação azimutal, separação vertical e arranjo horizontal, e absorção de estruturas não foliares (Yoshida, 1972), pois a possibilidade de incremento de produtividade potencial está relacionada com a otimização da estrutura da copa e o aperfeiçoamento do aparato fotossintético (Gifford e Evans, 1981).

Neste sentido, Tanaka (1980), citado por Fageria (1984), informou que o potencial produtivo da cultura foi aumentado significativa-

mente através do melhoramento. O aumento foi primeiramente do dreno pelo aumento de tamanho de grãos. O segundo passo foi aumentar ambos, fonte e dreno, pelo aumento do tamanho das folhas e o do número de grãos por panícula. Em terceiro lugar, foi aumentado o dreno, pelo aumento do número de perfilhos e, conseqüentemente, do número de panículas. Por último, foi aumentada a fonte através do aumento do perfilhamento e da melhor utilização da radiação solar, por meio de folhas pequenas e eretas, bem como reduziu-se o porte das plantas para evitar o acamamento.

O potencial produtivo teórico do arroz relatado por Murata e Matsushina (1975) foi estimado em 19 t/ha. Entretanto, Schinier (1990 b) relatou que o rendimento das cultivares modernas não é superior a das primeiras variedades melhoradas IR 8, pois existe uma barreira fisiológica para aumentar a produtividade nos trópicos. Esta dificuldade está associada ao balanço desfavorável da respiração/fotossíntese na fase reprodutiva. Com efeito, nessas regiões observa-se que a produção fotossintética atinge altos níveis pela grande disponibilidade de energia luminosa, em contrapartida as médias de temperaturas são elevadas, acelerando os processos catabólicos. Logo, nestas condições, a planta de arroz na fase reprodutiva utiliza parte de seus fotossintatos na manutenção do aparato respiratório, estabelecendo uma relação competitiva com o processo de enchimento das panículas. Entretanto, Bhagsari e Brown (1986), em estudo da relação da fotossíntese com a área foliar, relatam a dificuldade de se estabelecer uma relação entre troca de CO_2 e rendimento final em função da correlação negativa de troca de CO_2 e área foliar.

Contudo, o IRRI (1989), citado pelo Boletim da FAO de 1994, informa que o aumento do potencial de rendimento da cultura do arroz está sendo procurado pela criação de cultivares melhoradas que passem da atual média de 20 a 25 perfilhos, em que só 15 a 16 produzem pequenas panículas de 100 a 120 gramas, para um tipo de planta que produza de 4 a 5 perfilhos férteis por panículas grandes de uns 250 gramas, para que assim possa se atingir um rendimento máximo de 13 toneladas por hectare em comparação com o rendimento máximo de 10 toneladas por hectare das variedades atuais.

Esta diminuição do número de perfilhos nas cultivares futuras pode comprometer a produção em sistema de cultivo de baixa uniformidade do *stand*, pois, sob condições tropicais, um genótipo de alto perfilhamento tem a vantagem de adaptar-se a vários espaçamentos ou densidades de plantio, e compensar a falta de perfilho e alcançar rapidamente a área foliar favorável (Yoshida, 1972).

A capacidade produtiva da planta de arroz não depende apenas da produção em si de fotossíntese, mas também do transporte e armazenamento de carboidratos nos grãos. Na cultura de arroz, durante o período de crescimento das panículas, os carboidratos são removidos a partir do colmo contribuindo em geral com 20 a 40% do substrato necessário a produção de grãos (Yoshida, 1972; Murata e Matsuhima, 1975; Silveira e Machado, 1990), sendo que a grande maioria dos fotossintatos são produzidos após a floração pela folha bandeira e aquelas próximas à panícula formada (Fagade e De Datta, 1971).

Pereira et alii (1994), num estudo de resposta de cultivares tradicionais e melhoradas de arroz de sequeiro a diferentes níveis de umidade,

constatarem que há variação na reserva e distribuição de carboidratos na planta de arroz. No caso das cultivares tradicionais, estas revelaram maior capacidade fotossintética e acumularam maior quantidade de carboidratos nos colmos e bainhas das folhas, mas os dois cultivares melhorados apresentaram maior eficiência no transporte dos carboidratos e maior capacidade de acúmulo na espiguetas.

Na relação entre fonte/dreno e produtividade, Fageria (1984) informa que se a fonte é mais ativa durante a fase vegetativa, maior é o número de perfilhos, conseqüentemente, maior será o número de panículas e maior o número de folhas que funcionam como fonte durante a fase reprodutiva. Se a fonte é mais ativa durante a fase reprodutiva, maior será o dreno (o número dos grão e tamanho da casca dos grãos) e, conseqüentemente, a produtividade.

2.1. 4 - Nitrogênio na Cultura de Arroz

Com a introdução de variedades melhoradas e altamente responsivas ao nitrogênio, a cultura do arroz passou de um sistema, que nos trópicos era considerado de “agricultura clímax”, para um outro em que há uma intensa demanda nutricional e uma elevada exportação de nutrientes via colheita, exigindo uma contínua adubação de restituição da fertilidade do solo. Essas mudanças provocaram significativos aumentos na produção, entretanto, Buresh e De Datta (1991) informou que dados do IRRI (1989) apontam para uma estagnação ou até declínio na produção mundial de arroz, contrastando com um aumento da utilização de fertilizantes nitrogenados na cultura do arroz.

Este fato pode ser explicado pela baixa eficiência de utilização de nitrogênio na cultura do arroz, apresentando uma forte tendência a perdas na forma gasosa (Patrik e Reddy, 1976; Buresh e De Datta, 1991). Uma significativa melhora na redução das perdas de nitrogênio seria possível pela diminuição dos processos de volatilização da amônia, nitrificação-denitrificação, imobilização de nitrogênio por microorganismo e nas frações orgânica e mineral do solo, lixiviação e época adequada de aplicação (Vlek et alii, 1978; Von Uexkull, 1979).

A eficiência de utilização do nitrogênio na cultura de arroz raramente é superior a 30-40%. Nos casos de melhor controle de manejo agrônômico não ultrapassa a 60-65% (Chander, 1984). Mesmo com baixa eficiência de aproveitamento, os cultivares melhorados respondem satisfatoriamente a altos níveis de nitrogênio. Entretanto, nos cultivares tradicionais não há resposta além dos 30-50 Kg/ha de N (Fageria e Wilcox, 1977; Von Uexkull, 1979; Malavolta, 1984) e de até 60 kg/ha N quando o conteúdo de água no solo não foi limitante (Stone et alii, 1979).

Angladente (1969) informa que as variedades que apresentam maiores rendimentos não são obrigatoriamente as que absorvem mais nitrogênio em meio rico. Os botânicos japoneses têm dado uma explicação a este fato: as variedades adaptadas geralmente a terrenos pobres, pouco férteis (do tipo índica em particular), apresentam em solos férteis ou muito ricos em nitrogênio uma absorção excessiva do mesmo, daí este aumento de nível de nitrogênio solúvel na planta e de nitrogênio não protéico, que determina um aumento da superfície foliar, seguida de uma diminuição da atividade de absorção, uma nutrição defeituosa e um rendimento pobre em grãos, que

contrasta com o peso elevado da palha. Ao contrário, nas mesmas condições, aos cultivares do tipo japônica apresentam uma relação entre N solúvel e N protéico mais reduzida que a das cultivares índicas, o que assinala uma transformação mais completa do nitrogênio em proteína.

O nitrogênio é o segundo macronutriente mais exigido pela cultura e o mais exportado como produto colhido, sua demanda é determinada pela taxa de crescimento e a composição de novos tecidos, a necessidade máxima de nitrogênio será acessível quando as condições de fotossíntese não impedirem a expressão do potencial genético da taxa de crescimento (Novoa e Loomis, 1981). O nitrogênio é o nutriente mais limitante na produção de arroz, sendo, em regra geral, o elemento mais capaz de aumentar o rendimento das colheitas. (Buresh e De Dattas, 1991; Malavolta e Fornasueri Filho, 1983; Machado, 1985).

A capacidade do nitrogênio de interferir na produção final da cultura está diretamente relacionada com o seu papel no desenvolvimento da planta de arroz. Segundo De Datta (1981), o nitrogênio tem uma função de relevância nos seguintes aspectos:

- 1 - Dar uma tonalidade verde escuro às regiões com participação na fotossíntese.
- 2 - Promove rápido crescimento ou aumento de altura e número de perfilhos.
- 3 - Aumento do tamanho das folhas e grãos.
- 4 - Elevação do número de espiguetas férteis por panícula.
- 5 - Melhora o enchimento da panícula.

6 - Aumenta o conteúdo protéico no grão, neste sentido, Souza et alii (1993) informaram que a aplicação tardia de nitrogênio incrementa o nível de aminoácidos nos grãos.

Na cultura do arroz o processo de absorção de nutriente em diferentes estádios de crescimento é função do clima, propriedade do solo, quantidade de fertilizantes aplicados, variedade de arroz e método de cultivo (Ishizuka, 1971). A eficiência na absorção e utilização do N na produção de grãos está associada a uma eficiente operação de absorção, translocação, assimilação e redistribuição na planta, podendo constituir-se num parâmetro para seleção genotípica (Moll et alii, 1981; Fageria e Barbosa Filho, 1982; Broadbent, De Datta e V. Laureles, 1987; De Datta e Broadbent, 1988), pois o objetivo principal é identificar genótipos que produzam o máximo rendimento de grãos com o mínimo uso de fertilizantes nitrogenados. Quantitativamente, o nitrogênio utilizado para o crescimento vegetativo é de longe maior do que o requerido no desenvolvimento da fase reprodutiva. Na planta do arroz, 90% do total de nitrogênio requerido antes do estágio de enchimento já foi alcançado (Ishizuka e Tanaka, 1953; Wetselaar e Farquhar, 1980). Com essa grande acumulação de nitrogênio nas panículas, ocorre uma paralização da demanda de N nas outras partes da planta (Norman et alii, 1992).

Logo, a época de aplicação da adubação nitrogenada na cultura apresenta uma grande importância, pois uma adição tardia de nitrogênio poderá não surtir efeitos em termos de produção, pelo comprometimento da superfície de área foliar, número de perfilhos, número de panícula, etc. (Bhuiyan et alii, 1984). Existem duas fases fisiológicas críticas no desenvolvimento da plantas de arroz: o estágio de perfilhamento e o início da

diferenciação dos primórdios florais (Sims e Place, 1968; Westfall, 1972; Reddy e Patrick Jr., 1976; e Malavolta, 1987).

A adubação nitrogenada provoca nas cultivares modernas, no início do perfilhamento, maior número de perfilhos e panículas. Nas cultivares tradicionais, uma adubação de N em cobertura no início do perfilhamento poderá estimular o crescimento vegetativo em detrimento da produção de grãos, com conseqüente alongamento do ciclo vegetativo (Malavolta e Fornasieri Filho, 1983).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3. 1 - Local

O experimento foi conduzido na área do Campo Experimental, no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no Município de Seropédica, Rio de Janeiro, Km 47, da Antiga Estrada Rio-São-Paulo, situado a 22° 45' S de latitude e 43° 41' de longitude.

3. 2 - Solo

O solo da área de trabalho apresenta gradiente textural entre os horizontes A e B, sendo marcadamente arenoso na região superficial do perfil e no subsolo encontra-se uma camada de argila que impede a livre drenagem da água, dificultando a mecanização nos períodos de intensa precipitação pluviométrica. O relevo é plano e o micro relevo apresenta a mesma característica topográfica. As propriedades químicas são apresentadas na tabela 3.1

Tabela 3.1- Quadro da análise química do solo da área experimental

Propriedades	PH	P*	K*	Ca*	Mg*	Al*	H + Al*	Na*	C-org (%)	S	T	V(%)
0-30 cm (prof.)	6,5	0,08	0,10	1,4	0,6	0	1,65	0,08	1,99	2,19	3,84	57

* meq/100 cm³

3. 3 - Clima

O clima na região é do tipo AW na classificação de Koeppen, com chuvas no verão e seca no inverno. A precipitação do ano agrícola de 1994 foi 1.111,80 mm, sendo que, no primeiro semestre (janeiro a junho), a precipitação foi de 750,3 mm. A média da temperatura máxima, mínima e média neste mesmo período foram de 34,3°C, 16,3°C e 24,3°C, respectivamente.

Os dados climatológicos foram observados no ponto da Estação Experimental de Itaguaí - RJ, fornecidos pela PESAGRO. O quadro geral dos dados climatológicos estão presentes na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Médias dos Dados Climatológicos Semanais Relativos ao Ciclo Vegetativo da Cultura:

DAP	Temperatura (°C)			Umid. relativa (%)	Nebulo- sidade 0-10	Vento (m/s)	Chuva (mm)	Insolação (ho)
	MAX	MIN	MED					
0 - 7	35.2	23.5	28.3	54	3.5	2.9	0	11.2
8 - 15	32.5	22.3	26.1	67	8.5	5.9	10	6.0
16 - 23	26.6	19.8	22.8	76	8.4	1.8	5.6	1.5
24 - 31	29.6	20.6	24.4	76	7.4	2.1	5.3	5.5
32 - 39	32.0	22.1	25.6	73	7.2	2.9	4.8	6.9
40 - 47	29.5	20.8	24.2	76	7.2	2.4	10.4	4.8
48 - 55	28.1	18.4	22.6	72	5.0	2.6	3.6	6.8
56 - 63	26.7	18.5	22.0	76	6.5	2.2	2.8	5.3
64 - 71	24.0	20.2	23.6	77	6.5	2.2	3.6	5.4
72 - 79	28.1	20.4	23.4	75	6.4	2.5	1.0	4.8
80 - 87	28.4	18.6	22.8	69	4.3	2.2	0.0	8.0
88 - 95	30.4	19.2	23.9	68	1.4	2.4	0.0	8.3
96 - 103	25.1	18.0	20.9	83	7.9	2.2	14.0	3.3
104 - 111	28.7	19.1	22.9	72	3.7	2.5	0.0	7.4
112 - 119	25.3	16.9	20.3	79	5.5	2.5	3.1	5.4
120 - 127	24.3	16.6	19.4	80	6.9	2.8	7.0	5.8
128 - 135	24.0	14.3	18.4	76	3.7	3.1	1.2	7.2

3.4- Características das Cultivares Estudadas

Foram utilizadas duas cultivares de arroz de hábitos de crescimento contrastantes (fig. 3.1 e 3.2). As informações sobre a cultivar sequeiro foram obtidas pelo Boletim de Pesquisa nº 1, de dezembro de 1982, da EMBRAPA-CNPAP. Com relação à cultivar irrigada, os dados foram obtidos do folder do IRGA-EMBRAPA (1986), da Estação Experimental de Arroz. Os cultivares apresentam períodos de amadurecimento em torno de 135 dias após o plantio. A cultivar IRGA 412 é considerada uma planta do tipo moderna, isto é, alta capacidade de perfilhamento, porte baixo, atingindo em média 0,85 m de altura, folhas eretas, adaptada a condições alagadas, responsiva à aplicação de elevadas doses de nitrogênio, possuindo uma arquitetura ideotípica, isto é, padrão de uma cultivar desenvolvida da qual se espera o máximo de produção. A cultivar Agulha é oriunda do Estado do Maranhão, é uma planta do tipo tradicional, de porte alto, atingindo em média 139 cm de altura, desenvolvendo-se bem nas condições de sequeiro, bastante rústica, tolerante a déficits hídricos e baixa fertilidade dos solos, apresenta pouco perfilhamento, folhas largas, possuindo uma arquitetura inadequada para a otimização dos processos fotossintéticos e conseqüentemente para os valores de produção; Segundo Chandler (1984), quando se aplica crescentes doses de nitrogênio, neste tipo de planta tradicional, há uma resposta no aumento de matéria seca de folhas e altura da planta que facilita o acamamento.



Figura 3.1 - Cultivar Agulha



Figura 3.2 - cultivar IRGA 412

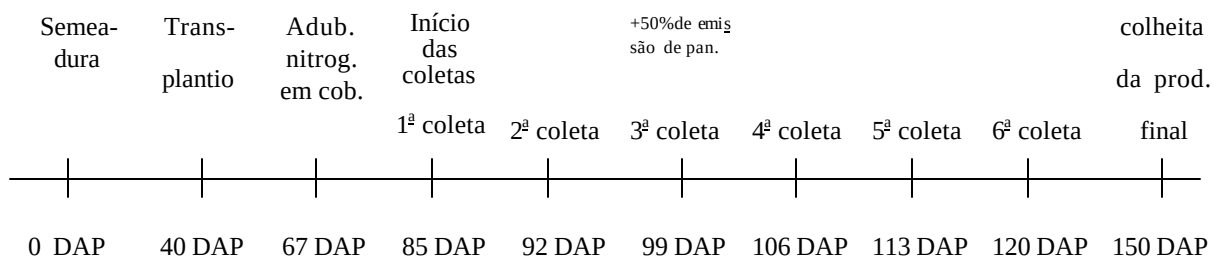
3. 5 - Plantio

O experimento foi plantado no dia 18 de fevereiro de 1994, num canteiro que funcionou como sementeira. Em torno dos 40 dias após o plantio (figura 3.3), as mudas que apresentavam 0,10 m, foram plantadas no local definitivo, que constituiu-se de pequenos tabuleiros que represavam uma lâmina de água em torno de 0,05-0,10 m de altura.

A adubação foi baseada na análise química do solo (tabela 3.1) e seguindo as recomendações do Manual de Adubação do Rio de Janeiro (De-Polli et alii, 1988). A dose de fósforo foi de 20 Kg/ha e de 50 Kg/ha para o potássio em uma única aplicação no transplântio.

A adubação nitrogenada foi realizada em uma única dose aos 67 dias após o plantio, por volta do início da fase reprodutiva das cultivares. Os tratamentos de nitrogênio constituíram-se de 0-40-80 Kg/ha. A fonte de nitrogênio foi a uréia.

Figura 3.3 - Esquema Geral de Condução do Experimento:



3. 6 - Modelo Experimental

O delineamento experimental constituiu-se de blocos ao acaso com seis repetições de três parcelas por bloco, que correspondiam aos diferentes tratamentos de nitrogênio, e em cada parcela estão presentes as subparcelas que correspondem aos cultivares Agulha e IRGA 412. (vide croqui, fig. 3.4)

A área total do experimento foi de aproximadamente 600 m² (fig. 3.5), apresentando nas subparcelas 8 linhas de plantio, que correspondiam a duas linhas de bordaduras externas, duas bordaduras internas, duas linhas de coleta de material para a determinação dos parâmetros da análise de crescimento e duas internas de produção final. A unidade experimental apresentava 3,60m de largura por 4 metros de comprimento de extensão das linhas, com 0,40 m entre linhas e 0,10m entre plantas no interior das linhas (fig. 3.6). O esquema de análise de variância está representado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Variância do experimento

Causas da Variação	GL
Bloco	5
Época	5
Erro A	25
Nitrogênio	2
Época x Nitrogênio	10
Erro B	60
Cultivar	1
Cultivar x Época	5
Cultivar x Nitrogênio	2
Época x Cultivar x Nitrogênio	10
Erro	90
TOTAL	215

Figura 3.4 Croqui da área experimental

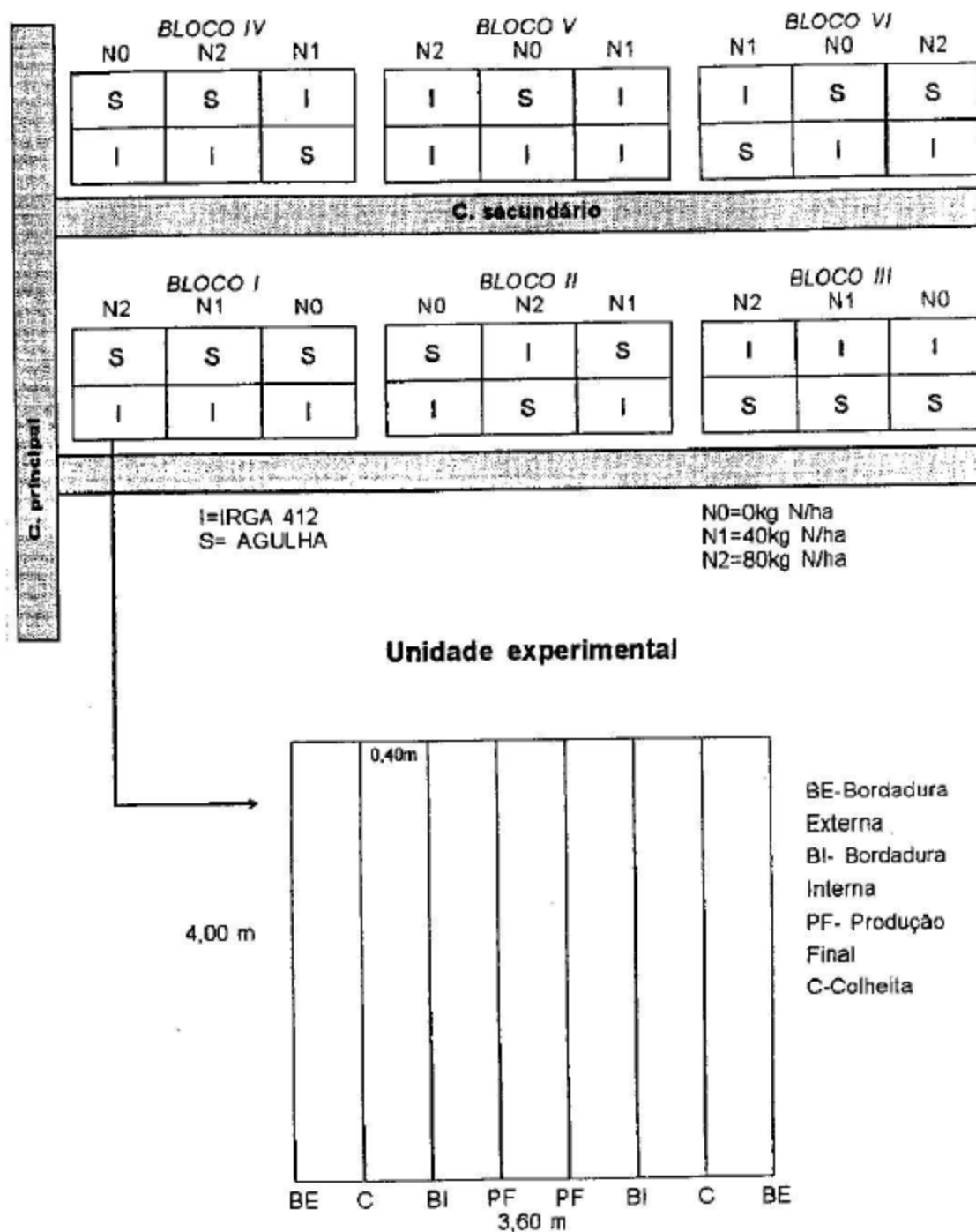




Figura 3.5 - Vista parcial da área experimental



Figura 3.6 - Unidade experimental (subparcela)

3.7 - Coleta das Amostras

Foram efetuadas 6 coletas no intervalo de 7 dias, que se iniciou aos 85 DAP estendendo-se até os 120 DAP.

As plantas utilizadas na obtenção dos parâmetros fisiológicos para o estudo da análise de crescimento foram escolhidas aleatoriamente nas linhas da parcela destinadas para este fim. Em cada parcela retirou-se apenas uma planta por dia de coleta, perfazendo um total de 36 plantas para serem estudadas. A tabela 3.4 apresenta os parâmetros observados em todas as coletas.

Tabela 3.4 - Parâmetros observados nas coletas

1	número de perfilhos
2	altura da planta
3	densidade de stand
4	área foliar
5	massa seca de folha
6	massa seca de colmo
7	massa seca de panícula
8	massa total
9	percentagem de emissão de panículas
10	produção final*

* A colheita foi feita ao final do ciclo

3.8 - Determinação dos Parâmetros Fisiológicos

A área foliar foi determinada destacando-se cada folha e utilizando-se da seguinte equação:

$$AF = C \cdot L \cdot f, \text{ onde:}$$

C = comprimento

L = maior largura

f = fator de correção

O fator de correção utilizado foi $f = 0,75$ em função de diversos resultados citados na literatura (Pauli et alii, 1960; Francis et alii, 1969; e Souza, 1995).

A massa seca de cada amostra foi determinada separadamente para cada porção vegetativa (folha, colmo e panícula), sendo seca em estufa de circulação forçada por 48 h a 60°C , logo após pesada. E, por somatório, obteve-se a massa seca total.

O índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2_{\text{folha}} \cdot \text{m}^{-2}_{\text{solo}}$) que reflete a capacidade de ocupação do terreno, pelas partes aéreas da planta, descrevendo a dimensão do sistema assimilador de uma comunidade vegetal, é considerado um componente morfológico da análise de crescimento. Foi determinado em função da área foliar de cada amostra multiplicado pelo número de plantas por m^2 .

A massa seca total, bem como de cada porção vegetativa, foi determinada por $W_t = W \cdot n$, onde W = massa seca total da planta e n = número de plantas por m^2 de superfície.

O número de perfilhos por unidade de superfície foi determinado seguindo os mesmos padrões dos casos anteriores.

A taxa de crescimento da cultura (TCC. $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) é considerada a produtividade primária líquida propriamente dita, isto é, o total de matéria seca produzida em um determinado tempo, excluindo-se o que foi degradado pela respiração. Foi calculada pela derivada da massa seca total em função do tempo:

$$\text{TCC} = Wt/dt$$

A taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}_{\text{folha}} \cdot \text{dia}^{-1}$) reflete a eficiência do sistema assimilador que está envolvido na produção de fitomassa, ou seja, é uma estimativa da fotossíntese líquida. Sendo considerado um componente fisiológico da análise de crescimento. Foi calculada pela equação:

$$\text{TAL} = \text{TCC} / \text{IAF}$$

A densidade do stand foi determinada por meio da amostragem do número de planta por m^2 a cada época de coleta.

A altura de planta foi determinada no momento anterior em que cada amostragem era levada para o laboratório para as medições de área foliar.

A percentagem de emissão de panícula em cada subparcela foi calculada por meio da avaliação visual em cada *stand*.

A produção final foi colhida por volta dos 150 dias após o plantio, o arroz foi posto para secar, sendo então debulhado. A pesagem foi feita com o arroz em casca. O cálculo de produtividade foi realizado pela estimativa do número de plantas nas linhas coletadas de produção final, comparando-se com o número de plantas por m^2 , extrapolando-se para kg/ha .

3.9 - Avaliação da Heterocedasticidade na Análise da Variância

Na análise de dados em geral, supomos que os erros sejam independentes e tenham distribuição normal. No entanto, em um grande número de experimentos, a variância não é a mesma nos vários grupos de dados. A este efeito denomina-se de heterocedasticidade ou heterogeneidade dos erros.

A validade do uso da metodologia da análise de variância está condicionada a algumas pressuposições (Cochran, 1974, citado por Zimmermann, 1987):

a) os números a serem analisados são valores observados de variáveis aleatórias, distribuídas ao redor de suas médias verdadeiras, que são constantes fixas;

b) as relações entre os parâmetros componentes do modelo matemático associados aos valores obtidos, são relações aditivas;

c) as variáveis aleatórias são de igual variância e mutuamente não correlacionadas; e

d) as variâncias aleatórias são conjuntamente distribuídas segundo uma distribuição multivariada normal.

Se for efetuada a análise de variância quando a variância verdadeira do erro diferir de uma observação para outra, será quase certo que ocorrerá perda de eficiência na estimação dos efeitos de tratamentos e haverá, também, uma perda de sensibilidade nos testes de significância. Quanto maiores forem as diferenças nas variâncias, maiores serão estas perdas (Zimmermann, 1987).

Este comportamento diferenciado entre as médias e a variância é muito comum em trabalho de experimentação que envolvam estudo de acumulação de matéria seca, pois a média e a variância aumentam.

3.9.1 - Teste para Verificação da Heterocedasticidade

Vários testes são utilizados para a avaliação da heterocedasticidade da variância entre populações. O teste de Hartley (da razão máxima) é de fácil aplicação e de relativa eficiência, podendo ser utilizado quando o número de observações e o número de grupos de dados for < 12 .

O teste de Cochran (razão entre maior variância e a soma de todas) tem o inconveniente de que, na presença de dados não balanceados, o teste apresenta uma resposta aproximativa.

O teste de Bartlett pode ser usado para populações de igual tamanho ou de tamanhos diferentes. Este teste apresenta uma maior elaboração de cálculo matemático, sendo altamente sensível à falta de normalidade, não sendo, portanto, recomendada a sua aplicação quando os dados não seguem uma distribuição normal.

O teste escolhido para ser aplicado na estabilização da variância foi o de Bartlett, em função de seu rigor metodológico, por ter atingido o objetivo proposto, sendo reduzido a:

$$B = \frac{2,302585}{C} \left[(nT - r) \log_{10} QME - \sum_{j=1}^r (n_j - 1) \log_{10} s_j^2 \right]$$

Onde o termo 2,302585 é um fator para converter logaritmos naturais e C é:

$$C = 1 + \frac{1}{3(r-1)} \left[\sum_{j=1}^r \frac{1}{n_j - 1} - \frac{1}{nT - r} \right]$$

sendo C sempre maior que 1. Assim, para testar as hipóteses:

$$H_0 = s_1^2 = s_2^2 = \dots = s_r^2$$

H_1 = Pelo menos uma variância não é igual às outras

calcula-se o B e compara-se o resultado com o valor do χ^2 com r-1 graus de liberdade. Se $B \geq \chi^2$, rejeitamos H_0 .

3. 10 - Ajuste dos Modelos Matemáticos

Várias funções matemáticas são utilizadas na tentativa de descrever o processo de ontogênese dos vegetais. Estas curvas são de natureza assintóticas.

Dentre os vários modelos propostos por Hunt (1981), optou-se por trabalhar com os modelos: linear, exponencial polinomial quadrático e cúbico.

Foram ajustadas funções para cada cultivar com repetições para os dados de: massa seca de folha (Wf), de colmo (Wc), de panícula (Wp), total (Wt) e IAF; todos em função do tempo (DAP). O ajuste das funções foi feito, após a linearização dos dados experimentais, através do logaritmo natural, a fim de minimizar o efeito da heterocedasticidade. Para ajustar as funções foi utilizado o método dos polinômios ortogonais.

A aplicação do método dos polinômios ortogonais foi obtida pela utilização da fórmula da soma dos quadrados para as diversas componentes na determinação dos diferentes graus da regressão. Sendo, então, obtida pela expressão:

$$S Q = \frac{(\sum C_n T)^2}{r K_n}$$

Onde:

r = Número de repetições

k_n = Soma dos quadrados dos coeficientes

C_n = Coeficiente

T = Tratamento

Concluída a análise da variância, observa-se as significâncias das diferentes componentes da regressão, calcula-se então o valor de B_n para respectivas componentes da regressão, sendo obtido pela expressão:

$$B_n = \frac{\sum C_n t}{rK_n}$$

A equação da regressão é então obtida resolvendo-se:

$$\bar{Y} - Y = B_1 \cdot M_1 \cdot P_1 + \dots + B_n \cdot M_n \cdot P_n$$

Onde:

$\bar{Y}$ = médias dos valores de Y

B_n = obtido pela fórmula anterior

M_n = constante tabelada

P_n = obtido pela fórmula abaixo:

$P_1 = x$ (regressão linear)

$P_2 = x^2 - \frac{n^2 - 1}{12}$ (regressão quadrática)

$P_3 = x^3 - \frac{3n^2 - 7}{20} x$ (regressão cúbica)

A variável auxiliar x é dada pela equação :

$$x = \frac{X - \bar{X}}{q}$$

Onde q é a diferença entre dois níveis sucessivos e $\bar{X}$ é a média dos valores das épocas de coleta.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo de análise de crescimento vegetal é comum que a variância dos parâmetros fisiológicos analisados no período amostral tenda a diferir na sucessão de épocas coletadas, de forma que as últimas sejam maiores do que as anteriores. Gerando um efeito de heterocedasticidade nos dados analisados, podendo comprometer o estudo estatístico. Nos casos em que o efeito heterocedástico foi detectado, procedeu-se à transformação dos dados originais, por meio de logaritmo natural, procurando a estabilização da variância no período amostral.

4.1 - Avaliação da variância amostral dos parâmetros em estudo

As variâncias dos dados originais, para cada coleta, dos parâmetros de $N_{\text{perf.}}$, W_f , W_c , W_p , W_t , altura, IAF, % W_f / W_t , % W_c / W_t e % W_p / W_t são apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 - Variância amostral dos dados originais dos parâmetros

DAP	N perf	Altura	W f	W c	W p	W t	IAF	%Wf/Wt	%Wc/Wt	% Wp/Wt
85	2155,70	64,65	368,20	2.027,78	46,08	4.011,64	0,111	80,71	100,79	51,03
92	798,19	103,45	196,08	1.077,62	130,11	2.875,12	0,029	79,93	20,68	33,95
99	1.457,36	150,55	325,30	1.888,54	1.107,32	6.649,34	0,068	64,26	30,96	71,35
106	1.585,78	95,92	499,34	3.363,17	1.145,64	6.606,30	0,145	35,95	82,60	86,99
113	1.461,79	43,67	682,92	2.859,44	2.249,84	6.702,68	0,149	83,50	62,30	1.551,60
120	1.311,76	98,23	646,33	5.801,53	3.114,37	19306,58	0,095	86,22	34,72	63,04
B	3,61	6,28	7,49	11,93	65,86	16,84	11,24	3,54	13,40	98,52
R	2,7	3,44	3,4	5,38	67,58	6,715	5,137	2,39	4,87	45,70

B: Coeficiente B do teste de Bartlett; valores > 11,07 indicam heterocedasticidade das variâncias.

R: Razão entre a maior e a menor variância

Tabela 4.2 - Variância amostral dos dados após transformação em logarítimo natural

DAP	Wc	*W p (x100)	W t	IAF	Wc/Wt	*Wp/Wt (x100)
85	0,445	3,285	0,239	0,143	0,048	3,383
92	0,317	0,808	0,308	0,081	0,006	0,557
99	0,096	1,666	0,10	0,075	0,011	1.190
106	0,127	0,460	0,088	0,112	0,023	0,481
113	0,168	0,680	0,157	0,159	0,021	0,879
120	0,138	0,168	0,102	0,093	0,02	0,051
B	13,31	194,59	10,07	3,43	17,13	51,84
R	4,63	19,55	3,5	2,12	5,45	6,33

R: Razão entre a maior variância e a menor variância

B: coeficiente B do teste de Bartlett; valores > 11,07 indicam heterocedasticidade das variâncias

* Os valores de variância foram previamente multiplicados por 100, antes da transformação logarítmica

A tendência geral observada nos parâmetros estudados foi de um aumento progressivo dos dados da 3ª coleta (99 DAP) até a 5ª coleta (113 DAP). Constatando-se a queda de valores em alguns parâmetros na 2ª coleta (92 DAP) devido a interferência de fatores ambientais, relacionados ao aumento de temperatura que elevou a taxa de evapotranspiração, bem como a diminuição dos índices pluviométricos deste período. E nos 120 DAP, 6ª coleta, este caso, provavelmente, esteja relacionado ao processo de senescência de tecido, em especial nas folhas da região basal da planta. Pode-se notar tal comportamento nos seguintes parâmetros: número de perfilhos; massa seca de folha; massa seca de colmo; massa seca total, IAF, %Wf /Wt e % Wc / Wt .

A razão entre a maior e a menor variância dos parâmetros estudados chegam à ordem de 67,58 vezes, no caso de massa seca de panícula. Configurando a heterocedasticidade para os parâmetros de Wc ,Wp , Wt, IAF, Wc/Wt e Wp/ Wt, como demonstrado pelo coeficiente B do teste de Bartlett.

Pode-se observar que, nas situações em que as variâncias apresentavam homocedasticidade ou para os casos em que houve a estabilização pela transformação logarítmica, a relação entre a maior e a menor variância se encontra próximo de 4. Conclui-se que para o presente trabalho pode-se utilizar mais este critério rápido e prático para verificar a presença de estabilidade de variância.

A tabela 4.2 mostra as variâncias dos parâmetros que apresentaram heterocedasticidade após sua transformação em logaritmo natural. Somente a Wt e IAF obtiveram a homogeneidade das variâncias, correspondendo aos dois principais parâmetros no estudo da análise de

crescimento, possibilitando a partir deles, obter parâmetros fisiológicos derivados.

Nos outros parâmetros que mesmo após a aplicação da transformação logarítmica continuaram com a variância não estabilizada, observou-se um aumento do valor de B do teste de Bartlett. A exceção pode ser observada na relação $\% Wp / Wt$, que apresentou uma diminuição de valores, passando de 98,52 para 51,84.

A tabela 4.2 mostra as variâncias dos dados após a transformação em logaritmo natural. Pode-se observar que somente para os dois parâmetros relacionados com o enchimento de grãos, isto é, massa seca de panícula e relação entre Wp/Wt , os valores de B correspondentes (65,86 e 194,59, respectivamente) apresentam máximo afastamento do valor crítico do teste de Bartlett, para a distribuição homocedástica. Atribui-se a causa de grande afastamento, às duas primeiras coletas aos 85 e 92 DAP em que a cultura atingira menos do que 50% da emissão de panícula no *stand*. Fato este que aumentou consideravelmente a desuniformidade dos valores de massa seca da panícula e, conseqüentemente, a variância entre épocas de coletas, elevando significativamente o valor do coeficiente B do teste de Bartlett.

Nos casos de Wc e $\% Wc/Wt$, os valores do coeficiente B, após a transformação estabilizadora da variância, aumentaram de 11,93 para 13,31 em relação ao colmo, e de 13,409 para 17,13 no caso de $\% Wc/Wt$, não representando um significativo afastamento do valor crítico do teste de Bartlett (11,07) em relação aos dados originais.

4.2 - Modelos Matemáticos

A tradução do crescimento vegetal em termos de expressões matemáticas constitui-se um esforço humano na compreensão e manipulação de informações que nos permitam ter uma melhor base fisiológica do processo de formação e partição de matéria seca no desenvolvimento ontogenético da planta.

Várias tentativas foram feitas de formulação de modelos de funções matemática para este fim. Normalmente, para se ajustar funções de crescimento, utiliza-se o método das regressões.

Estas regressões podem ser obtidas por vários métodos: mínimos quadrados para regressão linear; processos iterativos de mínimos quadrados para regressão não linear (Calbo et alii, 1989b) e por meio de polinômios ortogonais (Gomes, 1985).

Os coeficientes de variação (CV%) obtidos para os dados transformados por meio de logaritmo natural mantiveram-se abaixo dos 10%, como pode ser observado na tabela 4.3 (pag. 46). Com exceção dos parâmetros relacionados à massa seca de panículas, que em função da alta desuniformidade da variância entre épocas de coleta de dados apresentou um comportamento altamente heterocedástico.

Para os casos em que os parâmetros não sofreram transformação em logaritmos natural, pois as variâncias são homocedásticas, os valores de CV% foram altos, de 26,26%, 33,38% e 36,53% para número de perfilhos, massa seca de folha e W_f/W_t , respectivamente. Em relação à altura, que é outro parâmetro na mesma situação, o valor de CV% ficou mais baixo, encontrando-se por volta de 12,76%.

Para o presente estudo, utilizou-se do método polinômios ortogonais para se obter as regressões, como pode ser observado nas tabelas 7.1 a 7.5 (anexas, pag. 97 a 101) com os respectivos valores dos coeficientes de determinação da regressão (r^2).

4.3 - Análise dos parâmetros fisiológicos

A tabela 4.3 apresenta um resumo das análises de variância dos parâmetros estudados. As análises de variância foram realizadas com a transformação para logaritmo natural prévia nos casos onde se fez necessária. Os parâmetros não transformados foram: número de perfilho, massa seca de folha, altura e relação de W_f/W_t , os outros parâmetros foram transformados para procurar estabilizar a variância.

Cada parâmetro será discutido individualmente nos subitens seguintes, com os desdobramentos correspondentes das significâncias estatísticas das interações cultivar x tratamento de nitrogênio. Para os parâmetros onde o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

Tabela 4.3 - Análise da variância dos diversos parâmetros estudados

F. V.	G.L.	perf.	W.fol.	Wcol	Wpan.	Wtot	Altura	IAF	% $\frac{Wfol}{Wtot}$	% $\frac{Wcol}{Wtot}$	% $\frac{Wpan}{Wtot}$	prod. final
Coleta	5	6373,28	** 9418,14	7,83	40,07	9,739	3054,1	1,121	1957,8	0,218	59,08	
Erro	25	2910,31	1490,65	0,631	61,82	0,428	99,47	0,302	82,72	0,079	2,04	
Nitrog.	2	** 10733,7	* 2994,81	0,668	70,52	0,892	234,74	1,199	5,69	0,029	1,685	815701
C x N	10	375,67	518,79	0,134	58,26	0,109	60,94	0,096	44,85	0,011	0,896	804021
Erro	60	1772,40	773,10	0,26	49,22	0,276	95,02	0,181	60,5	0,021	1,557	
Cult.	1	5895,36	** 15657,2	3,629	368,55	1,63	28896	2,035	512,39	0,395	8,717	27283
C x cul.	5	1166,07	412,43	0,527	148,07	0,296	1248,5	0,077	177,16	0,116	0,829	
N x cul.	2	671,77	756,09	0,587	38,92	0,528	17,71	0,318	8,05	0,061	1,367	
CxNx cult.	10	417,71	436,6	0,172	22,33	0,183	38,06	0,046	55,64	0,007	1,132	157174
Erro	90	1461,76	453,03	0,215	48,68	0,166	92,74	0,111	58,83	0,022	0,974	157174
CV%		26,26	33,38	9,74	167,52	7,62	12,76	7,38	36,53	3,65	45,59	39,45

OBS.: Valores do quadrado médio dos dados tranformados ou não em LN.

* e ** Valores significativos aos níveis de 5 e 1 % respectivamente, de acordo com o teste F.

4.4 - Número de perfilhos

Os dados estatísticos de médias referentes ao número de perfilhos por m² estão apresentados nas tabelas 4.5 e 4.6, onde se observa que não houve diferença significativa entre os cultivares, bem como nas interações.

O número de perfilhos durante as épocas de coleta diferiu aos 92 DAP e 120 DAP. No primeiro caso, a queda do nível de perfilhamento pode ser atribuída ao efeito do estresse ambiental. No outro caso, pode-se explicar pelo processo de senescência de algumas partes da planta, pela morte de perfilhos oriundos da diferença entre perfilhamento máximo e perfilhamento úteis, com a translocação de fotossintato e nutrientes destas regiões para o enchimento das panículas, que nesta fase constituem no principal dreno da planta de arroz.

Numa visão panorâmica do perfilhamento, pode-se observar, na figura 4.1, uma tendência a uma estabilização do número de perfilhos nos dois cultivares. Este comportamento pode ser atribuído ao período em que foram feitas as coletas dos dados para a análise de crescimento, pois um pouco antes dos 85 DAP, que correspondem ao início das coletas, a fase de perfilhamento deve ter sido atingida, confirmando a informação de Stone et alii. (1979), que observaram em trabalho com dois cultivares de hábitos de crescimento contrastantes a estabilização do perfilhamento a partir dos 70 dias após a emergência das plantas.

Tabela 4.4 - Médias dos parâmetros estudados

Fator	Perf. (m ²)	Alt. (m)	Wf (g/m ²)	Wc (g/m ²)	Wp (g/m ²)	Wt (g/m ²)	IAF	% $\frac{Wf}{Wt}$	% $\frac{Wc}{Wt}$	% $\frac{Wp}{Wt}$
Coleta (DAP)										
85	148,5 a	62,97 b	47,18 b	63,43 c	1,84 d	112,0 c	0,74bc	38,57 a	56,82 a	0,80 c
92	119,4 b	65,25 b	41,33 b	68,03 c	3,15 d	111,0 c	0,71 c	35,13ab	60,94 a	7,31 b
99	152,5 a	76,95 a	64,54 a	122,7 b	17,46 c	212,7 b	1,00 a	29,98bc	57,39 a	8,00 b
106	150,8 a	80,34 a	75,80 a	142,6ab	42,1 b c	249,6 b	1,05 a	27,71 c	56,82 a	15,95 a
113	156,8 a	84,25 a	81,40 a	186,8 a	69,4 ab	333,6 a	1,05 a	23,6 d	55,70 a	19,88 a
120	145,7ab	83,11 a	72,32 a	175,9 a	104,6 a	361,4 a	0,93 ab	18,46 e	48,42 b	28,74 a
Nitrogênio										
0	131,7 b	75,31 n.s	59,06 b	107,7 n.s	15,79 n.s	188,6 b	0,80 b	29,05 n.s	57,39 n.s	8,00 n.s
40	150,1 a	73,74 n.s	61,12 b	112,1 n.s	18,17 n.s	200 ab	0,87 b	28,59 n.s	55,14 n.s	10,38 n.s
80	154,9 a	77,34 n.s	71,11 a	130,3 n.s	19,68 n.s	235,0 a	1,04 a	29,10 n.s	55,14 n.s	7,84 n.s
Cultivar										
Agulha	140,3 n.s	87,03 a	72,28 a	132,9 a	13,46 b	225,8 a	0,99 a	30,45 a	58,55 a	7,09 b
IRGA	150,8 n.s	63,90 b	55,25 b	102,5 b	22,42 a	190,5 b	0,82 b	27,37 b	53,51 b	10,59 a

OBS.: Médias dos dados originais que foram previamente transformados em LN para a análise estatística.
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5%.

Tabela 4.5 - Médias das interações Nitrogênio X Cultivar dos parâmetros estudados

	IAF		Wf (g/m ²)		Wc (g/m ²)	
NITROGÊNIO	AGULHA	IRGA 412	AGULHA	IRGA 412	AGULHA	IRGA 412
0	0,87 ab	0,745 b	67,03 a	51,08 b	120,30 abc	97,51 bc
40	1,03 a	0,74 b	73,11 a	49,13 b	141,17 a	89,12 c
80	1,08 a	1,02 a	76,69 a	65,54 a	137,00 a	122,73 ab
	Wt (g/m ²)		% $\frac{Wc}{Wt}$		Prod (kg/ha)	
	AGULHA	IRGA 412	AGULHA	IRGA 412	AGULHA	IRGA 412
0	206,43 ab	172,43 b	57,39 a	56,82 ab	1971,42 n.s	2142,38 n.s
40	237,46 a	170,71 b	58,55 a	51,93 b	1875,29 n.s	1825,89 n.s
80	232,75 a	235,09 a	58,55 a	51,93 b	2511,84 n.s	2225,11 n.s

OBS.: Médias dos dados originais, que foram previamente transformados para a análise estatística .

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5%.

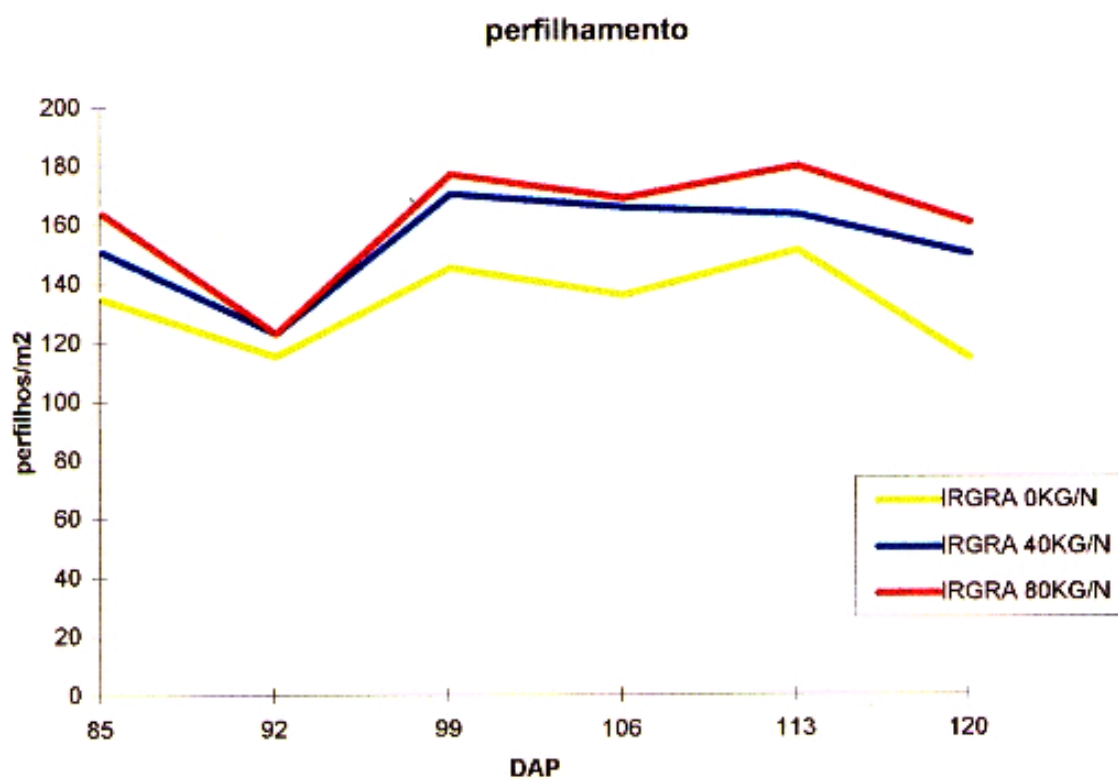


Figura 4.1 - Perfilhamento da Cultivar IRGA 412

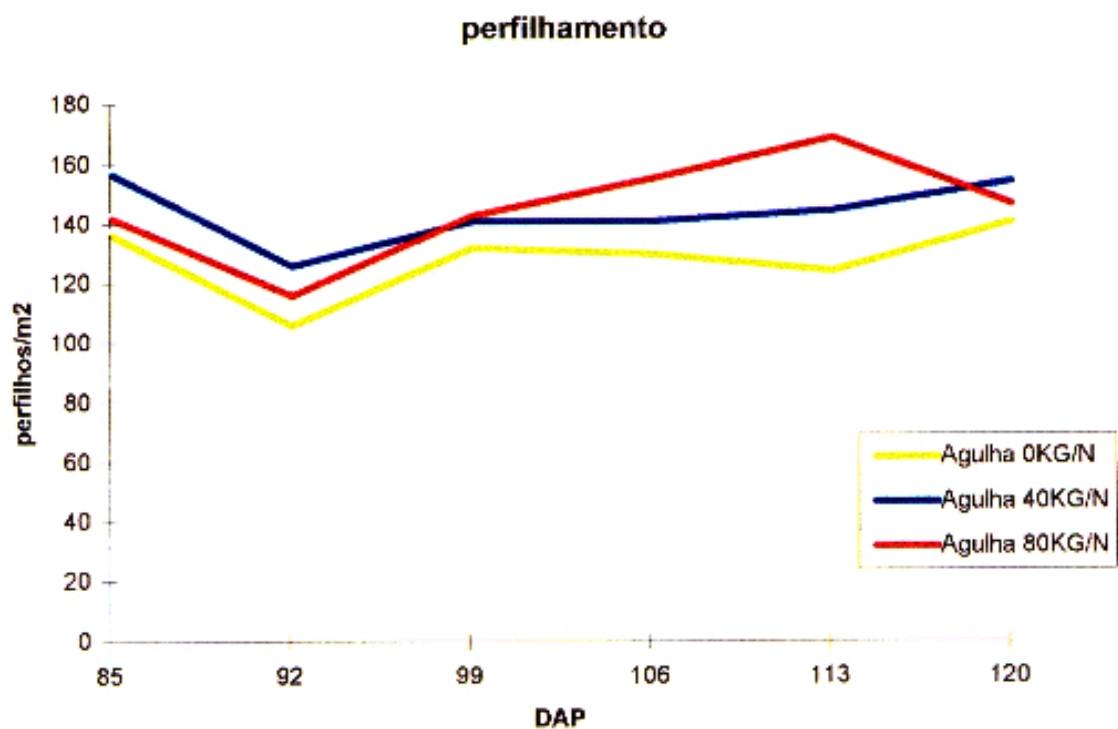


Figura 4.2 - Perfilhamento da Cultivar Agulha

Em relação ao nível de perfilhamento entre os cultivares, observa-se que não há diferença estatística entre eles. Isto significa afirmar que o comportamento da cultivar melhorada foi superior, embora perfilhando menos que o esperado, em relação à cultivar tradicional, fato este que confirmaria as referências de literatura sobre o assunto. Um outro resultado diferente foi obtido por Pereira et alii (1994) que, trabalhando com cultivares de hábitos contrastantes de crescimento, verificaram que as cultivares tradicionais apresentaram maior nível de perfilhamento do que as melhoradas. No presente estudo, a baixa resposta ao número de perfilho, 6-8 perf/plan em média, principalmente em relação à cultivar melhorada, pode ser atribuída ao transplante tardio, por volta dos 40 dias após a semeadura, somado ao efeito estressante do choque do transplante (Von Uexkull, 1979; Schnier, 1990), promovendo uma certa descontinuidade da fase vegetativa da planta e, conseqüentemente, repercutindo no desenvolvimento normal dos estádios fisiológicos da planta. Um outro possível fator da queda no perfilhamento da cultivar IRGA 412, seria a ausência de adubação nitrogenada no período anterior ao máximo perfilhamento, pois quando foi realizada a adubação, a cultivar apresentava uma pequena porcentagem de emissão de panícula, podendo-se concluir que, para esta cultivar, já havia indício da chegada do estágio reprodutivo. Estes fatos confirmam as informações de Sims e Place (1968); Westfall (1972); Reddy e Patrick Jr. (1976); de Bhuiyan e seus colaboradores (1984) e Malavolta (1987); sobre a importância da época de aplicação do nitrogênio no desenvolvimento e produção na cultura do arroz.

Por outro lado, pode-se observar que, quanto ao efeito da aplicação de nitrogênio, tanto na cultivar tradicional, como na melhorada (IRGA 412), que já apresentava alguma emissão de panícula neste período, as parcelas tratadas com nitrogênio responderam positivamente, produzindo um

incremento no perfilhamento, quando compara-se a média de 131,78 perf/m² da testemunha com as de 150,15 e 154,90 perf/m² dos tratamentos de 40 KgN/ha e 80 KgN/ha, respectivamente. Este dado confirma o efeito benéfico do nitrogênio, quando aplicado no início da fase reprodutiva ou no período de transição da fase vegetativa para o estágio reprodutivo.

Todavia, não houve diferença significativa entre os tratamentos de 40 KgN/ha e 80 KgN/ha, mostrando o efeito da presença da adubação nitrogenada como fator de incremento do nível de perfilhamento.

4.5 - Altura das plantas

Os dados estatísticos de médias referentes à altura de planta podem ser observados nas tabelas 4.4 e 4.5 (pag. 48 e 49), onde nota-se diferença significativa entre as coletas e em relação à cultivar. Não havendo resposta à aplicação de nitrogênio e da interação cultivar x nitrogênio.

Pode-se observar na figura 4.3 que a altura das plantas nas duas cultivares se manteve estável nos dois primeiros dias de coletas aos 85 e 95 DAP. Após este período, nota-se um incremento mais acentuado na cultivar Agulha e um aumento em menor intensidade na cultivar IRGA 412. O crescimento das plantas nos dois casos está diretamente relacionado à fase de alongamento dos entrenós que representa a modificação morfológica da planta de arroz, marcando o início da formação dos primórdios da panícula (Fageria, 1989).

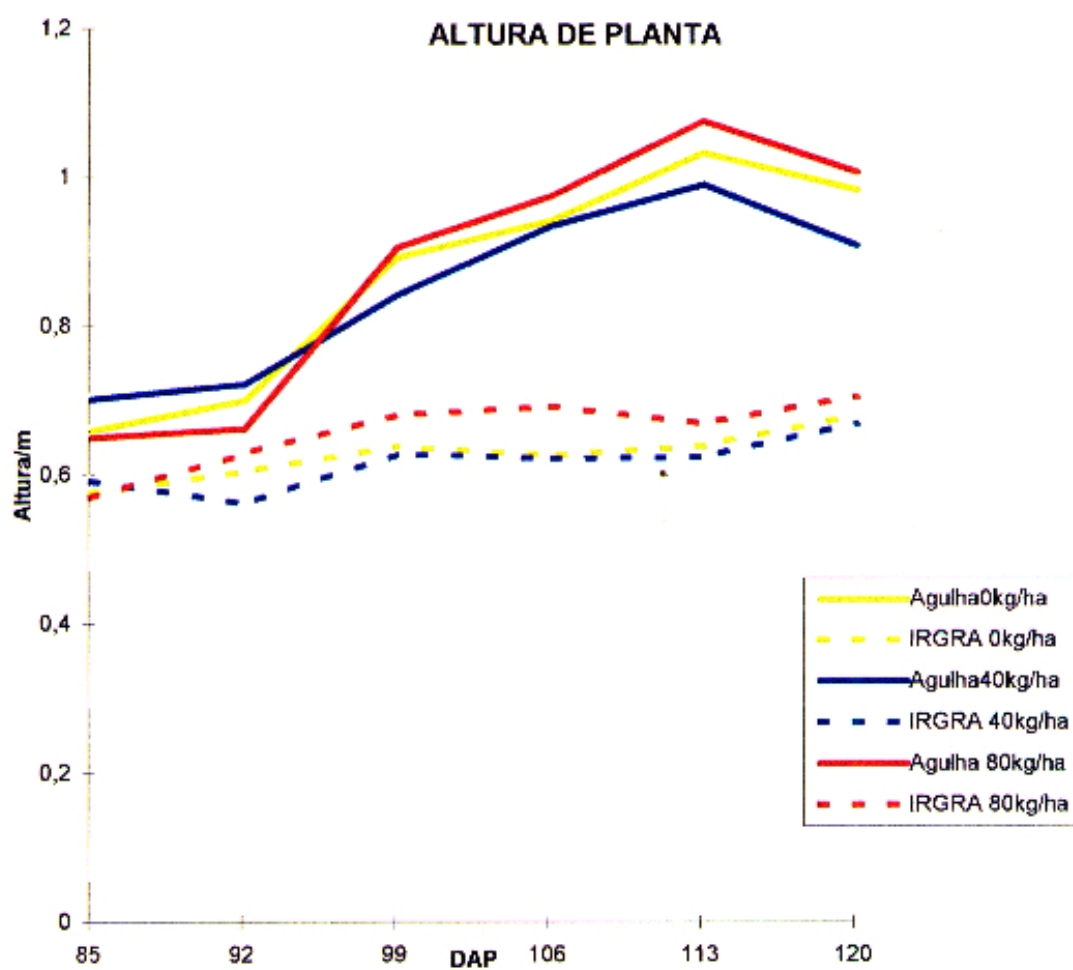


Figura 4.3 - Altura de planta

A diferença de inflexão da curva da cultivar Agulha em relação à cultivar IRGA 412 é explicada pela entrada mais tardia na fase reprodutiva da cultivar Agulha. Para a cultivar IRGA 412 nota-se uma diferença menos marcante da altura entre as épocas de coleta, sugerindo que, neste caso, este cultivar já se encontrava no período reprodutivo.

Após os 113 DAP, para a cultivar Agulha, ocorre uma tendência à estabilização, correspondendo ao período de enchimento, maturação das panículas e senescência da planta, assim como para a cultivar IRGA 412 os 99 DAP.

A diferença estatística encontrada entre as cultivares é atribuída a fatores genotípicos, pois o melhoramento da planta de arroz promoveu a diminuição da altura da planta, com a finalidade de reduzir o acamamento, melhorar o processo de colheita mecanizada e tornar a planta mais eficiente fotossinteticamente. A cultivar Agulha apresentou em média uma altura de 0,87 m que se encontra bem abaixo do valor informado pelo Boletim de Pesquisa da EMBRAPA (1982), que se situa em torno de 1,39 m. O mesmo pode ser observado para a cultivar IRGA 412 que não desenvolveu todo o seu potencial em termo de porte, situando-se na média de 0,63 m, enquanto que a fonte bibliográfica informa que atingem uma altura de 0,85 m. Talvez estes valores menores de altura estejam relacionados à latitude da região ou ao plantio tardio da cultura, interferindo na ação do fotoperiodismo sobre a planta de arroz, como relatam Bueno et alii (1981), no estudo da influência do número de horas sobre os diversos parâmetros de crescimento e produção, em que a altura das plantas foram menores na faixa de 8 a 11 horas de luz. Um outro possível fator pode ter sido o efeito da descontinuidade da fase vegetativa, em função do transplante. Maiores estudos serão necessários para elucidar tal comportamento.

4.6 - Massa seca de folha (Wf)

Os resultados dos dados estatísticos de médias referentes ao acúmulo de massa seca de folha são apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5 (pág. 48 e 49). O gráfico com as funções ajustadas está presente na figura 4.4.

Quando se observa as médias de massa seca de folha, verifica-se que há uma diferença significativa nos 85 DAP e 92 DAP, em que os valores de matéria seca se encontram em torno de 41,33 e 47,18 g/m² (tabela 4.4), em comparação com o restante das épocas de coletas que, a partir dos 99 DAP, chegam até a 81,40 g/m². Isto é, a um ganho pequeno nas duas primeiras coletas, que depois aumenta, estabilizando a partir dessa fase.

A adubação nitrogenada mostrou efeito significativo na acumulação de matéria seca de folha no tratamento de 80 KgN/ha que obteve o valor de 71,11 g/m², sendo superior aos resultados dos tratamentos de 0 KgN/ha e 40 KgN/ha que apresentaram médias de 59,06 g/m² e 62,12 g/m², respectivamente, não havendo diferença estatísticas entre eles.

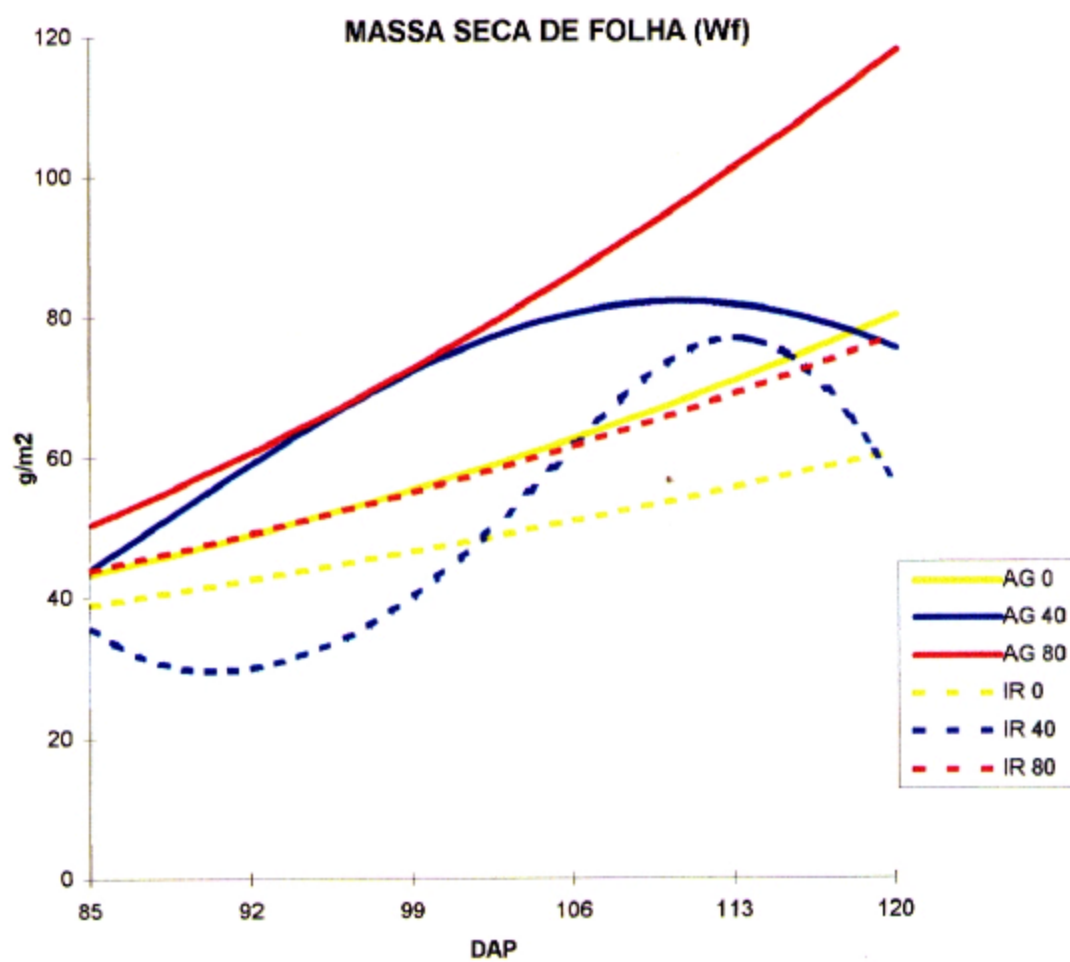


Figura 4.4 - Massa seca de folha

O efeito de cultivar mostra que a produção de massa seca de folha foi superior para a cultivar Agulha, que produziu $72,28 \text{ g/m}^2$, aproximadamente 23% a mais quando comparada com a cultivar melhorada, que obteve a média de $55,25 \text{ g/m}^2$. Esta diferença é resultado da maior dimensão das folhas da cultivar Agulha somada ao baixo perfilhamento relativo da cultivar IRGA 412 que gerou uma menor produção de folhas por unidade de planta, bem como a maior tendência para distribuição de matéria seca na formação da palha no caso da cultivar tradicional.

No estudo dos efeitos da interação dose de nitrogênio e cultivar, observa-se a ocorrência de significância para a cultivar IRGA 412, sendo maior ao nível de 80 KgN/ha com média de $65,54 \text{ g/m}^2$, contrastando com a dosagem de 0 KgN/ha e 40 KgN/ha que obtiveram médias de $51,08$ e $49,13 \text{ g/m}^2$, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si estas médias.

Estes resultados mostram que mesmo que os valores absolutos de massa seca de folha para a cultivar Agulha sejam superiores, pelos motivos já expostos. Entretanto, o efeito da interação na maior dose de nitrogênio produziu um ganho de matéria seca para a cultivar melhorada IRGA 412, corroborando as informações de Angladente (1969), Chander (1972), Von Uexkull (1979) e outros autores sobre a resposta desta cultivares melhoradas à adubação nitrogenada.

Os valores de massa seca de folha, para as duas cultivares nos três tratamentos de nitrogênio, foram ajustados pelo método de polinômios ortogonais, previamente transformados em LN, obtendo-se as seguintes equações:

Agulha:

$$0 \text{ N} \Rightarrow Y = 2,303064 + 0,017478 x \quad r^2 = 0,77$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow y = -7,10038 + 0,20833x - 0,0011106x^2 \quad r^2 = 0,90$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 0,95525 + 0,042698x - 0,00009057x^2 \quad r^2 = 0,75$$

IRGA 412:

$$0 \text{ N} \Rightarrow y = 2,4883 + 0,012452x \quad r^2 = 0,55$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow y = 169,685 + 2,22259x - 0,0223246 x^2 - 0,000163 x^3 \quad r^2 = 0,68$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 2,43273 + 0,01599x \quad r^2 = 0,64$$

4.7 - Massa seca de colmo (Wc)

Os dados estatísticos de médias de massa seca de colmo estão presentes nas tabelas 4.4 e 4.5 (pág. 48 e 49), onde percebe-se diferença significativa ao longo do período de coleta dos dados. Pode-se observar um menor valor de acúmulo de matéria seca nos primeiros dias de coleta, com valores não diferindo entre os 85 DAP e 92 DAP com médias de 63,43 g/m² e 68,03 g/m², respectivamente. A partir desta fase ocorreu um grande incremento aos 99 DAP, com os ganhos se estabilizando nas datas subsequentes de coletas, produzindo diferenças não significativas entre estas épocas.

Quanto ao efeito dos diferentes níveis de Nitrogênio, os resultados apresentaram diferenças não significativas nos valores de matéria seca de colmo.

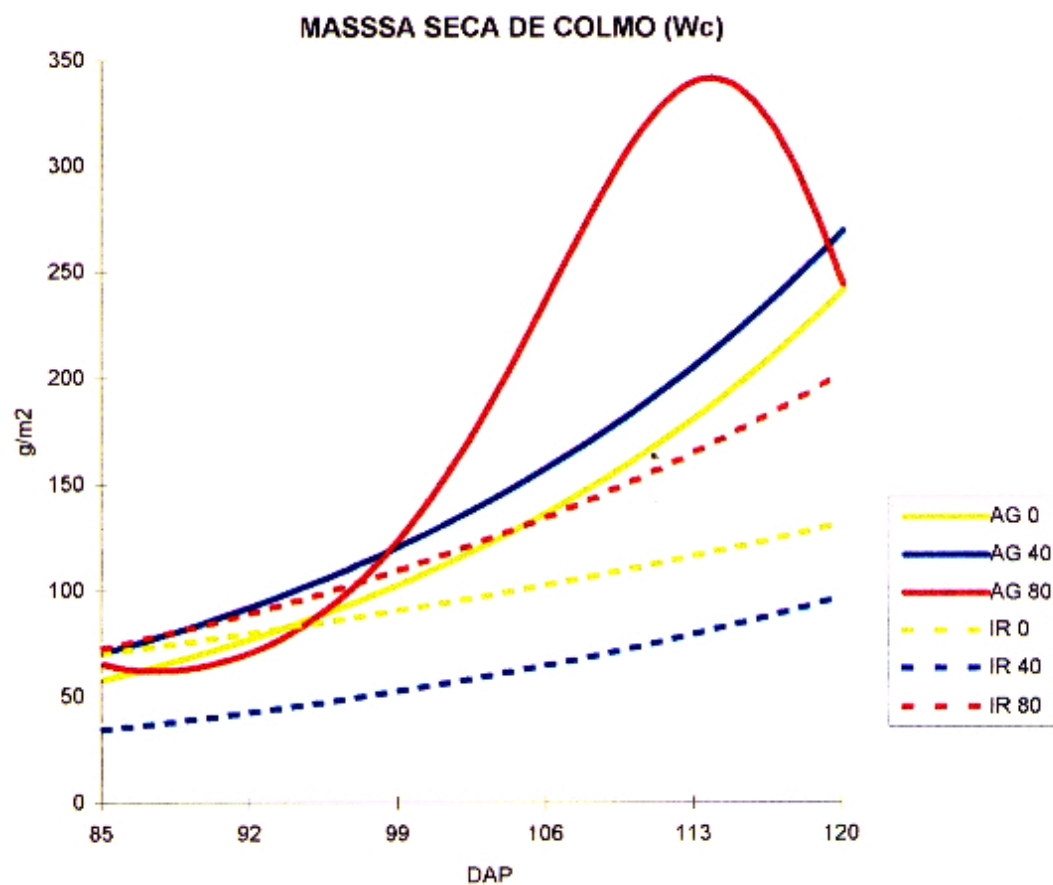


Figura 4.5 - Massa seca de colmo

As cultivares, quando estudadas isoladamente, apresentam uma diferença significativa. Na cultivar Agulha, os valores de médias são maiores do que da cultivar IRGA 412, apresentando uma média de $132,95 \text{ g/m}^2$ para primeira cultivar e de $102,51 \text{ g/m}^2$ para outra, mostrando juntamente com os valores de massa seca de folha, uma tendência à formação de um grande quantidade de palha.

Os efeitos das interações não foram diferentes significativamente nos três níveis de nitrogênio para a cultivar Agulha, entretanto, pode-se observar um menor valor da testemunha em relação às parcelas em que foram aplicadas doses de nitrogênio.

O efeito de interação para cultivar IRGA 412 faz constatar que não houve diferença estatística em relação ao tratamento de nitrogênio, mas nota-se uma tendência de uma melhor resposta para o nível de 80 KgN/ha , que apresentou média de $122,73 \text{ g/m}^2$ em detrimento dos valores de massa de colmo para a testemunha, e o tratamento de 40 KgN/ha , com médias de $97,51 \text{ g/m}^2$ e $85,12 \text{ g/m}^2$, respectivamente. Este comportamento evidencia a influência da adubação nitrogenada na formação de matéria seca da planta. Por outro lado, mostra que a alocação de matéria seca para os colmos nestas cultivares melhoradas é mais equilibrada.

As funções ajustadas para massa seca de colmo nos três tratamentos de nitrogênio e para as duas cultivares são apresentadas abaixo, tendo sido os dados previamente transformados em LN.

Agulha:

$$0 \text{ N} \Rightarrow Y = 0,67142 + 0,040192 x \quad r^2 = 0,95$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow y = 1,05947 + 0,037870x \quad r^2 = 0,95$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 185,99 - 5,588996x + 0,0565004x^2 - 0,0001869x^3 \quad r^2 = 0,97$$

IRGA 412:

$$0 \text{ N} \Rightarrow y = 2,7823 + 0,017592x \quad r^2 = 0,92$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow y = 1,14543 + 0,028731x \quad r^2 = 0,61$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 1,8450 + 0,02895x \quad r^2 = 0,90$$

4.8 - Massa Seca de Panícula (Wp)

Os dados estatísticos de médias referentes à massa seca de panícula estão contidos nas tabelas 4.4 e 4.5 (pág. 48 e 49) e o gráfico com as curvas ajustadas dos diferentes tratamentos, na figura 4.6. Pode observar uma marcada diferença estatística entre as épocas de coletas, pois o processo de enchimento dos grãos constitui o principal dreno da planta neste estágio fisiológico.

Pode-se observar que aos 85 DAP e 92 DAP o processo é lento e os valores de massa seca estão próximo de $1,84 \text{ g/m}^2$ e $3,158 \text{ g/m}^2$, respectivamente, sem diferença estatística entre si. A partir dos 99 DAP ocorre uma vertiginosa aceleração da translocação do fotossintato para as panículas, atingindo valores de $17,46$ até $104,58 \text{ g/m}^2$ aos 120 DAP, estabilizando até o período de maturação fisiológica das sementes.

O efeito das diferentes doses de nitrogênio não foi significativo na formação da matéria seca de panícula. Entretanto, no estudo do efeito isolado de cultivares, observa-se uma inversão no acúmulo de matéria seca nesta porção da fitomassa da planta. A cultivar melhorada IRGA 412

produziu 22,42 g/m² de massa seca e a cultivar Agulha 13,46 g/m², uma diferença significativa de 60%, mostrando uma maior eficiência de translocação e enchimento de grãos da cultivar melhorada. Este fato é reforçado pela não significância do efeito interação cultivar X nitrogênio, pois independentemente do nível de nitrogênio, a cultivar IRGA 412 apresenta características genéticas que a torna mais interessante sob os aspectos produtivo e agrônômico.

As funções ajustadas para massa seca de panícula nos três tratamentos de nitrogênio e para as duas cultivares são mostradas abaixo, tendo sido os dados originais previamente transformados em LN:

Agulha:

$$\begin{array}{ll} 0 \text{ N} \Rightarrow Y = -84,478 + 1,53363x - 0,006636x^2 & r^2 = 0,98 \\ 40 \text{ N} \Rightarrow y = -66,248 + 1,20892x - 0,005171x^2 & r^2 = 0,96 \\ 80 \text{ N} \Rightarrow y = -76,910 + 1,381099x - 0,005856x^2 & r^2 = 0,95 \end{array}$$

IRGA 412:

$$\begin{array}{ll} 0 \text{ N} \Rightarrow y = -5064767 + 0,90522x - 0,003708x^2 & r^2 = 0,97 \\ 40 \text{ N} \Rightarrow y = -38,27402 + 0,685096x - 0,002723x^2 & r^2 = 0,99 \\ 80 \text{ N} \Rightarrow y = -8,37004 + 0,1122408x & r^2 = 0,89 \end{array}$$

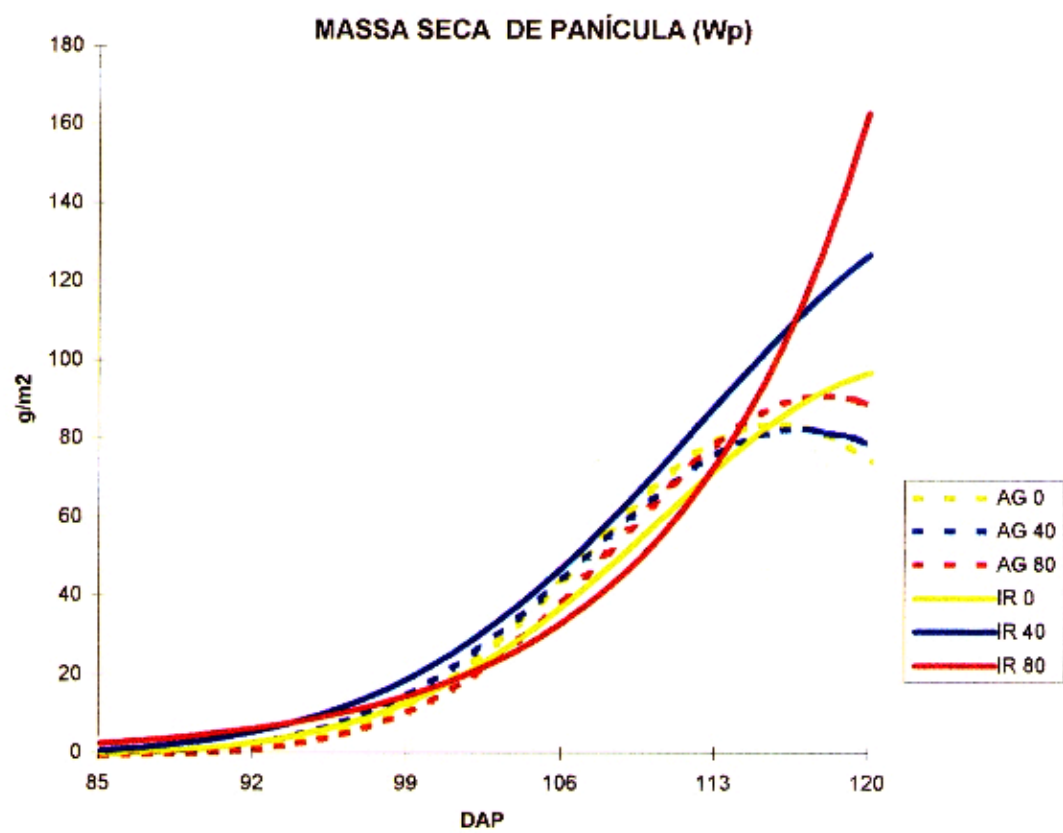


Figura 4.6 - Massa seca de panícula

4.9 - Massa seca total

Os dados estatísticos de médias referentes ao acúmulo de matéria seca total na parte aérea (folhas, colmo e panícula) são apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5 (pág. 48 e 49), bem como os gráficos com as curvas ajustadas na figura 4.7.

O acúmulo de matéria seca total diferiu significativamente em três períodos distintos de coletas. No primeiro caso, dos 85 aos 92 DAP, apresentou médias de $111,05 \text{ g/m}^2$, nos dois períodos. Na segunda fase, iniciada aos 99 até os 106 DAP, médias de $212,72 \text{ g/m}^2$ e $249,63 \text{ g/m}^2$, respectivamente, não havendo diferenças estatísticas entre elas. As próximas etapas correspondem aos dois últimos dias de coletas, os 113 e 120 DAP, com médias de acúmulo de matéria seca de $333,61 \text{ g/m}^2$ e 361 g/m^2 , respectivamente, não havendo também diferenças entre as médias. Este comportamento de diferença de acúmulo de matéria seca tão acentuado nestas três fases era plenamente esperado, pois a época de coleta de dados corresponde à fase linear da curva de crescimento da planta de arroz.

Com relação ao efeito da adubação nitrogenada sobre este parâmetro, observa-se que as doses de 0 KgN/ha e 80 KgN/ha , que obtiveram médias $188,67 \text{ g/m}^2$ e $235,09 \text{ g/m}^2$, respectivamente, são diferentes estatisticamente de maneira bem contrastante, de forma que a produção de matéria seca do tratamento de 80 KgN/ha é superior ao da testemunha, evidenciando o efeito positivo da adubação nitrogenada no incremento da produção de matéria seca da cultura de arroz.

Na dose de 40 KgN/ha , observa-se que o valor da média de $200,33 \text{ g/m}^2$ situa-se em posição intermediária em relação às médias dos tratamentos anteriores, não diferindo significativamente deles.

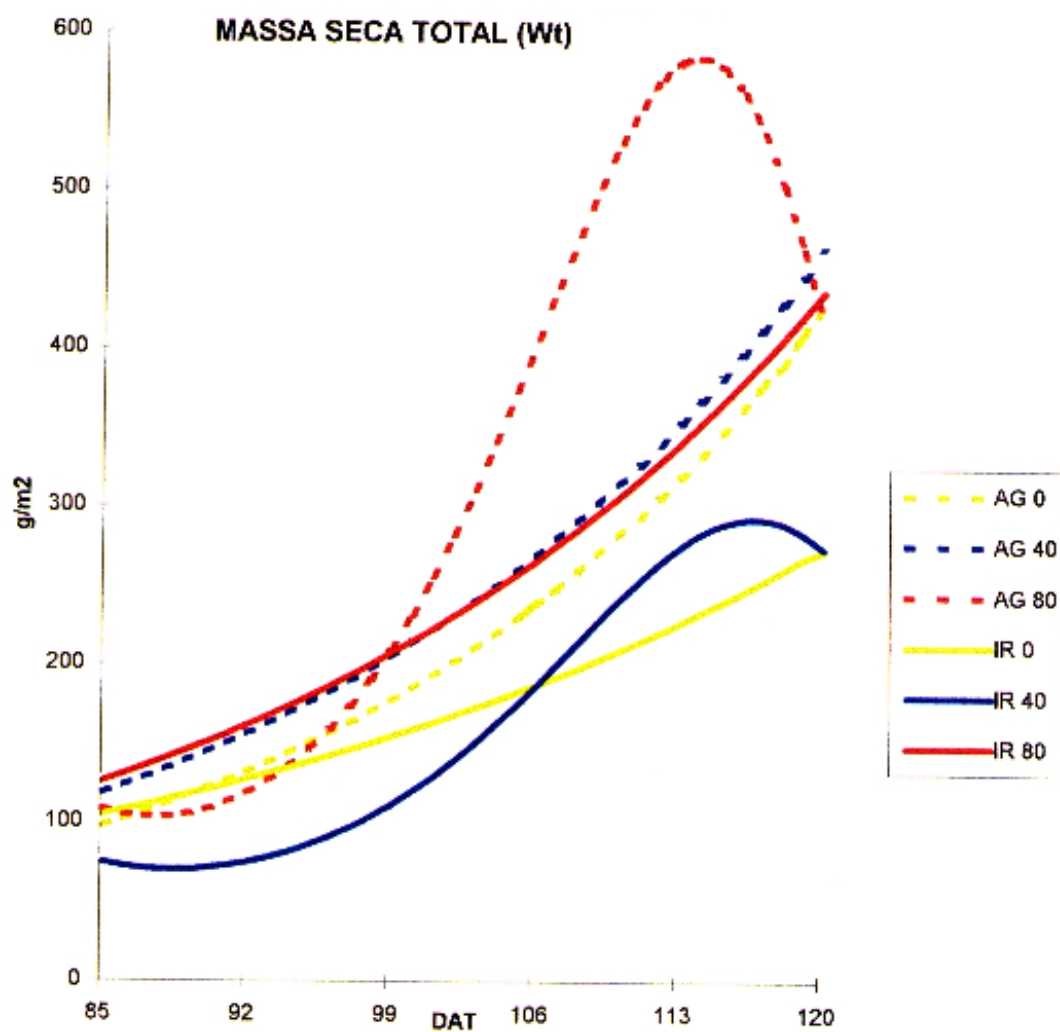


Figura 4.7 - Massa seca total (Wt)

Quanto ao estudo do efeito isolado de cultivar, observou-se que a média da cultura Agulha que foi de $225,87 \text{ g/m}^2$, revelando-se superior estatisticamente à média de 190 g/m^2 da cultivar IRGA 412. A produção de massa seca da cultivar tradicional foi 15,63% maior quando comparada à cultivar melhorada, este melhor desempenho fotossintético de cultivares tradicionais foi também obtido num trabalho similar com arroz realizado por Pereira et alii (1994). Como relatou Angradette (1969), esta superioridade pode ser justificada em função da natureza fisiológica desses genótipos, que geram nestes cultivares planta de porte mais avantajado, com produção de uma estrutura de colmo e de aparelho fotossintético maiores. Esta diferença varietal das cultivares com baixa pressão de seleção é expressão da necessidade de sobrevivência no processo natural de competição com outras plantas.

No estudo do efeito da interação cultivar x nitrogênio, pode-se observar no quadro 4.5 que as doses de nitrogênio de 40 KgN/ha e 80 KgN/ha, para a cultivar Agulha, obtiveram as médias de $237,46 \text{ g/m}^2$ e $232,75 \text{ g/m}^2$, respectivamente, não diferindo estatisticamente da testemunha, que apresentou média de $206,43 \text{ g/m}^2$. Entretanto, observa-se uma leve tendência para que a produção de matéria seca seja menor na testemunha.

Comparando-se o efeito da interação cultivar x doses de nitrogênio na cultivar IRGA 412, observa-se que a maior dose, isto é, de 80 KgN/ha, que apresentou uma média de $235,09 \text{ g/m}^2$, elevou a produção de matéria seca total desta cultivar em comparação ao tratamento de 0 KgN/ha e 40 KgN/ha, que apresentaram médias de $172,43 \text{ g/m}^2$ e $170,43 \text{ g/m}^2$, respectivamente, não revelando diferença significativa entre si, o que corrobora a tese de que as cultivares do tipo moderna são mais responsivas

do que as cultivares tradicionais, que produziram uma maior quantidade de massa seca independentemente da dose de nitrogênio.

As funções ajustadas para massa seca total, nos três tratamentos de nitrogênio e para as duas cultivares, são mostradas nos dados abaixo, previamente transformados em LN.

Agulha:

$$0 \text{ N} \Rightarrow y = 1,0719x + 0,041611x \quad r^2 = 0,94$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow y = 1,520128 + 0,038527x \quad r^2 = 0,97$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 188,59 - 5,653345 x + 0,05715x^2 - 0,0001891x^3 \quad r^2 = 0,97$$

IRGA 412:

$$0 \text{ N} \Rightarrow y = 2,3742 + 0,02707x \quad r^2 = 0,94$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow Y = 132,057 - 3,85735x + 0,038368 x^2 + 0,0001250 x^3 \quad r^2 = 0,73$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 1,87148 + 0,0351x \quad r^2 = 0,90$$

4.10 - Taxa de Crescimento da Cultura

A taxa de crescimento da cultura (TCC, em $\text{g/m}^2_{\text{solo}} \cdot \text{dia}^{-1}$) para cada dose de N e para as duas cultivares foi determinada pela derivada primeira das equações ajustadas de massa total da planta, obtendo-se as seguintes equações.

Cultivar Agulha:

$$0 \text{ N} \Rightarrow Y = 1,0424889$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow Y = 1,0392789$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow Y = e^{-5,653345 + 0,1143 x - 0,0005673 x^2}$$

Cultivar IRGA 412:

$$0 \text{ N} \Rightarrow Y = 1,027439$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow Y = e^{3,85735 + 0,076736 x - 0,0005673 x^2}$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow Y = 1,0357233$$

Como pode-se observar, na figura 4.8, nos tratamentos de 0 KgN e 80 KgN para a cultivar IRGA 412 e para as doses de 0 KgN e 40 KgN para a Agulha, obteve-se uma reta que indica pouca diferença na taxa de ganho de massa seca por $\text{m}^2_{\text{solo}} \cdot \text{dia}^{-1}$, encontrando-se por volta de 1,030 a $1,040 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}_{\text{solo}} \cdot \text{dia}^{-1}$. Esta estabilidade de incremento de matéria seca reflete a fase linear da curva de crescimento em que foram feitas as coletas. Evidentemente que a representação linear da TCC apresenta como consequência negativa uma expressão matemática que traduz de forma empobrecida os processos fisiológicos das plantas, tais como estresse, no início da fase de coleta, bem como a senescência de folhas no final.

Nos tratamentos de 80 KgN/ha para a cultivar Agulha e de 40 KgN/ha em relação à cultivar IRGA 412, os valores de TCC foram maiores para Agulha, aproximadamente aos 100 DAP, com o valor de $1,10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}_{\text{solo}} \cdot \text{dia}^{-1}$, e depois para a cultivar IRGA 412, aos 103 DAP, que atingiu um menor nível de $1,060 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, 40% mais baixo do que a Agulha. Esta superioridade na taxa de produção de massa seca da cultivar Agulha corresponde a uma maior produção de palha por esta cultivar. O valor máximo da TCC corresponde aproximadamente ao período de maior índice de área foliar na cultivar Agulha que se situa em torno de 108 dias. Para a cultivar IRGA 412 o índice de área foliar pouco diferenciou nas épocas de coleta.

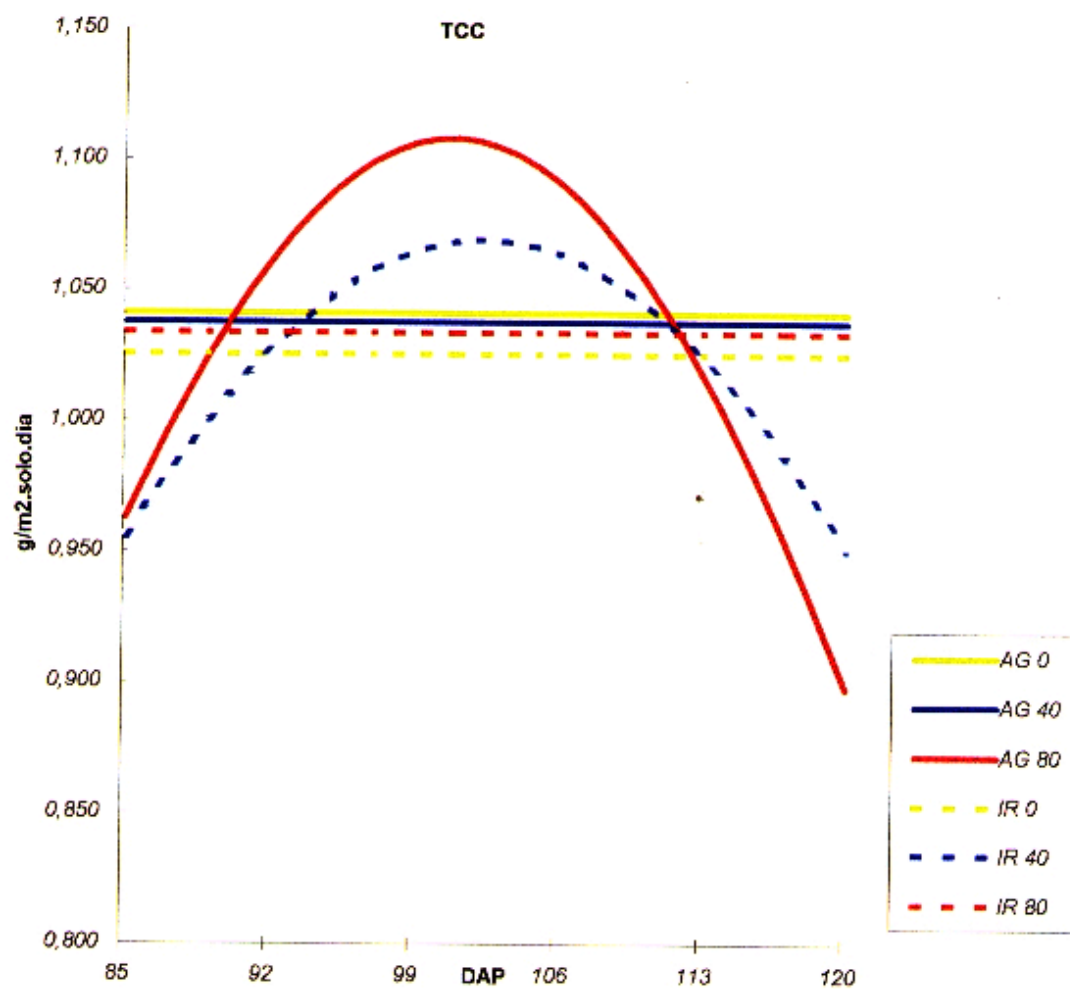


Figura 4.8 - Taxa de crescimento da cultura

4.11 - Índice de Área Foliar (IAF)

Os dados estatísticos de médias referentes ao índice de área foliar (IAF) estão apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5 (pág. 48 e 49), e os gráficos com as curvas ajustadas, na figura 4.9. Pode-se observar que o IAF variou significativamente nos dois primeiros dias de coletas, isto é, aos 85 e 92 DAP, estabilizando a partir dos 99 DAP, para voltar a apresentar uma tendência de queda aos 120 DAP, como mostra o quadro 4.4.

Estas duas quedas nos valores de IAF podem ser atribuídas a causas distintas. No primeiro caso, aos 85 DAP, o IAF se encontra com a média de 0,748, um dos menores valores de coleta. Porém, aos 92 DAP o valor da média deste período cai ainda mais, atingindo 0,711, não sendo diferente estatisticamente em relação ao anterior, apresentando, contudo, uma tendência à queda. A causa provável desta diminuição, seria o estresse ambiental, em função da alta temperatura e da intensa evapotranspiração da cultura. A planta diminui sua área foliar, como mecanismo de defesa contra a perda de água pela superfície foliar.

Aos 120 DAP observa-se uma leve tendência na diminuição do valor do IAF em função dos processos de senescência das folhas mais baixas que tende a translocar fotossintato e nitrogênio para as regiões de dreno da planta.

Todavia, observa-se que dos 99 DAP até os 113 DAP os valores de IAF se encontravam por volta de um (1), mostrando uma evidente tendência de estabilização da área foliar da planta. Alfonsi et alii (1979) encontraram resultados parecidos trabalhando com cultivares de sequeiro (IAC 1246) e irrigado (IR 665) em duas densidades de plantio (0,30 m e 0,60 m)

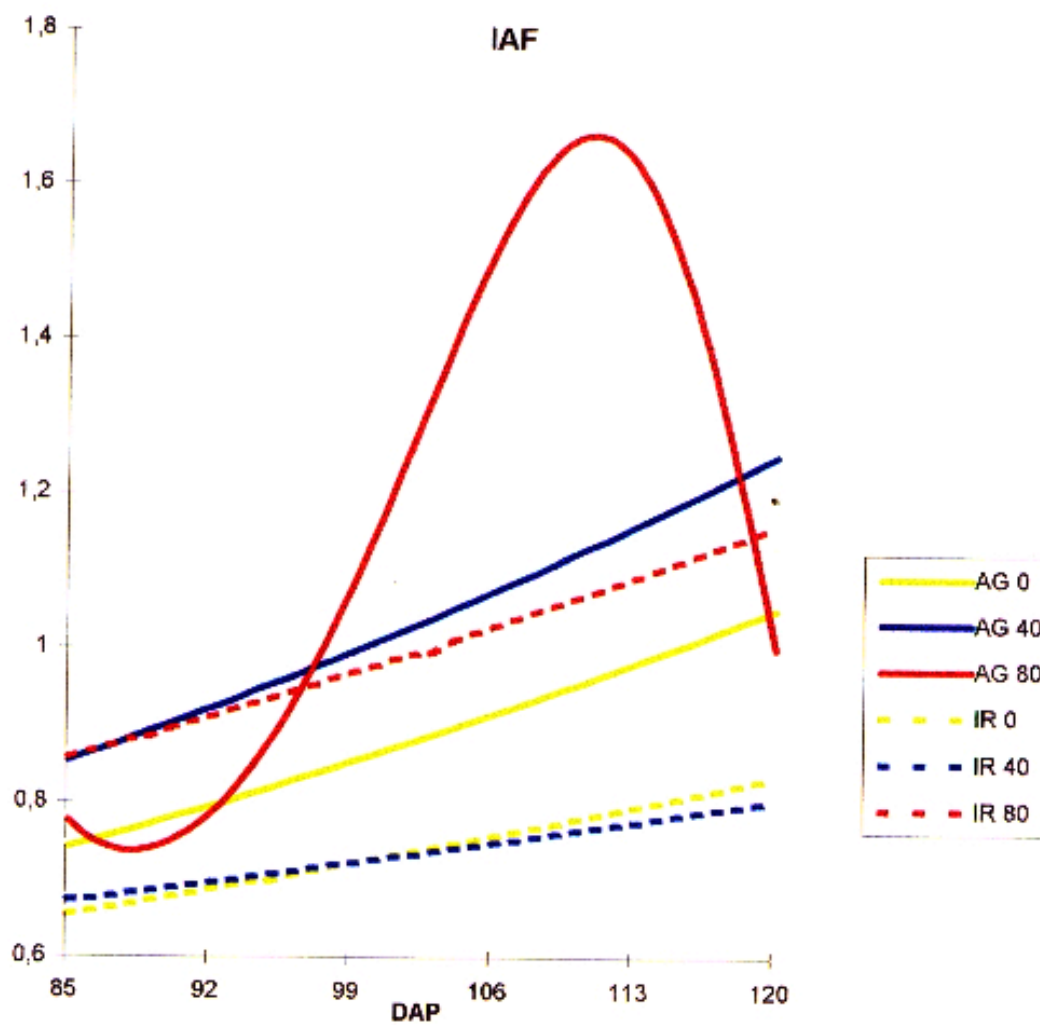


Figura 4.9 - Índice de Área Foliar

entre linhas e 0,10 m dentro da linha, em que os valores de IAF das duas cultivares estabilizaram-se próximo ao florescimento. Este comportamento representa uma resposta fisiológica da planta ao balanço de fotossintato na relação fonte-dreno, citado por Fageria (1984). Isto é, as regiões de fonte da planta neste período constituem-se as folhas bandeiras e aquelas folhas próximas da panícula que já atingiram seu tamanho máximo e se encontram em máxima atividade. E os órgãos reprodutivos constituem a região de máximo consumo, isto é, de dreno, com o enchimento dos grãos.

Os efeitos da adubação de nitrogênio sobre o IAF foram significativos para a dosagem de 80 KgN/ha, que apresentou média de 1,041, correspondendo ao maior valor de média, diferindo estatisticamente das médias de testemunhas e de 40 KgN/ha, que foram de 0,809 e 0,877, respectivamente, não diferindo estatisticamente as médias de IAF entre si. Estes resultados confirmam os trabalhos de Fagade e De Datta (1970) e de Fageria (1989) que constataam que o uso de maiores doses de nitrogênio incrementa o IAF em arroz.

No estudo do efeito isolado de cultivar, o índice de área foliar (IAF) foi estatisticamente maior para a cultivar Agulha, que obteve média de 0,997, em comparação com o menor valor da cultivar IRGA 412, que foi 0,827. Estes resultados contrariam as informações de Yoshida (1972), segundo o qual o IAF dos cultivares melhorados, em regra, é o dobro das cultivares tradicionais.

Esta diferenciação de comportamento das cultivares no presente trabalho pode ser atribuída ao perfilhamento e ao tamanho da folha da cultivar Agulha.

No primeiro aspecto, como foi anteriormente estudado, o número de perfilho diferiu estatisticamente numa pequena margem em relação ao estudo isolado de cultivar, fato que contraria o que se apresenta na literatura, em que as cultivares melhoradas são descritas como altamente perfilhadoras, não sendo esta característica verificada nos resultados obtidos no experimento, tendo sido anteriormente discutidas as causas.

Este baixo nível de perfilhamento provocou uma sensível queda nos valores de IAF da cultivar IRGA 412, aproximando-a da performance da cultivar tradicional.

Para a cultivar Agulha, que é pouco perfilhadora por natureza, o valor maior de IAF se deve fundamentalmente ao maior tamanho das folhas, como informam Tanaka et alii (1964), citados por Stone e Steimnetz (1979).

No estudo comparativo do efeito de interação cultivar x nitrogênio, observa-se que no caso da cultivar Agulha não há diferença significativa entre os níveis de nitrogênio. O que se percebe é que a testemunha, com uma média de 0,87, apresentou uma leve tendência a ter valor de média inferior aos tratamentos de 40 KgN/ha e 80 KgN/ha, que tiveram média de 1,03 e 1,08, respectivamente.

Por outro lado, os efeitos da interação das doses de nitrogênio sobre a cultivar IRGA 412 foram significativos aos 80 KgN/ha, com média de 1,02, em comparação com as médias da testemunha e do tratamento de 40 KgN/ha, que obtiveram médias de 0,745 e 0,740, respectivamente, sendo que estas duas últimas médias não foram significativas entre si. Este resultado reforça os relatos sobre a resposta ao efeito de maiores doses de nitrogênio para o incremento do IAF em cultivares melhoradas.

Quanto aos valores dos índices de área foliar do trabalho, constata-se que eles se encontram com médias muito abaixo das que a literatura informa, situando por volta de 4 a 6 para as cultivares melhoradas e para as cultivares de sequeiro tendendo à metade. O espaçamento utilizado foi de 0,40 m entre linhas e 0,10 m dentro das linhas, esta densidade de *stand* foi condicionada pela limitação de sementes da cultivar Agulha.

As equações ajustadas pelos polinômios ortogonais para o IAF nos três tratamentos das duas cultivares são mostradas no gráfico abaixo. Os dados originais foram previamente convertidos em LN.

Agulha:

$$0 \text{ N} \Rightarrow y = -1,1312 + 0,00988x \quad r^2 = 0,63$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow y = -1,0715 + 0,01082x \quad r^2 = 0,59$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = 132,1607 - 4,08905x + 0,041638 x^2 - 0,0001395x^3 \quad r^2 = 0,90$$

IRGA 412:

$$0 \text{ N} \Rightarrow y = -0,9977 + 0,00685x \quad r^2 = 0,78$$

$$40 \text{ N} \Rightarrow Y = -8,8241 + 0,00511 x \quad r^2 = 0,13$$

$$80 \text{ N} \Rightarrow y = -0,8735 + 0,00854x \quad r^2 = 0,42$$

4.12 - Taxa de Assimilação Líquida (TAL)

A taxa de assimilação líquida (TAL), expressa pela relação TCC/IAF, foi calculada a partir dos valores de TCC e IAF obtidos pelas equações ajustadas.

Os valores da taxa de assimilação líquida, conforme observa-se na figura 4.10, apresentaram no período de coleta uma tendência de queda,

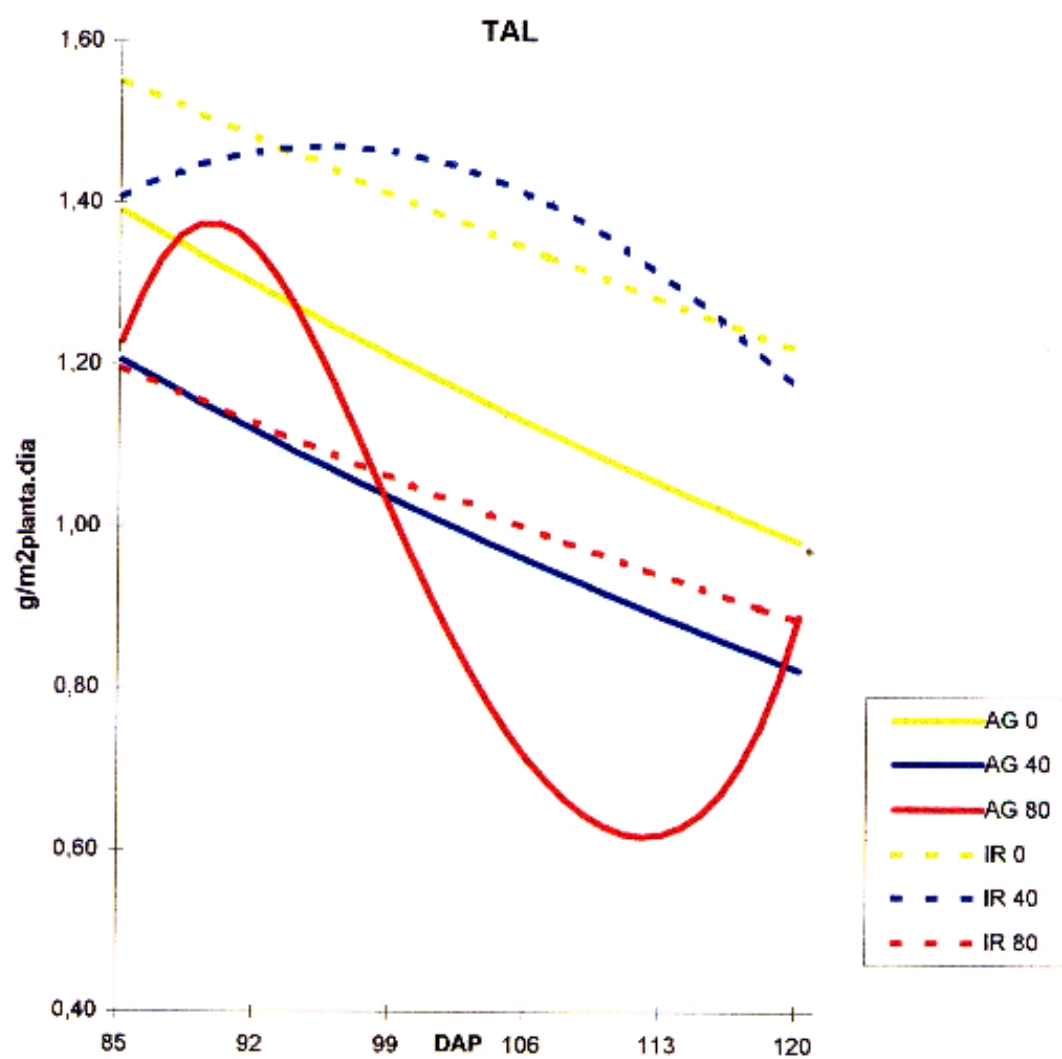


Figura 4.10 - Taxa de Assimilação Líquida

este declíneo representa uma diminuição da produção de fotossíntese por unidade de folha na fase reprodutiva quando comparado aos valores da fase vegetativa.

Os maiores níveis de TAL correspondem aos tratamentos de 0 KgN/há e 40 kgN/há para a cultivar IRGA 412. Podem-se verificar nestes casos de máximas de TAL que os valores de IAF foram os menores, indicando que a cultivar melhorada compensou a superioridade na produção de fotossíntese pela maior eficiência por unidade de área.

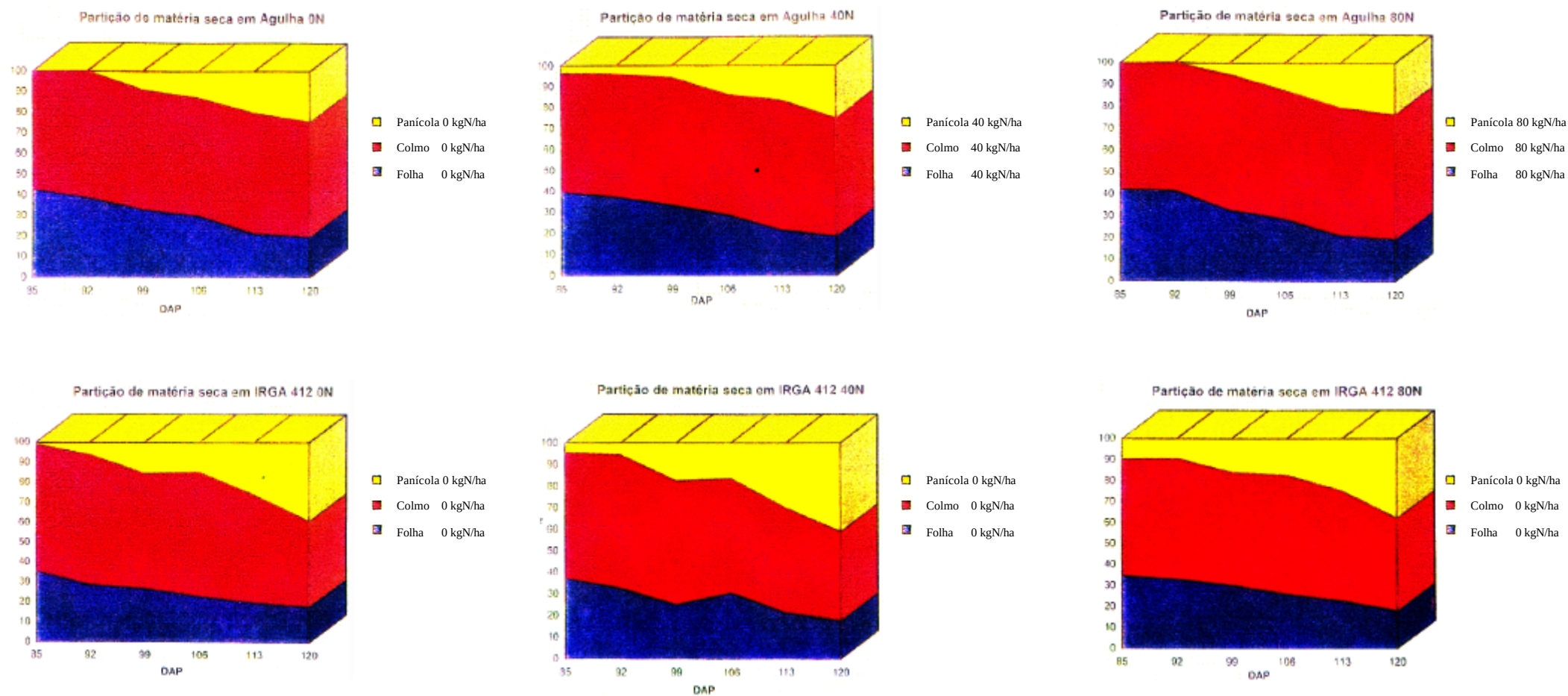
Na cultivar tradicional os tratamentos de 0 KgN/há e 40 KgN/há e para a cultivar IRGA 412, aos 80 kgN/ha, obteve-se os maiores valores de IAF, porém a produção de fotossíntese por unidade de área foi baixa, sugerindo uma menor eficiência produtiva de fotossíntese.

No tratamento de 0 kgN/ha para a cultivar Agulha, observa-se um comportamento intermediário nos valores de TAL que corresponde a um nível médio na ocupação do terreno quando comparado com os outros valores.

4. 13 - Partição da matéria seca total da parte aérea

Os dados estatísticos das médias de distribuição da matéria seca total acumulada na parte aérea são apresentados nas tabelas 4.4 e 4.5 (pág. 48 e 49) e a expressão gráfica, nas figuras 4.11. Pode-se observar que as relações $\%W_f/W_t$, $\%W_c/W_t$ e $\%W_p/W_t$ foram idênticas nos três níveis de nitrogênio não havendo diferenças significativas entre tratamentos.

Figura 4.11 - Partição de matéria seca nas cultivares Agulha e IRGA 412 nos tratamentos de nitrogênio.



A relação W_f/W_t decresceu continuamente, partindo de 38,57% aos 92 DAP e atingindo 18,46% aos 120 DAP. Isto é, esta diminuição de aproximadamente 50% da massa seca de folha em relação à massa total da planta indica uma mudança na partição de matéria seca na planta na fase reprodutiva.

No estudo da relação $\%W_c/W_t$, observa-se uma diferença não significativa entre as cinco primeiras médias, isto indica que a estrutura do colmo em termos de alocação de matéria seca não variou, com exceção do último período em que apresentou uma queda de aproximadamente 10%, que representa a remobilização de fotoassimilado desta região para a produção de grãos como relataram Yoshida (1972), Murata e Matsuhima (1975), e Silveira e Machado (1990).

De forma inversa, observou-se que a relação W_p/W_t aumentou aproximadamente 28% dos 85 DAP até 120 DAP, este comportamento da massa seca da panícula em relação massa total corresponde ao processo de enchimento das panículas. Esse aumento no incremento da matéria seca da panícula corresponde ao decréscimo contínuo da porcentagem da massa seca de folha e caule aos 120 DAP. A planta regula a partição de matéria seca para as regiões de maior consumo neste estágio fisiológico. A partir do 106 DAP a relação $\%W_p/W_t$ continua aumentando, porém não há diferença estatística entre as médias.

No Estudo do efeito da cultivar, observa-se que a cultivar Agulha apresenta uma maior relação W_f/W_t , de aproximadamente 3% de diferença, em relação a cultivar IRGA 412. Assim, como, para a relação W_c/W_t , esta diferença evolui para 5%, isto vem a confirmar a grande tendência para a formação de palha da cultivar tradicional, descrita por Angladente (1969), Von Uexkull (1979), Chander (1984) e França (1995).

Em situação inversa, pode-se observar que, na relação %Wp/Wt, a partição de matéria seca para os órgãos reprodutivos é maior para a cultivar IRGA 412, que apresenta uma relação de massa seca de panícula e massa total de aproximadamente 10,59, isto é, 50% superior quando comparada com a Agulha, que obteve média de 7,09, confirmando as informações de Pereira e seus colaboradores (1994) da maior eficiência no transporte dos carboidratos e maior capacidade de acúmulo nas espiguetas das cultivares modernas.

No estudo da partição de matéria seca, o efeito da interação de cultivar x doses de nitrogênio não foi significativo para os parâmetros %WP/Wt e %Wf/Wt. Entretanto, no que se refere à %Wc/Wt, nota-se que esta relação foi maior para a cultivar Agulha independentemente da dose de adubo. E para a cultivar IRGA 412 houve uma tendência do efeito na testemunha ser maior do que os outros tratamentos.

4.14 - Produção Final

Observa-se, na tabela 4.5 (pág. 49), que não houve diferença significativa entre as cultivares nos diversos tratamentos. Embora, no tratamento de 80 KgN/ha, ambas as cultivares tenham apresentado um aumento de produção, em aproximadamente 18% para IRGA 412 e de 25 % para a cultivar Agulha, em relação ao tratamento de menor performance produtiva.

A maior produtividade em cada cultivar ficou situada em redor de 2.225 e 2.500 kg/ha na cultivar IRGA 412 e Agulha, respectivamente. Comparando-se estes valores com a média nacional, que situa-se em torno de 1.500 kg/ha, verifica-se que estão mais elevados, porém em comparação com o desempenho das lavouras de melhor manejo agrônômico, que produzem

acima de 5.000 kg/ha, observa-se que as médias se apresentam num baixo patamar.

As possíveis causas dessa menor produtividade das duas cultivares podem ser explicadas pelos efeitos negativos da competição das plantas nas sementeiras e do transplântio um pouco atrasado, bem como, ao ato em si da repicagem, que promoveu uma descontinuidade da fase vegetativa, provocando queda de produção.

Entretanto, a principal causa desta menor produtividade está relacionada aos baixos índices de área foliar (IAF) que se situaram em torno de 1 quando seus valores alcançam cerca de 4 a 6 para as cultivares melhoradas. Seguramente, a produção seria no mínimo o dobro se fosse diminuído pela metade o espaçamento das plantas, pois a ocupação do terreno seria consideravelmente maior, como expõem Gravois e Helms (1992 e 1996) e Washio (1993), com uma melhor resposta de produção, uma vez que a planta de arroz suporta altas densidades de plantio, com a formação de pelo menos uma panícula por planta, como relatou Yoshida (1972).

Um fato que vem ratificar tal conclusão seria a diferença do comportamento produtivo das duas cultivares na presença do maior nível de nitrogênio, em que observa-se uma inversão da expectativa de produção das cultivares, de forma que a tradicional produziu mais que a melhorada. Esta situação está provavelmente relacionada ao que Watson (1952) descreveu, ou seja, que quando se apresenta baixo perfilhamento, um maior IAF repercutirá nos níveis de produção, independentemente da taxa de assimilação líquida.

5. CONCLUSÃO

Em função dos resultados dos padrões de acumulação e partição de matéria seca durante a fase reprodutiva das duas cultivares com diferentes hábitos de crescimento, determinado pelo nível de pressão seleção genotípica e influenciada por três doses de adubação nitrogenada, pode-se observar:

- 1) Houve uma diferença na massa seca total entre as cultivares, com uma maior produção de matéria seca na cultivar Agulha do tipo tradicional, em todos os tratamentos de nitrogênio. Entretanto, na partição de matéria seca, a cultivar Agulha acumulou preferencialmente nos componentes de palhada (colmo + folhas). Por outro lado, na cultivar IRGA 412 notou-se uma melhor relação W_p/W_t , indicando uma maior eficiência na translocação de fotossintato para os grãos.
- 2) A cultivar Agulha apresentou melhores valores de índice de área foliar do que a cultivar IRGA 412, esta superioridade de ocupação da área de terreno reflete um baixo nível de perfilhamento nas duas cultivares, aliado a um maior valor de área foliar da cultivar de sequeiro (Agulha).

- 3) A taxa de crescimento da cultura das cultivares Agulha e IRGA 412 só apresentaram curva parabólicas nos tratamentos de 80 KgN/ha e 40 KgN/ha, respectivamente, mantendo-se constante nos outros tratamentos e não diferindo entre si. O valor de TCC para Agulha aos 80 KgN/ha foi maior do que para a IRGA412 aos 40 KgN/ha. Entretanto, para os valores de TAL pode-se constatar que a cultivar melhorada apresentou tendência a maiores valores de taxa de assimilação líquida com menores IAF do que a cultivar agulha, indicando uma melhor eficiência de produção de matéria seca por unidade de área foliar.
- 4) A produção final de grãos em casca não diferiu estatisticamente entre as cultivares e nos três tratamentos de nitrogênio, entretanto, observa-se uma tendência de melhor performance produtiva para a cultivar Agulha no tratamento de 80 KgN/ha. Esta melhor resposta produtiva está diretamente ligada ao maior IAF desta cultivar que foi determinado pela maior área foliar, em contraposição à cultivar melhorada, que apresentou menor área foliar, bem como baixo perfilhamento, refletindo negativamente nos valores de IAF e conseqüentemente no nível de produção final.

Um outro fator que comprometeu a média de produção que se situou próximo de 2.000-2200 Kg/ha foi a baixa densidade do *stand*, gerando IAF em torno de 1,0.

Com relação a metodologia:

- 1) A análise de crescimento se mostrou um instrumento que permite acompanhar o padrão de crescimento de cultura de uma forma mais detalhada e completa, por meio de parâmetros fisiológicos que traduzem as possíveis diferenças existentes entre cultivares.
- 2) Pode-se concluir a necessidade de um estudo do comportamento da variância amostral para eliminar possível heterogeneidade e proceder sua estabilização como requisito prévio da análise estatística dos dados.
- 3) A transformação dos dados originais em logaritmos naturais mostrou-se eficiente para a redução da heterocedasticidade dos parâmetros primários da análise de crescimento, tais como área foliar e massa seca total, porém mostrou-se ineficiente para massa seca de panícula e colmo.

O estudo comparativo de crescimento entre cultivares de hábito de crescimento contrastantes mostrou a necessidade de uma melhor compreensão da fisiologia da planta de arroz cultivada em condições de sequeiro, pois com a estagnação e até declínio da produção mundial deste cereal, aliada a uma limitação no uso de terra agrícola de baixada para o plantio de arroz irrigado, o grande potencial de crescimento da cultura do arroz encontra-se nas áreas altas. Porém, precisam-se de melhores condições de cultivos, tais como: irrigação, uso de insumos, mecanização, etc., bem como, um estudo diferenciado do padrão de crescimento destas cultivares ditas tradicionais, pois, em um trabalho de produção de arroz de sequeiro, feito experimentalmente, De Datta (1982), citado por Malavolta e Fornasieri

Filho (1983), relata que se atingiu uma produção de 5.400 até 7.200 Kg/ha, isto mostra o quanto pode atingir o potencial produtivo destas variedades, se for dispensada uma melhor atenção nas pesquisas destes genótipos de baixa pressão de seleção, bem como das cultivares modernas, no que tange à obtenção de um melhor balanço entre respiração/fotossíntese na fase reprodutiva, na tentativa de superar as barreiras fisiológicas de produção nas regiões tropicais.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R. R.; ORTOLANI, A.A.; PEDRO Jr., M. J.; BRUNINI, O. e PINTO, S. Análise de crescimento para variedades de arroz IR - 665 e IAC 1246, sob duas densidades de plantio. *Ecossistema*, nº 1, v. 4, p. 25-34, Espírito Santo do Pinhal, SP, 1979.
- ANGRADETTE, A. El Arroz. Técnicas agrícolas y producciones tropicales, Cap.III, p. 73-100, 1969.
- BHAGSARI, A.S. and BROWN, R.H. Leaf photosynthesis and its correlation with leaf area. *Crop Sci.* v. 26, jan.-feb., 1986.
- BHUIYAN, N. I.; CRASSWELL, E. T. and BOULDIN, D. R. Yield and crop parameters of wetland rice as influenced by soil and fertilizer nitrogen. *Plant and Soil.* V. 79:369-381, 1984.
- BROADBANT, F.E.; DE DATTA, S.K. e LAURELES, E.V. Measurement of nitrogen utilization efficiency in rice genotypes. *Agronomy Journal.* V. 79, set-oct: 786-791, 1987.
- BUENO, L. G.; ROLIM, R.B.; MONTEIRO, P. M. F.O.; NEIVA, L.C.S. e SLEINDORFF, A.P. Estudos de fotoperiodismo em arroz e soja. *Boletim técnico*, nº 9, EMGOPA, Goiânia, 1981.

- BURESH, R.J. e DE DATTA, S.K. Nitrogen Dynamics and Management in rice-legume cropping systems. *Advances in Agronomy*. vol. 45, 1991.
- CALBO, A. G.; SILVA, W.L.C. e TORRES, A. C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, 1(1):1-17, 1989a.
- _____. Ajuste de funções não lineares de crescimento. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, 1(1):9-18, 1989b.
- CANTARELLA, H e ANDRADE, J.C. de. O sistema internacional de unidades e a Ciência do Solo. *Bol. Inf. da Soc. Bras. de Ciência do Solo*, vol. 17, nº 03, Ed. IAC, dezembro 1992.
- CASTILLO, E. G.; BURESH, R.J. and INGRAN, K.T. Lowland rice yield as affected by timing of water deficit and Nitrogen fertilization. *Agron. Journal*, 84:152-159, 1992.
- CHANDLER, R. F. Arroz en los trópicos. Guia para el desarrollo de programas nacionales, Cap. 2, pág. 37-72, 1984.
- COUNCE, P. A. Asymptotic and parabolic yield and linear nutrient content responses to rice population density. *Agronomy Journal*, vol. 79, sept-oct., 1987
- _____. Responses and ramifications of rice canopy leaf stratification. *Crop Sci* 32: 779-781, 1992.
- COUNCE, P. A.; MOLDENHAUER, K.A.K. and MARK, O. B. Rice Yield and Plant Yield Variability Responses to Equidistant Spacing. *Crop Sci*. 29: 175-179, 1989.
- DABNEY, S.M. and HOFF, B.J. Influence of water management on growth and Yield of no-till planted rice. *Crop Sci*. 29:746-752, 1989.

- DE DATTA, S.K. Principles and practices of rice production. New York, Wiley - Interscience, 1981, 618 p.
- DE DATTA, S.K. and BROADBENT, F.E. Methodology for evaluating Nitrogen Utilization efficiency by rice genotypes. *Agronomy Journal*. V. 80:793-798, sept-oct. , 1988.
- DINGKUHN, M.; SCHNIER, H.F.; DE DATA, S.K. et alii. Nitrogen Fertilization of direct - seeded flooded vs. Transplanted rice: II. Interactions among canopy properties. *Crop Science*, v. 30, p. 1284-1292, 1990.
- De- POLLI, H. ; ALMEIDA , D. L. de . . . (et alii.). Manual de adubação para o Rio de Janeiro. Itaguaí. Ed. Universidade Rural , 1988, 179p.
- FAGADE, S.O. and De DATTA, S.K. Leaf area index tillering capacity and grain yield of tropical rice as affected by plant density and nitrogen level. *Agronomy Journal*, vol. 63, may-june, 1971.
- FAGERIA, N. K. Adubação e Nutrição Mineral da Cultura de arroz. *Ecofisiologia da cultura do arroz*. Cap 2, pág 29-73, Rio de Janeiro: Campus ; Goiânia : Embrapa, 1984.
- _____. Solos Tropicais e Aspectos Fisiológicos das Culturas. *Ecofisiologia da Cultura de Arroz*. cap. 10 pág 255-292. Brasília : Embrapa - DPU ,1989.
- FAGERIA, N. K. e BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 17(12): 1709 - 1712, 1982.

- FAGERIA, N. K.; SANTANA, E.P.; CASTRO, E.M. de; et al. Resposta diferencial de genótipos de arroz de sequeiro à fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v. 19, p.261-267, 1995.
- FAGERIA, N. K. e WILCOX, G. E. Influência de Nitrogênio e Fósforo no Crescimetno do Arroz. *Lavoura Arrozeira*, 30(301): 24-28; julho/agosto, 1977.
- FAO. Production yearbook for 1981. Roma, 1982. V. 35. 306p.
- FERRAZ, E. C. Ecofisiologia do Arroz. In: *Ecofisiologia da Produção Agrícola*. CASTRO, P.R.; FERREIRA, S.O. e YAMADA, T. (eds) - Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da potassa e do Fosfato. p. 285 - 202, 1987.
- FONSECA, J.R.; RANGEL, P.H.N.; BEDENDO, I.P.; SILVEIRA, P.M.; GUIMARÃES, E.P. e CORADIN, L. Características Botânicas e Agronômicas de Cultivares e Raças Regionais de arroz (*Oryza sativa* L.) coletadas no Estado do Maranhão. *boletim de Pesquisa*, n. 1, 42 p., dez. 1982.
- FRANÇA, M. G. C. Análise do crescimento e do acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz contrastantes em hábito de crescimetno. Tese de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 150 p., 1995.
- FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N. and PALMER, A.F.E. A Rapid Method for plant leaf area estimation in maize. *Crop Science*, vol. 9., september-october, 1969.
- GIFFORD, R. M. and EVANS, L. T. Photosynthesis, carbon partitioning, and Yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 32: 485-509, 1981

- GOMES, F. P. Curso de Estatística Experimental. ed. Nobel. Piracicaba, SP. 467 p. 1987.
- _____. Curso de Estatística Moderna na pesquisa agropecuária, 160p., 1984.
- GRAVOIS, K.A. and HELMS, R.S. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seeding rate. *Agronomy journal*. vol. 84:1-4, 1992.
- _____. Seeding rate effects on rough rice yield, head rice, and total milled rice. *Agronomy Journal*, v. 88, p. 88-84, 1996.
- HUNT, R. The fitted curve in plant growth studies. In: *Mathematics and plant physiology*. Rose, D.A.; CHALES - EDWARD, D.A., London: Academic Press, p. 283-298, 1981.
- ISHIZUKA, Y. Physiology of the rice plant. *Advances in Agronomy* , New York, 23: 241 - 310 , 1971
- JULIANO, O. B.. El arroz en la nutrición humana. Colección FAO (IRRI): Alimentación y Nutrición. Roma, n. 26, 1994.
- LARCHER, Walter. *Ecofisiologia Vegetal*. Cap.4 e 5, pág. 74 - 175, 4ª ed. São Paulo : EPU, 1986.
- LOPES, N. F. e MAESTRI, M. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do milho (*Zea mays L.*) cultivado em três densidades de plantio. *Revista Ceres*, Viçosa, 28(157):268 - 288, 1982.
- LUCCHESI, A.A. Utilização Prática da Análise de Crescimento Vegetal. *Anais da ESALQ*, vol. 16, pág. 181-201, 1984.

- MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H.V; Da SILVA, W.J. e TEIXEIRA, J.P.P. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. *Pesq. Agrop. Bras.*, 17(6):825-833, jun., 1982.
- MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G. da e BASTOS, C.R. Trocas de CO₂, acúmulo de fitomassa e remobilização de reservas durante o crescimento de panículas de duas cultivares de arroz. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. v.2(1): 63 - 70, 1990.
- MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do Solo. In: *Fundamentos para a cultura do arroz irrigado*. Campinas. Fundação Cargill. p. 129 - 179, 1985.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: *Fisiologia Vegetal*. Editores EPU e EDUSP, São Paulo, vol. 1: 333-350, 1985.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e Adubação de Arroz (Sequeiro e Irrigado), *Boletim Técnico nº 9*, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, pág. 12-61, 1987.
- MALAVOLTA E. e FORNASIERI FILHO, D. . Nutrição da cultura do arroz. In: Ferreira, M. E.; Yamada, T.; Malavolta E.; *Cultura do Arroz de Sequeiro - fatores afetando a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, 1983, p. 95 - 140.
- MARTINS, A.A.E.; GHEYI, H.R. e FAGERIA, N.K.. Efeitos da temperatura no crescimento, componentes de produção e rendimentos de arroz (*Oryza sativa* L.) Irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 5:42-46, 1981.

- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J. and JACKSON, W.A. Analysis and Interpretation of Factors Which contribute to efficiency of Nitrogen Utilization. Agronomy Journal, vol. 74, may-june, 1982.
- MOORE, P.A.; GILMOUR, J.T.Jr. and WELLS. B.R. Seasonal Patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice. Soil Science Society American Journal, V. 45:875-879, 1981.
- MURATA, Y. and MATSUSHIMA, S. Rice. In: Evans, L.T. Ed. Crop Physiology; some cases stories, Cambridge, Cambridge University Press, 1975.
- NORMAN, R. J.; GUINDO, D.; WELLS, B. R. and WILSON Jr., C. E.. Seasonal accumulation and parthioning of nitrogen¹⁵ in rice. Soil Science Society American Journal. V. 56:1521 - 1527, 1992.
- NOVOA, R. and LOOMIS, R.S.. Nitrogen and Plant production. Plant and Soil. vol. 58:177-204, 1981.
- O'TOOLE, J.C. and BALDIA, E. P. Water Deficits and Mineral Uptake in Rice. Crop Sci. Vol. 22. Nov. - dec., 1982.
- PEREIRA, A. R. e MACHADO, E. C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais, Campinas, IAC, Boletim Técnico n. 114, 33 p, 1987.
- PEREIRA, J. A.; SOBRINHO, J. T. e BELTRÃO, N. E, de M. Respostas de cultivares tradicionais e melhoradas de arroz de sequeiro a diferentes níveis de umidade, Pesquisa Agropecuária Brasileira, 29(6):857-865, jun./1994.

- PINHEIRO, B., S. MARTINS, J.F. e ZIMMERMANN, F.J.P. . Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro. I - níveis limitantes, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 25(6):863-872, jun., 1990(a).
- _____. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro. II- Manifestação através dos componentes da produção. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 25(6), páginas 873-879, jun. ,1990(b).
- PINHEIRO, B. da S.; STEINMETZ, S.; STONE, L. F. e GUIMARÃES, E. P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade do arroz de sequeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 20(1):87 - 95, 1985.
- RADFORD, P. J. Growth analysis formulae - their use and abuse. Crop. Science, Madison, 7:107 - 15, 1967.
- REDDY, K. R. and PATRICK, W. H. Jr. Utilization of labeled urea and ammonium sulfate by lowland rice. Agronomy Journal v. 70:465 - 467, 1978.
- _____. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labeled nitrogen. Agronomy Journal v. 68:965 - 969, 1976.
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. Revista Ceres, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.
- ROSSIELLO, R.O.P.; MARZOLA, de O.L.; SILVA, E. V. B. da e FERNANDES, M.S. Acumulação de matéria seca e índice de área foliar em relação a produção de naca-de-açúcar. Arq. Univ. Fed. Rur. Rio de Janeiro, Itaguaí, jan./jun., 1983

- SCHNIER, H. F.; DINGKUHN, M.; DE DATTA, S. K.; MENGEL, K. and FARONILO, J. E. Nitrogen fertilization of direct - seeded flooded vs. transplanted rice. In: Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield. Crop Science v. 30: 1276 - 1284, 1990.
- SILVEIRA, J. A. G. e MACHADO, E. C. Mobilização de nitrogênio e de carboidratos durante o desenvolvimento de panículas de duas cultivares de arroz. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. 2(2):37 - 46, 1990.
- SIMS, J. L. and PLACE, G. A., Growth and nutrient uptake of rice at different growth stages and nitrogen levels. Agronomy Journal v. 60:692 - 700, 1968.
- SOUZA, D. de. Influência da Adubação nitrogenada sobre a área foliar e a acumulação de fitomassa em quatro variedades de cana-de-açúcar (*Saecharum app*) irrigadas, no ciclo de 1^o soca. 59 p., 1995.
- SOUZA, R. de S.; STARK, E. M. L. M.; e FERNANDES, M. S. Teores e qualidade das proteínas de reserva do arroz em função de aplicação suplementar de N. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 28, n. 5, p. 575-583, 1993.
- SINCLAIR, T. R. and HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A Review. Crop Science v. 29:90 - 98, 1989.
- SPIEGEL, M.R. Estatística. 7a ed, cap. 13, 1974.
- STONE, L.F.; OLIVEIRA, A.B. de e STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 14(3):295-301, 1979.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da; OLIVEIRA, A.B. de e AQUINO, A.R.L. de. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na

- produção de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 14(2):105-109, 1979.
- STONE, L.F. e STEINMETZ, S. Índice de Área Foliar e Adubação Nitrogenada em Arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 14(1):25-28, 1979.
- TIPPETT, L. H.C. The methods of statistics, pag. 315-320, 4a ed., 1952.
- VLEK, P.L.G.; HONG, C.W. and YOUNGDAHL, L.J. An analysis of N Nutrition on Yield and Yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. *Agronomy Journal*, vol. 71, sept-oct, 1979.
- VIEIRA, A. R. R.; STEINMETZ, S. e BRUNINI, O. Parâmetros de crescimento de duas cultivares de arroz sob diferentes regimes de água no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 25(6): 897 - 904, 1990.
- VON VEXKULL, H. R. Aspects of fertilizer use in modern, high-yield rice culture. *IPI Bulletin nº 3*, 2ª ed., 1979.
- WASHIO, OSAMU. Planting density and morphogenesis. In: MATSUO, T.; HOSHIKAWA, K. Science of the rice plant v. 1 Morphology food and Agriculture Policy Research Center. Tokyo, Japan, 700p., 1993.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. *Advances Agronomy*, New York, 4: 101 - 45, 1952.
- WETSELAAR, R. and FARGUHAR, G.D. Nitrogen losses from Tops of Plants. *Advances in Agronomy*, vol. 33, 1980.
- WILSON Jr., C.E.; NORMAN, R. J. and WELLS, B. R. Seasonal uptake patterns of fertilizer nitrogen applied in split applications to rice. *Soil Sci. Soc. Am. J. V. 53: 1884-1887*, 1989.

- WILSON, J.W. Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. *Ann.* 48:507-512, 1981.
- WU, P.; TAO, Q.N. Genotypic response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes. *Journal of Plant nutrition*, v. 18, n. 3, p. 487-500, 1995.
- YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. *Annual Review Plant Physiology*, v. 23: 437 - 464, 1972.
- _____. Ecophysiology of rice. In : *ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL CROPS* s.1., CEPLAC, 1975 v.1 cap. 3 , p. 57 - 87 .
- ZIMMERMANN, F. J. P. Efeito de heterogeneidade de variância e distribuição de probabilidade dos dados sobre o poder e tamanho do teste F. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 22(11/12): 1209 - 1213, 1987.

7 - ANEXOS

Tabela 7.1 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de folha (W_f)

Tabela 7.2 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de colmo (W_c)

Tabela 7.3 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de panícula (W_p)

Tabela 7.4 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca total (W_t)

Tabela 7.5 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para Índice de Área Foliar (IAF)

Tabela 7.1 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de folha (Wf)

W.f.		significância	r^2
0KgN/ha Agul.	época	*2,88	
linear		*11,19	0,77
quadrática		1,317	0,86
cúbica		0,68	0,91
40KgN/ha Agul.	época	* 2,61	
linear		* 8,162	0,64
quadrática		* 3,32	0,9
cúbica		0,076	0,9
80KgN/ha Agul.	época	* 7,69	
linear		*23,91	0,62
quadrática		*5,07	0,75
cúbica		1,71	0,79
0KgN/ha IRGA	época	1,22	
linear		*3,88	0,55
quadrática		0,068	0,56
cúbica		0,42	0,63
40KgN/ha IRGA	época	*4,04	
linear		*8,44	0,41
quadrática		0,366	0,83
cúbica		*5,05	0,68
80KgN/ha IRGA	época	1.868	
linear		*6,03	0,64
quadrática		0,837	0,73
cúbica		0,801	0,82

Obs.: * e ** significativos aos níveis de 5 e 1 %, respectivamente, de acordo com o teste F.

Tabela 7.2 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de colmo (Wc)

W.c.		significância	r ²
0KgN/ha Agul.	época	* 10,81	
linear		* 51,61	0,95
quadrática		0,91	0,97
cúbica		1,43	0,82
40KgN/ha Agul.	época	* 4,08	
linear		* 19,59	0,95
quadrática		0,725	0,99
cúbica		0,01	0,99
80KgN/ha Agul.	época	* 17,69	
linear		* 73,28	0,82
quadrática		0,278	0,86
cúbica		* 9,59	0,97
0KgN/ha IRGA	época	* 3,98	
linear		* 4,59	0,92
quadrática		0,192	0,96
cúbica		0,0001	0,98
40KgN/haIRGA	época	* 3,3	
linear		* 10,11	0,61
quadrática		* 0,46	0,64
cúbica		0,704	0,72
80KgN/haIRGA	época	* 6,39	
linear		* 27,34	0,85
quadrática		0,46	0,93
cúbica		0,95	0,95

Obs.: * e ** significativos aos níveis de 5 e 1 %, respectivamente, de acordo com o teste F.

Tabela 7.3 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca de panícula (Wp)

W.p.		significância	r ²
0KgN/ha Agul.	época	* 32,82	
linear		* 140,37	0,85
quadrática		* 20,84	0,98
cúbica		1,85	0,99
40KgN/ha Agul.	época	* 19,28	
linear		* 87,62	0,85
quadrática		* 5,98	0,96
cúbica		0,995	0,98
80KgN/ha Agul.	época	* 16,53	
linear		* 70,96	0,85
quadrática		* 8,99	0,95
cúbica		1,1	0,95
0KgN/ha IRGA	época	* 15,27	
linear		* 72,43	0,90
quadrática		* 3,44	0,97
cúbica		0,048	0,98
40KgN/haIRGA	época	* 5,92	
linear		* 10,12	0,94
quadrática		* 8,10	0,99
cúbica		* 8,27	0,99
80KgN/haIRGA	época	* 5,75	
linear		* 27,37	0,89
quadrática		1,07	0,93
cúbica		1,27	0,97

Obs.: * e ** significativos aos níveis de 5 e 1 %, respectivamente, de acordo com o teste F.

Tabela 7.4 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para massa seca total (Wt)

W.t.		significância	r ²
0KgN/ha Agul.	época	* 12,58	
linear		* 59,46	0,94
quadrática		0,629	0,95
cúbica		1,2	0,97
40KgN/ha Agul.	época	* 8,83	
linear		* 42,63	0,97
quadrática		0,97	0,99
cúbica		0,062	0,99
80KgN/ha Agul.	época	* 11,43	
linear		* 47,63	0,833
quadrática		1,64	0,86
cúbica		* 6,35	0,97
0KgN/ha IRGA	época	* 2,64	
linear		*12,47	0,94
quadrática		0,022	0,94
cúbica		* 8,18	0,95
40KgN/ha IRGA	época	* 8,83	
linear		* 42,97	0,73
quadrática		0,97	0,73
cúbica		0,062	0,79
80KgN/ha IRGA	época	* 11,7	
linear		* 53,13	0,9
quadrática		0,95	0,92
cúbica		1,29	0,94

Obs.: * e ** significativos aos níveis de 5 e 1 %, respectivamente, de acordo com o teste F.

Tabela 7.5 - Ajuste de curvas pelo método dos polinômios ortogonais para Índice de Área Foliar (IAF)

IAF		significância	r ²
0KgN/ha Agul.	época	1,72	
linear		*5,44	0,63
quadrática		1,15	0,76
cúbica		0,302	0,63
40KgN/ha Agul.	época	1,85	
linear		*5,478	0,59
quadrática		0,697	0,74
cúbica		0,024	0,74
80KgN/ha Agul.	época	*5,92	
linear		*10,12	0,35
quadrática		*8,10	0,62
cúbica		*8,27	0,9
0KgN/ha IRGA	época	0,369	
linear		1,457	0,78
quadrática		0,0001	0,78
cúbica		0,200	0,89
40KgN/haIRGA	época	1,768	
linear		1,16	0,132
quadrática		2,17	0,378
cúbica		1,00	0,487
80KgN/haIRGA	época	0,819	
linear		1,73	0,42
quadrática		1,23	0,72
cúbica		0,89	0,94

Obs.: * e ** significativos aos níveis de 5 e 1 %, respectivamente, de acordo com o teste F.

8 - GLOSSÁRIO

Representação:		Unidade:
Alt.	Altura	(m)
Af	Área foliar	(m ²)
B	Coeficiente do teste de Bartlett	
% C V	Coeficiente de variação	
DAP	Dias após o plantio	(dias)
IAF	Índice de área foliar	
N. perf	Número de perfis por m ²	(perf. /m ²)
Prod.	Produção final (kg/ha)	
R ²	Coeficiente de determinação da regressão	
TAL	Taxa de assimilação líquida 1)	(g . m ⁻² _{folha} . dia ⁻¹)

TCC	Taxa de Crescimento da cultura	$(g \cdot m^{-2}_{\text{solo}} \cdot \text{dia}^{-1})$
Wc	Massa seca de colmo	(g/m^2)
Wf	Massa seca de folha	(g/m^2)
Wp	Massa seca de panícula	(g/m^2)
Wt	Massa seca total	(g/m^2)
%Wc/Wt	Relação percentual da distribuição de massa seca de colmo	
% Wf/Wt	Relação percentual da distribuição de massa seca de folha	
% Wp/Wt	Relação percentual da distribuição de massa seca de panícula	