

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

**CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA DA RESPOSTA
À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
DUAS CULTIVARES DE ARROZ**

EVERALDO ZONTA

Sob a orientação do Professor:

ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO

*Tese 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

**CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA DA RESPOSTA
À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM A
DUAS CULTIVARES DE ARROZ**

EVERALDO ZONTA

Aprovada em: 11 de julho de 1996.

Dr. Roberto Oscar Pereyra Rossiello
Prof. UFRRJ.
Dr. Manlio Silvestre Fernandes
Prof. UFRRJ.
Dr. Jorge Jacob Neto
Prof. UFRRJ.

“Fazer um céu com pouco, a gente faz.
Basta uma estrela, uma estrela e nada mais.
Para ter nas mãos o mundo, basta uma ilusão.
Um grão de areia é o mundo em nossa mão.
Sonhar é dar a vida nova cor.
Dar gosto bom às lágrimas da dor.
O sol pode apagar, o mar perder a voz.
Mas nunca morre um sonho bom dentro de nós.”

Mario Lago

Dedico
A Evânia
e aos
Meus Pais

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À "Rural" pela minha formação profissional e de vida.

Ao amigo e professor, Roberto Rossiello, pela orientação, carinho e apoio sempre dispendados, que muito colaboraram para o meu crescimento científico e pessoal.

Aos professores Manlio Fernandes e Jorge Jacob Neto pela participação da banca de defesa de tese.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação, na pessoa do professor Gabriel de A. Santos, pelo apoio em todos os momentos, ao Nilson e ao 'Nique' pelo convívio alegre.

Aos professores do Curso, pelos ensinamentos recebidos.

Aos funcionários do Depto de Solos, pela cooperação.

Ao professor Adelson, sempre disposto à auxiliar no aprimoramento dos trabalhos e pela troca de opiniões. Ao Marcel, com o qual dividi o projeto que culminou neste trabalho.

À Flávio Camargo pelos trabalhos juntos realizados e pelos últimos ajústes de curvas.

Aos colegas e amigos do Curso pela vivência dentro e fora da sala de aula, e que tornaram mais suave este caminho.

Aos Eng. Agrônomos Délcio Sandi e Fábio Pacheco pela ajuda integralmente dispensada.

Aos estudantes de Agronomia: Gláucio e Mônica, que auxiliaram na condução e análise do material experimental.

A todos que todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

BIOGRAFIA

Everaldo Zonta, nascido em Seara, SC, é Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Concórdia. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1988, onde obteve os Títulos de Engenheiro Agrônomo e Licenciado em Ciências Agrícolas até 1993. É bolsista do CNPq deste 1990, inicialmente no Instituto de Educação da UFRRJ, onde desenvolveu pesquisa da Área de Formação do Técnico em Agropecuária e a partir de 1991, no Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, na Área de Ecofisiologia.

Aprovado em concursos públicos para professor substituto da UFRRJ, nas Áreas de Solos e Informática em 1994 e 1995 respectivamente. Aprovado também para o cargo de Pesquisador I em Fitotecnia para o CNPS/EMBRAPA em 1995.

Ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRRJ, no nível de Mestrado, concluindo-o em 1996.

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. O arroz e os níveis de produção atual e potencial	7
2.2. Melhoramento vegetal e produtividade.....	12
2.3. Crescimento e desenvolvimento do arroz.....	16
2.4. Efeitos do N sobre crescimento e desenvolvimento fásico	18
2.5. Uma nota sobre nomenclatura	30
3. MATERIAL & MÉTODOS	31
3.1. Cultivares	32
3.2. Época de Coletas	35
3.3. Doses de N.....	35
3.4. Solo	36
3.5. Condução do Experimento	38
3.6. Condições Ambientais.....	39

3.7. Coleta do material experimental.....	43
3.7.1. Determinações de massa.....	43
3.7.2. Determinação de Área Foliar e Área Radicular	44
3.7.3. Parâmetros de produção	46
3.7.4. Determinação analítica de N	46
3.8. Aspectos Estatísticos.....	47
3.8.1. Teste para heterocedastia das variâncias	48
3.9. Ajuste dos modelos para a análise de crescimento	50
3.9.1. Funções ajustadas e escolha dos modelos.....	51
4. RESULTADOS & DISCUSSÃO.....	53
4.1. Massa seca (W_T).....	53
4.1.1. Massa seca de folha verde (W_{FV})	57
4.1.2. Massa seca de folha senescente (W_{FS}).....	59
4.1.3. Massa seca de colmo + bainha (W_C)	62
4.1.4. Massa seca de raiz (W_R).....	64
4.1.5. Massa seca da parte aérea (W_{PA}) e Relação Raiz:Parte aérea (Ra:Pa)	65
4.1.6. Área foliar Verde (A_F) e área foliar específica (AFE).....	69
4.1.7. Área radicular.....	76
4.1.8. Taxa de assimilação líquida (tal) e taxa de crescimento absoluto (tca)	80
4.1.9. Número de perfilhos (NP) e altura total (HT).....	86
4.1.10. partição dos componentes de massa seca total	88
4.2. Parâmetros de produção	94
4.2.1. Parâmetros de produção em função de cultivar	94

4.2.2. Parâmetros de produção em função do nível de N.....	98
4.3. Teores e conteúdos de N	99
4.3.1. Teores (T_{FV}) e conteúdo (U_{FV}) de N nas folhas verdes.....	103
4.3.2. Teores (T_{FS}) e conteúdo (U_{FS}) de N em folhas senescentes.....	105
4.3.3. Teores (T_C) e conteúdo (U_C) de N em colmo+bainha.....	106
4.3.4. Teores (T_R) e conteúdo (U_R) de N na raiz	107
4.3.5. Teores, conteúdo de N e proteína bruta nos grãos	108
4.3.6. Influxos radiculares de N.....	110
4.3.7. Partição do conteúdo de N.....	116
4.4. Correlação entre variações sazonais de massa seca e conteúdo de N e produção de grãos	121
5. CONCLUSÕES.....	137
6. BIBLIOGRAFIA.....	142
7. GLOSSÁRIO.....	162
ANEXOS.....	165

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1.1. Diferenças de níveis de produção obtidos pela experimentação agronômica, e os potenciais e atuais do agricultor e os fatores limitantes envolvidos. As estimativas percentuais são de Fageria (1984)..... 8
- Figura 2.2.1. Resposta de produção à adubação nitrogenada de duas cultivares de arroz nas Filipinas (médias de 3 anos; Vitti et al, 1984). 14
- Figura 2.2.2. Resposta à adubação nitrogenada na relação grão:palha de duas cultivares de arroz (Vitti et al, 1984). 14
- Figura 2.3.1. Ciclo fisiológico normalizado para arroz. Em vermelho, os eventos que marcam as principais fases (azul)..... 17
- Figura 2.4.1. Padrão de perfilhamento das cultivares Comum Branco e IAC 4440 durante o período de 25-95 Dias Após Plantio

	(DAP), sob condições de cultura hidropônica (França, 1995).....	24
Figura 3.1.	Vista parcial do arranjo experimental no casa de vegetação. Os tratamentos estão dispostos de forma casualizada sobre as bancadas.	32
Figura 3.1.1.	Diferenças em número de perfilhos entre as cultivares estudadas.	33
Figura 3.2.2.	Desenvolvimento das parte aérea das cultivares IAC 4440 e Comum Branco. a) 20 DAP e b) 80 DAP.....	34
Figura 3.6.1.	Temperaturas diárias no interior da casa de vegetação, durante o período experimental.	40
Figura 3.6.2.	Umidade Relativa do Ar diária no interior da casa de vegetação, durante o período experimental.....	41
Figura 3.6.3.	Comportamento médio da Radiação Fotossinteticamente Ativa dentro da casa de vegetação, em três horários do dia. Barra verticais representam o desvio padrão dos 135 dias de duração do ciclo dos cultivares.....	42
Figura 3.8.1.1.	Valores de B para os dados originais e transformados em \ln natural para os parâmetros estudados, da 3 ^a à 7 ^a coletas.....	49
Figura 3.8.1.2.	Valores de B para os dados originais e transformados em \ln natural para os parâmetros estudados da 1 ^a e 2 ^a coletas.....	50
Figura 4.1.	Curvas de acumulação de WT para IAC 4440 e Comum Branco, para todo o ciclo da cultura.	55
Figura 4.2.	Curvas de acúmulo de WT por grupo de resposta a N, em função de DAP. ●: WT para o período vegetativo inicial,	

	anterior a fertilização nitrogenada.....	56
Figura 4.3.	Superfície de resposta para a interação DAP ´ dose para o período de 60 a 135 DAP. Para o período de 60 a 100 DAP, $WT (g \text{ planta}^{-1}) = 4,85 + 1,833N + 0,505 \text{ DAP}$; $R^2=0,69^*$	57
Figura 4.1.1.1.	Efeito interativo DAP ´ dose de N para massa seca de folha verde no período 60 - 135 DAP.....	59
Figura 4.1.5.1.	Resposta média das cultivares e das épocas em ganho de massa seca de parte aérea, em função da aplicação de nitrogênio.....	67
Figura 4.1.5.2.	Efeito das doses de N na relação raiz:parte aérea (Ra:Pa) para o período de 60-135 DAP.....	69
Figura 4.1.6.1.	Área foliar das cultivares IAC 4440 e Comum Branco ajustadas por regressão, para os 135 DAP.	71
Figura 4.1.6.1.1.	Taxa de Expansão da Área Foliar (TEAF) das cultivares IAC 4440 e Comum Branco.	72
Figura 4.1.6.2.	Área foliar das plantas para 20-135 DAP. Foi ajustada uma curva para todas as doses de N, já que este fator não teve efeito significativo.	73
Figura 4.1.6.3.	Área Foliar Específica (AFE) e Massa Específica da Folha (WEF) em resposta a fertilização nitrogenada. Pontos experimentais seguidos da mesma letra não resultam significativos pelo teste de Tukey ($P0,05$).....	76
Figura 4.1.7.1.	Área radicular das cultivares IAC 4440 e Comum Branco ajustadas por um modelo polinomial exponencial de 3°	

grau.....	77
Figura 4.1.7.2. Perfilhamento observado nas cultivares estudadas, aos 147 DAP (12 dias após colheita). A idade aproximada dos perfilhos é de 25 DAP, com início aos 120 DAP.....	78
Figura 4.1.7.3. Área radicular em função dos níveis de resposta à dose de N, ajustadas por um modelo polinomial exponencial de 3º grau.....	80
Figura 4.1.8.1. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA). a) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco; b) para os grupos de resposta à fertilização nitrogenada.	81
Figura 4.1.8.2. Taxa de assimilação líquida (TAL) das cultivares IAC 4440 e Comum Branco para todo o período de 20-135 DAP.....	82
Figura 4.1.8.3. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) em função de AF para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco e respectivos DAP até os momentos de máxima de AF.	83
Figura 4.1.8.4. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) em função de AF para os grupos de resposta de fertilização nitrogenada e respectivos DAP até os momentos de máxima AF.....	85
Figura 4.1.9.1. Número de perfilhos das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP. As setas indicam (a) data do máximo perfilhamento efetivo e (b) data de estabelecimento dos perfilhos viáveis.....	87
Figura 4.3.1. Acumulação de N pelas cultivares IAC 4440 e Comum Branco durante todo o ciclo das plantas.	101

- Figura 4.3.2. Curvas de acúmulo de Nitrogênio (UT) por grupo de resposta a N, em função de DAP. ●: UT para o período vegetativo inicial, anterior a fertilização nitrogenada.....102
- Figura 4.3.6.1. Influxo líquido de N (IN) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco entre 20 e 135 DAP.....112
- Figura 4.3.6.2. Taxa de Acumulação Absoluta (TAA) de N para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco para 20-135 DAP.....113
- Figura 4.3.6.3. Influxo líquido de N (IN) para as doses de N 0-4 e 6-8 g N m⁻² entre 20 e 135 DAP.115
- Figura 4.3.7.1. Tendências da variação sazonal do conteúdo de N (UN) nas diferentes frações da cultivar IAC 4440, entre os 20 e 135 DAP.117
- Figura 4.3.7.2. Tendências da variação sazonal do conteúdo de N (UN) nas diferentes frações da cultivar Comum Branco, entre os 20 e 135 DAP.....118
- Figura 4.4.1. Relação entre WPN e UPN para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco. Linhas contínuas para WPN e linhas segmentadas para UPN.....123
- Figura 4.4.2. Produção relativa em função do nível de N para cultivares de arroz de sequeiro e irrigado. A produção relativa (PR) foi calculada para os dados da Tabela 2.1.1. $PR = Y/Y_m$, onde Y=produção à dado nível de N e Y_m=produção máxima. A linha pontilhada indica a PR=0,9.133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1.1.	Respostas à aplicação de N em função de cultivar, época, ano agrícola, local, manejo e solo.....	10
Tabela 3.1.1.	Algumas características contrastantes das cultivares em estudo.	33
Tabela 3.2.1.	Coletas realizadas, idade da planta e eventos fisiológicos envolvidos.	35
Tabela 3.4.1.	Algumas características químicas e físicas do solo utilizado como substrato e níveis críticos para macro e micronutrientes.	37
Tabela 3.6.1.	Flutuação das temperaturas das temperaturas máximas (Tmax), mínimas (Tmin) e médias (Tmed), no interior da casa de vegetação.	40
Tabela 4.1.	Variação da massa seca total, em função das épocas de	

	colheita para as cultivares estudadas.....	54
Tabela 4.1.1.1.	Massa seca do folha fotossinteticamente ativa das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.....	58
Tabela 4.1.2.1.	Massa seca do folha senescente das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.....	60
Tabela 4.1.2.2.	Varição da fração massa de folha verde (W_{FV}):massa foliar total (W_{FT}), durante o período antese-maturação (100-135 DAP).....	61
Tabela 4.1.2.3.	Interação dose \times DAP para massa seca de folha senescente ⁽¹⁾	62
Tabela 4.1.3.1.	Massa seca do colmo + bainha das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.	63
Tabela 4.1.3.2.	Interação dose \times DAP para massa seca colmo + bainha ⁽¹⁾	64
Tabela 4.1.4.1.	Massa seca de raiz ⁽¹⁾ para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.	65
Tabela 4.1.5.1.	Massa seca de parte aérea ⁽¹⁾ para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.	66
Tabela 4.1.5.2.	Relação raiz:parte aérea (Ra:Pa) das cultivares em estudo para o período dos 60 a 135 DAP.....	68
Tabela 4.1.6.1.	Área foliar das cultivares IAC 4440 e Comum Branco e sua interação com a época (DAP).....	70
Tabela 4.1.6.2.	Área foliar específica das cultivares IAC 4440 e Comum Branco e sua interação com a época.	75
Tabela 4.1.10.1.	Coeficientes de partição W_i / W_T para as cultivares IAC	

4440 e Comum Branco.....	88
Tabela 4.1.10.2. Produção de massa seca total (W_T), folhas fotossinteticamente ativas (W_{FV}), colmo+bainha (W_C), raiz (W_R) e panícula (W_{PN}) entre a floração (100 DAP) e maturação (135 DAP) nas duas cultivares.....	90
Tabela 4.2.1.1. Massa seca de panículas (W_{PN}), de sementes viáveis (W_{SV}) e de sementes estéreis (W_{SE}).	95
Tabela 4.2.1.2. Número de sementes viáveis (N°_{SV}), sementes estéreis (N°_{SE}), percentagem de sementes estéreis ($\%_{SE}$), número de panículas (N°_{PN}), número de sementes por panícula (N°_{SPN}), número de sementes viáveis por panícula (N°_{SVPN}) e número de sementes estéreis por panícula (N°_{SEPN}), para as duas cultivares em estudo.....	95
Tabela 4.2.1.3. Massa seca média por panícula (W_{MPN}) e massa seca média de semente viável (W_{MSV}) para as duas cultivares em estudo.....	96
Tabela 4.2.1.4. Coeficiente linear, correlação (r), significância (p) e coeficiente de determinação (R^2) acumulado, para os componentes de produção, determinados por regressão múltipla sequencial.....	97
Tabela 4.2.2.1. Número de panículas (N°_{PN}), número de sementes viáveis (N°_{SV}) e percentagem de sementes estéreis ($\%_{SE}$) em resposta a adubação nitrogenada.	98
Tabela 4.3.1. Variação do conteúdo total (U_T) de Nitrogênio, em função das épocas de colheita para as cultivares	

	estudadas.	100
Tabela 4.3.1.1.	Teores (T_{FV}) e conteúdo (U_{FV}) de N na folha verde das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.....	104
Tabela 4.3.2.1.	Teores (T_{FS}) e conteúdo (U_{FS}) de N na folha senescente das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.....	105
Tabela 4.3.3.1.	Teores (T_C) e conteúdo (U_C) de N no colmo + bainha das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.....	106
Tabela 4.3.4.1.	Teores (T_R) e conteúdo (U_R) de N na raiz das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.....	108
Tabela 4.3.5.1.	a)Teores de N (T_{PN}), b)Proteína bruta (PG) e c)Conteúdo por grão (U_G) em grãos descascados; d)Conteúdo de N na panícula (U_{PN} , grão com casca) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco e dose de N.	109
Tabela 4.3.7.1.	Coeficientes de partição U / U_T para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco.....	119
Tabela 4.3.7.2.	Acúmulo de N (U) nos diferentes compartimentos das cultivares IAC 4440 e Comum Branco entre a floração e maturação.	121
Tabela 4.4.1.	Índice de Colheita de grãos (IC) e Índice de Colheita de N (ICN) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco e doses de N.	129
ANEXO 1.	Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros	

	estudados, significância e coeficiente de variação para o período de 60 a 135 DAP.	166
ANEXO 2.	Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados, significância e coeficiente de variação para os parâmetros de produção.....	169
ANEXO 3.	Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados, significância e coeficiente de variação para o período de 20 a 40 DAP.	172
ANEXO 4.	Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) na folha verde (T_{FV} e U_{FV} respectivamente).	175
ANEXO 5.	Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) na folha senescente (T_{FS} e U_{FS} respectivamente).	176
ANEXO 6.	Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) no colmo + bainha (T_C e U_C respectivamente).	177
ANEXO 7.	Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) na raiz (T_R e U_R respectivamente).....	178
ANEXO 8.	Valores interativos de DAP \times dose de N, para conteúdo de N total (U_T).....	179
ANEXO 9.	Matriz de correlação (r) entre massa seca total e seus componentes e o conteúdo total de N e seus componentes, para as duas cultivares ⁽¹⁾	180

RESUMO

Foi instalado um experimento com o objetivo de estudar o padrão sazonal de distribuição de massa seca e nitrogênio (N) nas partes vegetativas e reprodutivas de duas cultivares de arroz de arquitetura aérea contrastante, em função da aplicação de N no estágio de máximo perfilhamento.

Usou-se como substrato terra proveniente do horizonte Ap de um solo Podzólico Vermelho Amarelo. As cultivares Comum Branco (de sequeiro) e IAC 4440 (irrigada) foram combinadas com cinco níveis de aplicação de N (na forma de Sulfato de Amônia): 0, 2, 4, 6 e 8 g N m⁻², no estágio de máximo perfilhamento, e cultivadas em potes dispostos de forma inteiramente casualizada, em casa de vegetação. Durante o ciclo das plantas foram realizadas sete coletas sucessivas, de forma a acompanhar o desenvolvimento fásico como dias após plantio (DAP): início do perfilhamento, perfilhamento máximo, diferenciação da panícula, alongação de colmos, floração, grão leitoso/pastoso e maturação fisiológica do grão, o que correspondeu à coletas aos 20, 40, 60, 80, 100, 115 e 135 DAP respectivamente.

Em cada coletas foram determinados a massa seca de: folhas verdes e senescentes, colmos e bainhas e raízes. A área foliar verde e área

radicular foram também determinadas. Os teores de N foram determinados em todas estas frações, por técnica de micro Kjeldhal. Na coleta final foram avaliados os componentes da produção: massa e número de panícula, grão viável e estéril, e seus correspondentes teores de N.

Os dados experimentais foram combinados para finalidade de análise de variância, na forma de um fatorial cultivar \times dose \times DAP.

Funções primárias foram ajustadas a partir dos dados de massa seca e conteúdo total de N, área foliar e radicular, das quais foram derivadas as taxas de crescimento e de acúmulo, para fins de obtenção das taxas de assimilação líquida e influxos de N.

Concluiu-se que durante o período anterior à floração, não existiram diferenças em acúmulo de matéria seca total entre as cultivares. Houve maior massa seca alocada em colmos e bainhas, e menor peso de massa de folhas senescentes em IAC 4440. A partição de massa seca em favor de raízes resultou similar em ambas as cultivares. A cultivar IAC 4440 estabeleceu uma superioridade produtiva potencial em função de seu maior número de perfilhos. Como consequência, manteve maior duração de área foliar fotossinteticamente ativa, resultando em maior taxa de acúmulo diário de matéria seca e área foliar. Com relação aos padrões de acúmulo de N nas diferentes frações da biomassa, foi observado a mesma tendência que a verificada para acúmulo de massa seca. Porém, a taxa máxima de máximo acúmulo de N, aconteceu em ambas as cultivar, antes do que os máximos de acúmulo de matéria seca. Os teores de N foliares em ambas as cultivares foram similares até a floração. IAC 4440 teve maior área foliar específica no período, sugerindo maior diluição de N foliar. Quando comparadas à igualdade de área

foliar, a taxa de assimilação líquida foi superior em IAC 4440, o que indica que a sobreprodução de área, prejudicou o potencial fotossintético nesta cultivar, em maior grau que em Comum Branco.

No período pós-floração, o padrão de partição de matéria seca ao grão, o qual foi rigidamente fixado na pré-floração, manifestou-se em uma remobilização sustentada de fotoassimilados e N à panícula em IAC 4440, evidenciado pela redução de massa seca e conteúdo de N de colmos e bainhas durante os primeiros 15 dias pós-floração e contribuição adicional de N e C a partir de acentuada senescência foliar no período de maturação. Houve detenção da remobilização de fotoassimilados e de N à panícula em Comum Branco, após os 15 dias pós-floração, com conseqüente acúmulo de matéria seca e N em colmos e bainhas foliares. O desenvolvimento de um dreno secundário originado em neo-perfilhamento pós-floração, pode ter subtraído fotossintatos, de outra forma, passíveis de serem aplicados no enchimento da panícula em crescimento.

Um maior peso de grãos por planta em IAC 4440 foi explicado por maior número de panículas e maior número de sementes viáveis, e menores teores de proteína bruta, em relação a Comum Branco.

Com relação aos padrões de distribuição de massa seca e nitrogênio durante o ciclo das cultivares, os efeitos decorrentes da aplicação única de N por ocasião do máximo perfilhamento foram diluídos durante o desenvolvimento das plantas, de forma que tiveram efeito muito reduzido sobre a dinâmica de retranslocação de C e N pós-floração. Esse efeito de diluição foi responsável pela não significação da interação de praticamente nenhum dos parâmetros primários descritivos de crescimento das cultivares.

Também não foi notado efeito do N no desenvolvimento fásico.

Os maiores níveis de N aplicados, favoreceram um aumento da assimilação líquida devido à um aumento no teor de N foliar. Aos maiores níveis de aplicação de N, o peso de massa foliar aumentou, sem promoção de área, o que foi evidenciado pelo aumento do seu peso específico. Entretanto, o teor de N não reduziu significativamente a senescência foliar;

A aplicação de N não afetou significativamente a produção, incidindo apenas num aumento da percentagem de esterilidade das espiguetas, que contrabalanceou o ganho de uma panícula por planta.

Como resultado global do trabalho, foi concluído que os padrões de produção de matéria seca e de remobilização de C e N ao grão, estão regulados geneticamente, mostrando especificidade de cultivar. Portanto, a fertilização nitrogenada é eficiente apenas no sentido de assegurar altas taxas de atividade fisiológica das panículas e demais órgãos relacionados ao enchimento de grãos, mas não na mudança do padrão em sí.

1. INTRODUÇÃO

Em arroz, como em qualquer espécie cultivada, o rendimento final pode ser expresso pelo produto de sua produção total de matéria seca ponderada pelo seu índice de colheita, isto é, a fração da matéria seca total aproveitável com finalidade econômica. Conquanto essa expressão indique resultado final de forma simples, o rendimento está determinado por uma sucessão complexa de processos, tais como crescimento vegetativo, formação e crescimento dos grãos e seu enchimento através de produtos fotossintéticos previamente acumulados durante a fase vegetativa (Machado & Silveira, 1990).

Entre as práticas culturais, irrigação e tratamentos fitossanitários são as que, pela ordem, produzem maiores benefícios em termos de produtividade. Com relação à adubação, a cultura do arroz mostra uma resposta acentuada à aplicação de nitrogênio (N), embora a intensidade da mesma esteja condicionada à época de aplicação (Murata, 1969). Por exemplo, os rendimentos de grãos, dos cultivares lançados pelo IRRI nas Filipinas,

durante a década de 60, triplicaram os obtidos com as cultivares tradicionais de arroz tropical. A característica mais importante que possibilitou atingir esses altos rendimentos é a sua responsividade ao fertilizante nitrogenado (Dingkuhn *et al*, 1990).

No Brasil, o arroz é cultivado predominantemente em regime de sequeiro, de onde provém aproximadamente 43% do total de arroz produzido no país (Fageria *et al*, 1995). Este é cultivado predominantemente em Oxissolos e Alfissolos altamente intemperizados e submetidos a deficiência hídrica, devido à variabilidade da distribuição pluviométrica na estação de crescimento (Barbosa F^o, 1978).

Do ponto de vista nutricional, a deficiência de P, reflexo do alto poder de fixação do elemento por esses solos, é o principal fator limitante ao rendimento. Pela ordem, seguem-se deficiências de N, K, Ca, Mg e Zn, além de altos níveis de Al trocável nos perfis (Fageria & Barbosa F^o, 1981; Camargo *et al*, 1987). Conseqüentemente as produtividades são baixas, e a pesquisa tem enfatizado a seleção de cultivares com maior eficiência de uso de nutrientes, aliada à tolerância a níveis tóxicos de Al, de forma a minimizar custos com fertilização e corretivos calcáreos (Furlani *et al*, 1986, para N; Fageria & Moraes, 1987 para Ca e Mg; Furlani & Hanna, 1984, para Al; Fageria & Barbosa, 1982 e Fageria *et al*, 1988 para P).

O arroz cultivado sob condições de alagamento do solo, ocupa uma menor área plantada no país, porém mostra níveis superiores de produtividade como reflexo de uma maior capacidade genotípica para acumular matéria seca e nutrientes na sua fitomassa. Nessas condições, a limitação principal à expressão de seu potencial produtivo, é o N (Fageria *et al*,

1981).

A pesquisa sobre diversidade genotípica, para limitações nutricionais em arroz, iniciou-se na Área de Nutrição Mineral de Plantas do Depto de Solos da UFRRJ, com uma série de experimentos conduzidos em casa de vegetação, onde cinquenta genótipos de arroz de sequeiro, coletados no Estado do Maranhão foram testados por tolerância ao Al (Mendonça, 1991). Nestes experimentos, conduzidos em solução nutritiva, o comportamento desse material foi contrastado com germoplasmas do IAC, de tolerância diferencial conhecida (Furlani & Hanna, 1984). Estas últimas, incluíram cultivares tolerantes de sequeiro (IAC 47 e 165), e duas cultivares de alta responsividade ao N, adaptadas a alagamento e não tolerantes (IAC 899 e 4440). Em princípio, material genético oriundo de regiões com limitações edáficas e climáticas típicas do ambiente tropical pode ser fonte de germoplasma não só para tolerância ao Al, mas também eficientes na absorção e/ou utilização de limitado substrato nutricional, característico dos solos da região (Clark & Duncan, 1991). Em particular, esses genótipos podem apresentar maior eficiência de uso do N por não terem sido melhoradas sob altos níveis de N (Clarkson, 1980).

Subsequentemente, parte do material estudado por Mendonça (1991), foi reclassificado em função de seu teor de proteína bruta no grão e comparado com outros quatro genótipos do IAC, melhorados para alta responsividade a N, no relativo a sua eficiência de absorção e utilização de N (Ferraz Jr., 1993), segundo os critérios de análise de Moll *et al* (1992). A partir desses resultados, ficou evidente que alguns dos genótipos tradicionais tiveram eficiência de uso de N para produção de grãos e proteína similares aos observados nos genótipos melhorados.

Em geral, as altas eficiências de uso de N para produzir grãos e proteína bruta nas cultivares melhoradas, resultaram mais associadas à alta eficiência de absorção, enquanto que as cultivares tradicionais foram mais associadas à eficiência de utilização do N absorvido. Nesse trabalho, também foi avaliado o efeito da suplementação de N pós-antese, resultando dessa prática, um aumento o teor de proteína do grão, sem afetar a produção de grãos. Evidências adicionais do benefício potencial dessa prática foi fornecida por trabalho subsequente de Souza e colaboradores (Fernandes & Souza, 1993; Souza *et al*, 1993; Souza, 1995).

A eficiência na absorção utilização do N para produção de grãos e proteína supõe que aqueles processos associados com a absorção, transporte e redistribuição de N, operem eficazmente (Moll *et al*, 1992), isto é, que seja maximizada a absorção do N-mineral, e que o mesmo, após assimilação, sofra uma partição otimizada entre os vários drenos vegetativos e reprodutivos. O delicado balanço entre expansão, fotossíntese, respiração e senescência foliar, por um lado, e translocação do estoque de N vegetativo à panícula, pode ser deslocado uma ou outra direção por pequenas variações de taxas e épocas de aplicação de N pré e pós-antese.

Tornou-se claro que, um avanço na compreensão dos componentes da eficiência global de uso de N pelo arroz, deveria passar por uma análise da distribuição sequencial da produção de matéria seca e acúmulo de N durante a fase vegetativa e reprodutiva. Foram escolhidos para esta aproximação duas cultivares de características conhecidas e contrastantes em termos de adaptação ecofisiológica: Comum Branco, cultivar regional do Estado do Maranhão (Coradin & Fonseca, 1982) e IAC 4440, genótipo

adaptado ao cultivo irrigado, lançado em 1982, pelo Instituto Agrônomo de Campinas (Usberti F. *Et al*, 1986). França (1995) estudou essas cultivares, avaliando os padrões de crescimento e desenvolvimento de raízes e parte aérea, e das taxas de absorção e acúmulo de N durante a fase vegetativa de crescimento. Esse experimento foi conduzido em solução nutritiva, com um suprimento contínuo e elevado do N (60 mg L^{-1}). O presente trabalho, representa uma continuação da temática resenhada acima, onde as respostas das mesmas cultivares são estudadas em solo, com um suprimento limitado de N do fertilizante, e para tal, foram planejados dois objetivos globais:

1. Estudar o padrão sazonal de distribuição de massa seca e nitrogênio nas porções vegetativas e reprodutivas de duas cultivares de arroz de arquitetura aérea contrastante;
2. Avaliar qual o efeito de uma aplicação localizada de níveis crescentes de N, sobre a produção e redistribuição de matéria seca e N no desenvolvimento fásico, e na produção final.

Em particular esses objetivos implicam em:

- a) Determinação da distribuição de massa seca de raízes, folhas verdes e senescentes durante todo o ciclo ontogenético da planta, em função dos cultivares e níveis de N aplicado;
- b) Estimativa das taxas de crescimento das várias frações e da assimilação líquida foliar;
- c) Determinação dos influxos radiculares de N;

d) Análise da contribuição dos vários componentes à expressão da produção final em função de cultivares e níveis de N.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O ARROZ E OS NÍVEIS DE PRODUÇÃO ATUAL E POTENCIAL

O Arroz é considerado uma espécie semi-aquática, podendo viver tanto em clima tropical como semitropical, sendo cultivado desde 53° de Latitude N a 40° S. As cultivares de arroz das espécies cultivadas (*Oryza sativa* e *Oryza glaberrima*), podem crescer tanto em solos inundados como em solos bem drenados, suportando as mais diversas condições geográficas, climáticas, edáficas e bióticas (Fageria *et al*, 1991).

A produtividade atual no Brasil, obtida pelos agricultores, em geral é baixa, quando comparada a obtida em campos experimentais (Figura 2.1.1). No Brasil, foram plantados na safra agrícola 95/96, 4,4 milhões de hectares de arroz com rendimento médio de 2,56 Mg ha⁻¹ enquanto que em 1985, o arroz foi cultivado em 5,4 milhões de hectares, com um rendimento

médio de $1,68 \text{ Mg ha}^{-1}$. Estes dados assinalam uma tendência de aumento nos rendimentos unitários, associado a uma redução na área de plantio. Comparando-se as duas últimas safras, registrou-se, no último ano, uma redução de 0,78% de área plantada e um aumento de 7,86% na produtividade (IBGE, 1996). Por outro lado, no Estado do Rio Grande do Sul, onde concentra-se 15% da área plantada e 50% do volume físico da produção nacional, a produtividade média do arroz irrigado situa-se em torno de $5,0\text{-}5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (EMBRAPA, 1995).

De uma forma geral, para qualquer espécie cultivada, a produtividade é uma função de ambiente (E), genótipo (G) da planta, manejo (M) e fatores sócio-econômicos (S).

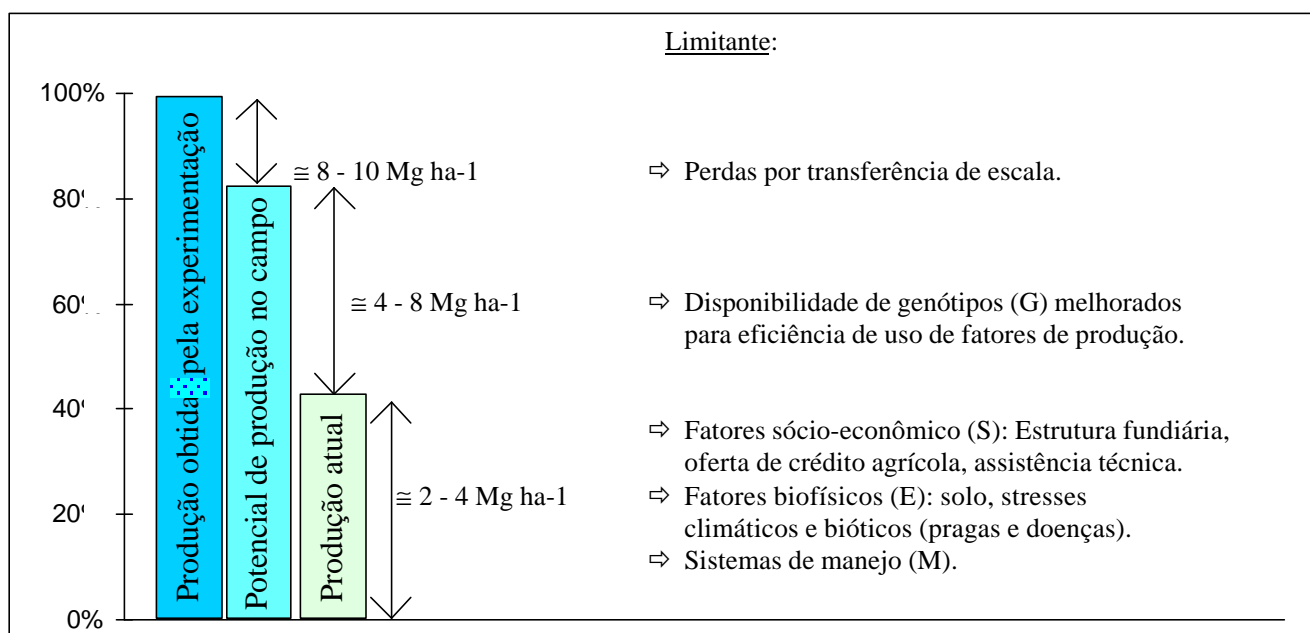


Figura 2.1.1. Diferenças de níveis de produção obtidos pela experimentação agrônômica, e os potenciais e atuais do agricultor e os fatores limitantes envolvidos. As estimativas percentuais são de Fageria (1984).

Os estudos de fisiologia de produção se fazem necessários, visando um melhor entendimento das interrelações entre crescimento e produção e as condições ambientais vigentes. A partir desses estudos, podem surgir tecnologias capazes de duplicar os níveis de produção atual, atingindo os níveis potenciais de produção do agricultor (Figura 2.1.1), já que o crescimento e produção são resultados de uma resposta interativa das diferentes variedades para mudanças dinâmicas de clima, condições do solo, disponibilidade de água, nutrientes, competição com plantas invasoras, pragas e doenças e manejo (Groot & Spiertz, 1991). Esses fatores, determinam a produção de grãos, em uma cadeia complexa de eventos fisiológicos, que tem lugar definido na ontogenia das plantas, e a variação de uma delas pode influenciar toda a cadeia de eventos, e portanto a produtividade final (Murata & Matsushima, 1975).

O aumento de produtividade já verificado (IBGE, 1996) pode ser atribuído aos esforços dos centros de pesquisa quanto à melhoria de manejo e lançamento de novas variedades, por exemplo, as novas cultivares chamadas de “sequeiro favorecido” (Fageria *et al*, 1995). As melhorias no manejo, principalmente da adubação nitrogenada, aliado a variedades responsivas pode contribuir em muito para a redução da diferença entre a produção atual e a potencial do agricultor, expressa na extensa variabilidade de rendimento de grão encontrada em função do tipo de planta, clima, manejo e solo (Murata & Matsushima, 1975; Fageria, 1984; Fageria *et al*, 1991), como pode ser observada na Tabela 2.1.1.

Tabela 2.1.1. Respostas à aplicação de N em função de cultivar, época, ano agrícola, local, manejo e solo.

cultivar	Local	N aplicado (kg ha ⁻¹)											Observação	Referência		
		0	10	30	40	50	60	80	90	100	120	160				
		Produção de grãos (kg ha ⁻¹)														
"Colombiano"	Argentina	4087											5167		Uréia; Semeadura	Voss & Zini, 1993
"Colombiano"	Argentina	4087											6100		1/2 plantio 1/2 DPF	Voss & Zini, 1993
"Colombiano"	Argentina	4087											6200		DPF	Voss & Zini, 1993
"De abril"	Itaperuna	3135		2666				3740		3996				3901	Aluvial	Almeida <i>et al</i> , 1985
"De abril"	Natidade do Carangola	4600		4933				4910		5066				5244	---	Almeida <i>et al</i> , 1985
"De abril"	Pádua	4965		5460				3740		3296				3901	Gley pouco Húmico	Almeida <i>et al</i> , 1985
Araguaia	Goiania	2538	1913			3156									LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995.
CICA 4	Linhares	2403			2549			2717						3617	Safra 80/81	Fázio <i>et al</i> , 1983
CICA 4	Linhares	1152			1918			2362						2729	Safra 81/82	Fázio <i>et al</i> , 1983
CNA 6687	Goiania	3054	3155			3820									LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995
CNA 7286	Goiania	2398	2648			2866									LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995
CNA 7455	Goiania	2304	2913			3468									LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995
CNA 7467	Goiania	2624	3116			3452									LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995
EMPASC 105	Macaé							4125							Safra 88/91; 1º cultivo	Amorin Neto <i>et al</i> , 1993.
EMPASC 105	Macaé							5550							Safra 88/92; 1º + soca	Amorin Neto <i>et al</i> , 1993.
Folhas decumbentes		3961			3984			3125						2828	Sequeiro	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
Folhas eretas		7129			7773			8838						7031	Sequeiro	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
Guarani	Goiania	2898	3887			4343									LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995
IAC 435		4300		5300						5400					Irrigado/Uréia	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
IAC 435		4300		5300						4000					Irrigado/S. Amônio	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
IAC 435	Porciúncula	4351		4223				4444		4430				4820	Gley pouco Húmico	Almeida <i>et al</i> , 1985
IAC 4440	Cachoeiro do Itapemirim							4386							10 DAT; Plantio em dezembro; safra 87/88	Soares <i>et al</i> , 1995.
IAC 4440	Cachoeiro do Itapemirim							5567							10 DAT; Plantio em dezembro; safra 88/89	Soares <i>et al</i> , 1995
IAC 4440	Cachoeiro do Itapemirim							7366							10 DAT; Plantio em setembro; safra 87/88	Soares <i>et al</i> , 1995
IAC 4440	Cachoeiro do Itapemirim							6442							10 DAT; Plantio em setembro; safra 88/89	Soares <i>et al</i> , 1995
IAC 4440	São Paulo				5648										várzea	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
IAC 4440	São Paulo				5772										Inundado	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
IAC 47	Goiania	1400	1500	1590	1490		1495								1/3 plantio 2/3 DPF; S.A. Chuvas normais	Santos <i>et al</i> , 1986
IAC 47	Goiania	150	450	600	600		450								S.A. veranículo	Santos <i>et al</i> , 1986
IAC 899	São Paulo				4736										várzea	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
IAC 899	São Paulo				5717										Inundado	Fornasieri Fº e Fornasieri, 1993
INCA 4440	Macaé						4798								Safra 88/89; 1º cultivo	Amorin Neto <i>et al</i> , 1993
INCA 4440	Macaé						5885								Safra 88/90; 1º + soca	Amorin Neto <i>et al</i> , 1993
IPEACS 1322	Campos	4450		4453			5300		4950				5235		Orgânico	Almeida <i>et al</i> , 1985
IPEACS 1322	Italva	2583		2777			3240		3874				3954		Aluvial	Almeida <i>et al</i> , 1985
IR 64	Filipinas	5200		7000			8500		8900				9000		Safra 88; Uréia; Arroz Transplantado	Schnier <i>et al</i> , 1990
IR 64	Filipinas	3300							8200						Safra 87; Uréia; Arroz Transplantado	Schnier <i>et al</i> , 1990
IR 64	Filipinas	4200		6000			7700		8300				8900		Safra 88; Uréia; Arroz Semeado	Schnier <i>et al</i> , 1990
IR 64	Filipinas	3300								7900					Safra 87; Uréia; Arroz Semeado	Schnier <i>et al</i> , 1990
IR 661	Linhares	2656			3213			3556					4925		Safra 80/81	Fázio <i>et al</i> , 1983
IR 661	Linhares	1706			2545			3646					3250		Safra 81/82	Fázio <i>et al</i> , 1983
IR 841	Linhares	2333			2297			3397					3961		Safra 80/81	Fázio <i>et al</i> , 1983
IR 841	Linhares	1338			2467			3226					3122		Safra 81/82	Fázio <i>et al</i> , 1983
IR8	Filipinas	4750			5300			4800		4000	3650				Irrigado	Ramalho <i>et al</i> , 1989
IR8	Filipinas	6120			6500			7560		7950					Irrigado	Ramalho <i>et al</i> , 1989
IRGA 409	RS	4472		4780						4888					Uréia	Vitti <i>et al</i> , 1984
IRGA 410	Cachoeiro do Itapemirim						5341								10 DAT; Plantio em dezembro; safra 87/88	Soares <i>et al</i> , 1995

cultivar	Local	N aplicado (kg ha ⁻¹)										Observação	Referência		
		0	10	30	40	50	60	80	90	100	120			160	
		Produção de grãos (kg ha ⁻¹)													
IRGA 410	Cachoeiro do Itapemirim						3330							10 DAT; Plantio em dezembro; safra 88/89	Soares <i>et al</i> , 1995
IRGA 410	Cachoeiro do Itapemirim						6062							10 DAT; Plantio em setembro; safra 87/88	Soares <i>et al</i> , 1995
IRGA 410	Cachoeiro do Itapemirim						3299							10 DAT; Plantio em setembro; safra 88/89	Soares <i>et al</i> , 1995
IRGA 416	Cachoeirinha	5960		7510			7080		6600					Uréia; MP	Lopes, 1993
IRGA 416	Cachoeirinha	5960		6570			6650		7100					Uréia; DPF	Lopes, 1993
IRGA 416	Cachoeirinha	5420			6910		6510	6100			7390			Uréia; 1/2 MP/DPF	Lopes, 1993
PR 106	Indiana	2900					3500		4400		5200	5700		safra 1982	Beri <i>et al</i> , 1989
PR 106	Indiana	3400					4400		5300		6000	6200		safra 1983	Beri <i>et al</i> , 1989
Rio Parnaíba	Goiania	3710	2945			3671								LVE	Fageria <i>et al</i> , 1995
Sequeiro		1900		2390						2400					Fageria, 1983

S.A.: Sulfato de Amônio; MP: máximo perfilhamento; DPF: Diferenciação do primórdio Foliar; LVE: Latossolo Vermelho Escuro; DAT: Dias Após Transplântio.

As diferenças varietais (incluindo as adaptativas típicas de cultivares de terras baixas ou altas; Tabela 2.1.1) constituem-se na principal fonte de variação nos dados de produção, que não obstante interagem com a resposta da aplicação de N, tal como será discutido na seção seguinte. É admitido, em geral, que o N é o nutriente de maior expressão no aumento da colheita (Malavolta, 1981; Machado, 1985; Wells *et al*, 1993; Bellow, 1995), favorecendo um melhor desenvolvimento geral da planta de arroz, do que resulta um aumento da produção de palha e grãos (Huber, 1980).

O N é, também, entre os macronutrientes o segundo mais exigido pela cultura do arroz (19,9 kg N Mg⁻¹ grão), precedido pelo K (28,7 kg K Mg⁻¹ grão), e terceiro elemento em quantidade, visto que o Si não é considerado, geralmente, um elemento “essencial” no sentido clássico, mas sim um elemento benéfico (46,6 kg Si Mg⁻¹ grão). É o elemento mais exportado pelo grão (11,6 à 19,0 kg N Mg⁻¹ grão; Furlani *et al*, 1977; Fageria *et al*, 1995; Wada *et al*, 1986).

2.2. MELHORAMENTO VEGETAL E PRODUTIVIDADE

De acordo com Murata & Matsushima (1975) a produção de grãos de arroz está altamente correlacionada com o IC da cultura (Índice de Colheita, relação entre massa de grãos e massa seca total da parte aérea). Incrementos na produção de arroz podem ser atribuídos ao melhoramento genético na distribuição da matéria seca. Um melhoramento na partição da massa seca, equacionado pelo IC, foi observado por Groot & Spiertz (1991) quando da comparação entre variedades modernas e tradicionais de trigo e cevada. Ferraz Jr. (1993), trabalhando com cultivares de arroz tradicionais oriundas do Estado do Maranhão, e modernas provenientes do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) encontrou valores de IC 25% maiores para as cultivares melhoradas. Esta vantagem pode aumentar para 31%, se são excluídas do cômputo as cultivares tradicionais altamente produtivas. A existência deste último tipo de cultivares, entretanto, evidencia a diversidade genotípica para produção entre cultivares não melhoradas.

O melhoramento genético, em arroz, como na maioria das espécies cultivadas tem seguido duas vias: a eliminação de fatores que limitam a produtividade ou causam sua flutuação entre estações, ou a combinação de caracteres que possam aumentar o potencial produtivo do genótipo (Arnon, 1975). Exemplos da primeira via são o melhoramento para resistência a pragas e doenças (ex. Bruzone) e condições adversas de solo e clima (ex. Tolerância ao alumínio e à seca) e da segunda as modificações na estrutura da planta, visando uma arquitetura “ideal” (Murata, 1969; Dingkhung *et al*, 1990;

Sasahara *et al*, 1993).

Muitos anos de melhoramento genético no International Rice Research Institute (IRRI) e outros centros de pesquisa tem conduzido a uma redução no porte da cultura, alto perfilhamento, precocidade, insensibilidade fotoperiódica, entre outras características (Fageria *et al*, 1991). Um dossel vegetativo baixo e compacto, tem reduzido riscos de acamamento, que aumentavam em muito a incidência de Bruzone (Santos *et al*, 1986) e limitavam a aplicação de níveis elevados de N (Ramalho *et al*, 1989; Murata & Matsushima, 1975). A Figura 2.2.1 mostra a produção como uma função da taxa de aplicação de N para uma variedade melhorada e uma tradicional (Vitti *et al*, 1984).

Outro efeito direto do melhoramento está em uma melhor estabilidade do IC ou relação grão:palha nas cultivares melhoradas. Na Figura 2.2.2, observa-se uma acentuada redução desta relação somente a partir de aplicações próximas aos 400 kg N ha⁻¹ na cultivar melhorada, enquanto que na cultivar tradicional essa relação declina a partir de 80 kg N ha⁻¹, significando que a resposta a N se traduz em ganho de palha, que não é repassado em sua totalidade para o grão (Vitti *et al*, 1984).

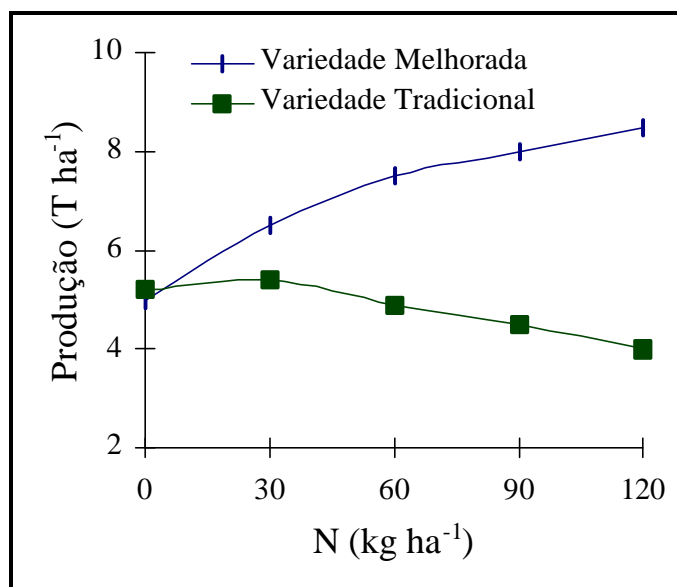


Figura 2.2.1. Resposta de produção à adubação nitrogenada de duas cultivares de arroz nas Filipinas (médias de 3 anos; Vitti *et al*, 1984).

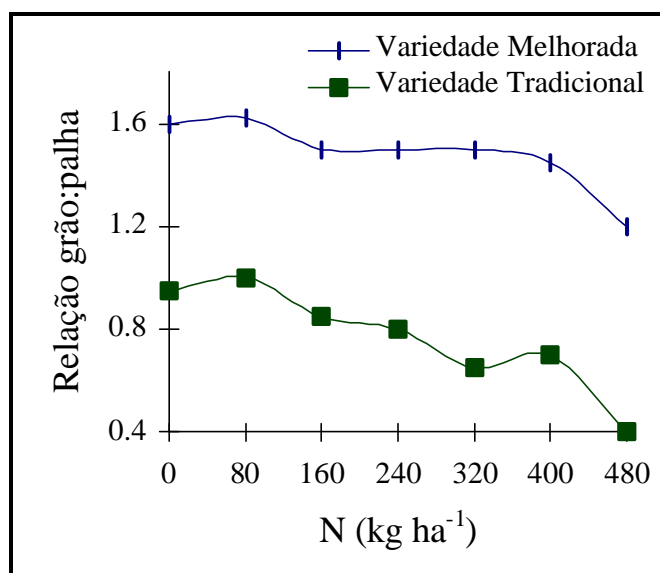


Figura 2.2.2. Resposta à adubação nitrogenada na relação grão:palha de duas cultivares de arroz (Vitti *et al*, 1984).

Comparando variedades de trigo tradicional e moderno sob as mesmas condições de crescimento, Groot & Spiertz (1991), observaram que as variedades modernas acumulam mais fotoassimilados no grão, mas a retranslocação de N não foi grandemente alterada em relação às mais antigas. Em arroz, esta correlação inversa entre produção de grão e teor de proteína tem sido reiteradamente observada (Souza, 1991; Ferraz Jr. 1993), embora trabalho recente mostre que esta correlação pode ser parcialmente revertida por aplicação tardia de N (Souza, 1995).

Embora as estimativas de IC não levem em conta o crescimento radicular (e portanto a porção de fotoassimilados investidos no processo), estima-se que o processo de melhoramento não tenha afetado grandemente a relação raiz:parte aérea (Groot & Spiertz, 1991), e portanto os aumentos na relação massa de grão:N no grão ocorreram principalmente devido ao aumento na fotossíntese acumulada, associada a uma melhor eficiência de partição da parte aérea da planta.

Um outro aspecto importante a ser considerado com relação ao melhoramento, é a produtividade da “soca” da cultura. Esta produtividade pode variar de 20 à 60 % em relação ao primeiro cultivo (Amorin Neto *et al*, 1993). Santos *et al* (1986), compararam 17 genótipos quanto a sua capacidade de rebrota após o primeiro cultivo. Em média, para um ciclo de soca de 70 dias, foi obtida uma produção de 43% em relação ao primeiro ciclo. A cultivar IAC 4440, incluída nesse experimento, foi uma das que mostraram menor potencial relativo de soca (36,8%; 6640 e 2357 kg ha⁻¹ para primeira colheita e soca, respectivamente), As cultivares do tipo “tradicional” mostraram o maior potencial. Esta é uma característica que deve ser melhor avaliada, já que

implica numa reordenação interna diferencial das relações fonte-dreno, modificando numa ou outra direção os fluxos de C e N. Parte dessa temática é abordada no presente trabalho.

2.3. CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO ARROZ

A importância da nutrição nitrogenada e os variados aspectos de interação N-planta sobre crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal tem sido enfatizados de forma contínua na literatura corrente, de forma que torna-se impossível, dentro dos limites desta revisão, explicitar o “background” subjacente a matéria. Algumas revisões mais recentes sobre este tópico, envolvendo aspectos da interação entre N, fisiologia vegetal, nutrição mineral e eficiência de uso em arroz, incluem Hargrove (1988), Van Keulen *et al* (1989), Fageria *et al* (1991), Porter & Lawlor (1991), Stewart (1991), Groot & Spiertz (1991), Machado & Silveira (1993), Fernandes *et al* (1993), Ferraz Jr. (1993), Fernandes & Rossiello (1995) e Souza (1995).

Nesta revisão, a discussão dos efeitos de N sobre o crescimento e desenvolvimento fásico do arroz, tem se centrado na descrição generalizada do ciclo (Fageria, 1984), onde o comprimento total do mesmo foi igualado à unidade e os limites das frações dão conta de diferenças em precocidade (Figura 2.3.1).

Uma revisão muito abrangente do desenvolvimento em termos de processos de construção morfo-genética das diferentes partes vegetativas e reprodutivas foi publicado por Matsuo & Hoshikawa (1993).

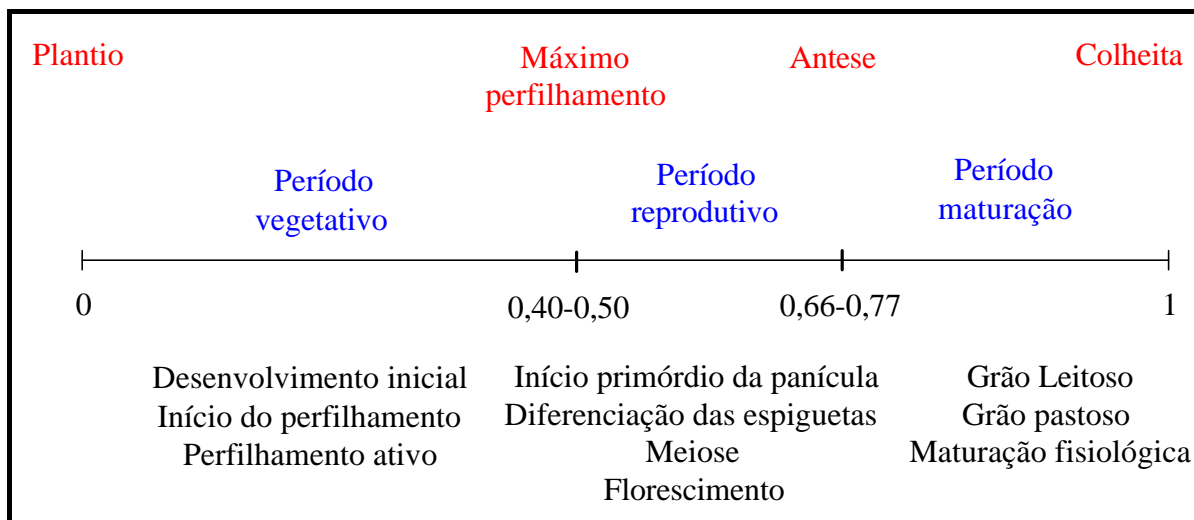


Figura 2.3.1. Ciclo fisiológico normalizado para arroz. Em vermelho, os eventos que marcam as principais fases (azul).

Fageria e colaboradores tem desenvolvido um intenso trabalho de avaliação de requerimentos nutricionais, estabelecimento de níveis críticos e relações entre níveis de fertilidade do solo e produtividade de arroz em diferentes sistemas de manejo. Muito dessa experiência está revisada em Fageria (1984) e Fageria *et al* (1991) e publicações mais recentes (Fageria, 1992, Fageria *et al* 1995). Alguns resultados dessa pesquisa, no relativo à resposta a adubação nitrogenada constam na Tabela 2.1.1.

Em cereais, de forma geral, o crescimento vegetativo está diretamente relacionado ao rendimento do grão (Fageria *et al*, 1991), através do IC, tal com já visto na seção precedente. Portanto, como o objetivo global do presente trabalho é mostrar como diferenças genotípicas em crescimento vegetativo podem determinar padrões diferenciais de partição de C e N aos grãos em crescimento, considerações sobre geração de crescimento vegetativo (fotossíntese) e partição de fotoassimilados tornam-se necessárias.

2.4. EFEITOS DO N SOBRE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO FÁSICO

Desenvolvimento inicial (Figura 2.3.1): É notável que os esquemas sobre desenvolvimento de plantas não possuem de forma geral informações sobre crescimento e desenvolvimento radicular. O desenvolvimento fenológico da parte aérea em si (ou seja, a taxa e ordem de aparição de órgãos vegetativos e reprodutivos) é governada, tanto pelo genótipo quanto pelo ambiente, notoriamente comprimento do dia e temperatura (Van Keulen *et al*, 1989; Ritchie & Nesmith, 1991).

Com relação a raízes, Hanada & Yamashaki (1993) apresentam um detalhado estudo sobre morfologia e desenvolvimento. O crescimento radicular inicial (emergência da raiz seminal a partir do primórdio) está sob controle genotípico, tal como revelam comparações de taxas de alongação entre uma cultivar moderna (IAC 899) e uma tradicional (Comum Branco), na fase de 6-8 dias pós-emergência (S. Vasconcelos, 1996, comunicação pessoal).

Como conjunto, a dimensão do sistema radicular aumenta rapidamente durante os 20 dias pré-emergência da panícula, e atinge seu desenvolvimento máximo no estágio de floração plena (Hanada & Yamashaki, 1993). Uma comparação entre 265 variedades de arroz irrigado e de sequeiro mostrou diferenças que permitiram estabelecer correlações significativas entre número de perfilhos, profundidade de enraizamento e altura das plantas. Em geral, variedades com baixo potencial de perfilhamento, tiveram maior altura e uma maior densidade radicular em profundidade. Inversamente, alto perfilhamento foi associado a baixa altura de colmo e maior densidade de raízes superficiais e com menor diâmetro (Nagai & Hirota, 1958).

O efeito do N sobre o sistema radicular manifesta-se mais na fase de sua formação, por promoção do número de eixos principais e encurtamento do comprimento dos mesmos, isto é, determinando uma distribuição radicular superficial. A quantidade de N aplicado determina o tamanho da zona de enraizamento, e sua morfologia é afetada pela aplicação única ou parcelada (Hanada & Yamashaki, 1993).

A maior quantidade do N absorvido e acumulado na fitomassa da planta provém de raízes nodais, formadas precocemente no desenvolvimento da planta, a partir da base de internódios não alongantes do colmo principal e perfilhos (Purseglove, 1985).

Raízes emergidas dos nós inferiores são mais velhas que aquelas produzidas em nós superiores e possuem maior atividade absorptiva de N-NH₄ e de translocação ¹⁵N do que estas últimas. As raízes inferiores transportam mais N as correspondentes folhas inferiores, e as raízes mais jovens suprem N as folhas superiores (Yoneyama, 1986). Okajima (1960), mostrou que a emergência de raízes está estreitamente relacionada à concentração de N na base do colmo, e a emergência ativa dos mesmos foi controlada por concentrações de N acima de 1%.

Existem diferenças genóticas em influxos radiculares de N (Baptista, 1995; França, 1955). O arroz absorve N tanto na forma nítrica quanto amoniacal (Fernandes, 1990; Ancheng *et al*, 1993), a taxas que variam em função da disponibilidade de energia metabólica interna (condicionada pela quantidade de substrato fotossintético a disposição). A influência de fatores ambientais sobre absorção de N-NH₄ e N-NO₃ em arroz foi revisada recentemente por Fernandes e Rossiello (1995).

As reservas seminais sustentam o desenvolvimento da semente germinante durante 10-12 dias pós-germinação. O perfilho primário emerge a partir da axila da folha +6, e a taxa de emergência é sincronizada com o desenvolvimento das folhas no colmo principal. O mesmo padrão sincrônico de desenvolvimento repete-se em colmos secundários e terceiros (Hanada, 1993).

Existe forte dependência entre a concentração de N na folha e a emergência do perfilho correspondente, sendo que o valor crítico na folha tem sido estimado em 2,5% (Murata & Matsushima, 1975).

O estágio de máximo número de perfilhos (0,4-0,5 do ciclo, Figura 2.3.1) pode não acontecer simultaneamente com a diferenciação de panículas. A diferenciação de panícula pode acontecer antes do máximo perfilhamento em variedades precoces ou depois nas tardias, e ocorre simultaneamente em variedades de ciclo médio. Esta consideração é importante porque interpretações iniciais postularam que a morte dos perfilhos acontecia por estes terem tamanho insuficiente para sua nutrição autotrófica por ocasião da diferenciação da panícula correspondente no colmo materno (Hanada, 1993). Atualmente a morte de perfilhos é concebida como produto da competição por fotossintatos e nutrientes inorgânicos entre o colmo materno e o perfilho (Fageria *et al*, 1991), mas não necessariamente pela competição imposta pelo desenvolvimento de uma panícula no ápice do colmo materno, e sim por deficiência no suprimento de nutrientes a partir do solo ou carência de fotoassimilados resultantes de competição intra perfilhos e auto sombreamento (Hanada, 1993).

Determinantes da produção de matéria seca: A produção de fitomassa seca, tanto total, quanto a acumulada numa parte específica (ex. grão) é o produto da duração do período de acumulação e a taxa média de produção de matéria seca no período (Van Keulen *et al*, 1989). A produção de matéria seca num dado período pode ser equacionado a partir de uma expressão do tipo (Serrano *et al*, 1995):

$$W = \int \epsilon I Q dt$$

onde: W = massa seca; Q = quantidade de radiação diária fotossinteticamente ativa; I = fração da radiação incidente interceptada pelo dossel (o qual depende de sua estrutura); ϵ = quantidade de matéria seca produzida por unidade de radiação interceptada (uma medida da eficiência fotossintética do dossel); e t = tempo (dias). O componente ϵ é usualmente referido na literatura como Eficiência de Uso de Radiação (EUR, entre 400-700 nm; Sinclair & Horie, 1989; Norman & Arkebauer, 1991).

Então, numa situação onde o rendimento só dependa da radiação solar, as variações de I dão conta da maior parte das diferenças em produção, já que EUR e Q são relativamente constantes, na ausência de estresse ambiental severo (Norman & Arkebauer, 1991; Serrano *et al*, 1995). Por exemplo, para a região de cultivo de arroz irrigado do Norte Fluminense, o coeficiente de variação de Q mensal, entre anos, é menor que 10% (Rossiello, 1987).

O componente I (fração de interceptação) é uma função complexa do Índice de Área Foliar (IAF; Russell *et al*, 1989). A interceptação

de luz por um dossel é fortemente influenciada pela forma e tamanho da folha, seu ângulo e separação vertical e a distribuição vertical da área foliar total por planta (Russel *et al*, 1989; Counce, 1992).

A quantidade de área foliar total, em arroz, como em outros cereais produtores de perfilhos, é uma função do número total de perfilhos, do tamanho (área) e número de folhas por perfilho (Fageria *et al*, 1991). Nitrogênio opera simultaneamente sobre ambos os processos: a emissão de perfilhos, como visto acima, e a taxa de expansão foliar (Van Keulen *et al*, 1989). De forma geral, os efeitos de N sobre o crescimento vegetativo (formação de novos órgãos) são mediados por efeitos diretos do status de N sobre a fotossíntese bruta foliar, ou indiretos, via disponibilidade de carboidratos (Van Keulen *et al*, 1989). De forma geral, fotossíntese e expansão foliar constituem processos opostos em termos de demanda de N, e tem sido sugerido que resolver o problema básico da contribuição contraditória de N a ambos os processos, constitui um ponto focal para a melhoria dos níveis de produção de arroz através do manejo da nutrição nitrogenada (Fernandes & Rossiello, 1995).

IAF “ótimos” (isto é, aqueles capazes de interceptar 90% RFA incidente) são menores para arroz de sequeiro do que para arroz cultivado sob lâmina de água (Fageria *et al*, 1991). Menor IAF nas cultivares de sequeiro é um reflexo de menor número de perfilhos. O tipo reflete neste caso a pressão seletiva do meio, caracterizado por hábito foliares decumbentes, onde só uma fração da radiação solar é efetivamente interceptada, uma característica vantajosa, num ambiente submetido a estresse hídrico periódico (Pinheiro *et al*, 1985). Já cultivares adaptadas a condições de terras alagadas mostram maior

IAF “ótimo”, como reflexo de maior número de perfilhos e maior número de folhas por perfilho (Chang & Vergara, 1975).

Na Figura 2.4.1 mostra-se o comportamento das cultivares IAC 4440 e Comum Branco usadas no presente trabalho, quando cultivadas em solução nutritiva com 60 mg N L^{-1} , em termos de perfilhamento (França, 1995). Com um alto aporte de N, contínuo, e altos níveis de radiação solar, o tipo IAC mostra um potencial de perfilhamento muito maior que a cultivar de sequeiro.

Como mencionado previamente, a orientação foliar é um componente importante do coeficiente de interceptação. Um efeito da orientação foliar está relacionado à mudança na qualidade do fluxo incidente e à profundidade de sua penetração no dossel (Russell *et al*, 1989; Sinclair & Horie, 1989; Serrano *et al*, 1995).

Neste sentido, um maior ângulo foliar, uma melhor distribuição vertical do IAF, um menor tamanho final da folha (menor taxa de expansão de área foliar), com conseqüente baixa relação área/peso, são atributos incorporados as variedades melhoradas, e que estão associados diretamente a maior interceptação de luz e/ou maior taxa fotossintética, e portanto a maior produção de matéria seca (Yoshida, 1972; Cook & Evans, 1983; Counce, 1992). O componente EUR presente na equação acima exprime, como mencionado, a quantidade de matéria seca por unidade de energia luminosa absorvida, o qual correlaciona-se a nível molecular com a eficiência quântica ou fotossintética (Serrano *et al*, 1995).

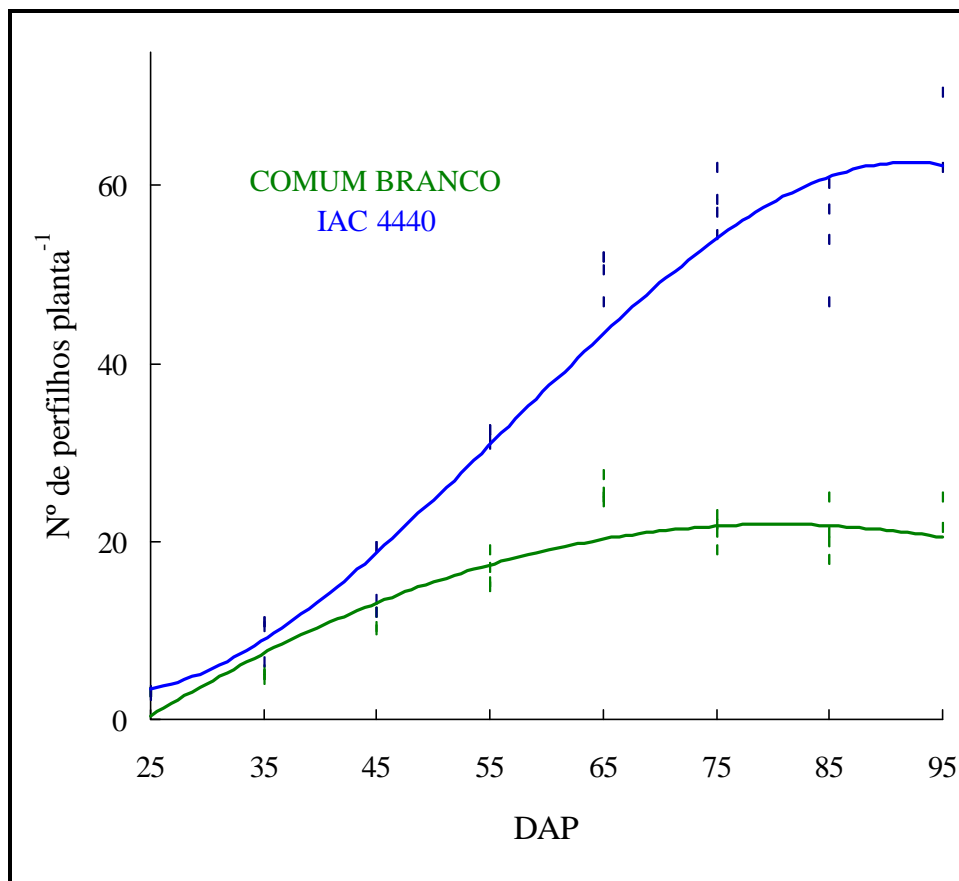


Figura 2.4.1. Padrão de perfilamento das cultivares Comum Branco e IAC 4440 durante o período de 25-95 Dias Após Plantio (DAP), sob condições de cultura hidropônica (França, 1995).

Arroz, possui via assimilatória C_3 , e portanto sua taxa fotossintética é altamente dependente da atividade da enzima Rubisco. Esta enzima é a mais abundante proteína solúvel do cloroplasto, explicando 50% do N nessa organela, e cerca de 25% do N celular global (Schmit & Edwards, 1981; Peñarrubia & Moreno, 1995). Evidências experimentais recentes tem estabelecido que os níveis normais de Rubisco excedem largamente as quantidades necessárias para o desenvolvimento de sua atividade catalítica, de tal forma que esta enzima pode ser conceituada como uma proteína de reserva de N, em vista de sua contribuição espetacular à remobilização de N durante a

senescência foliar (Peñarrubia & Moreno, 1995).

Yoshida & Coronel (1976) cultivaram IR 8 em solução nutritiva com várias concentrações de N e encontraram uma relação linear entre taxa fotossintética e teor de N foliar (expresso como g N m^{-2} folha), para valores entre 0,5 e 1,5 g N m^{-2} . O exame da variabilidade genética em arroz também suporta o conceito de uma relação linear entre taxa fotossintética e teor de N foliar, até valores de 1,6 g N m^{-2} . Acima desse valor, a taxa fotossintética em folhas individuais sob condições de saturação de luz, aproxima a 34 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Sinclair e Horie, 1989), embora sejam registrados valores mais elevados em condições experimentais (Schneir *et al*, 1990).

É interessante, que como salientado por Sinclair & Horie (1989), a curva de resposta em trigo é muito similar, de tal forma que muita da informação de uma espécie, no tocante a fotossíntese pode ser extrapolado para outra. Contudo, é bom ter em mente, que em um dossel real, apenas a parte superior do mesmo poderá mostrar taxas tão elevadas de assimilação de CO_2 . Também, na comparação com trigo, é interessante notar que nesta espécie a contribuição da fotossíntese pós-floração da espiga faz uma contribuição significativa à produção de grãos (Evans, 1975), o que não é o caso em arroz (Murata & Matsushima, 1975), onde a contribuição fotossintética da panícula é negligível (Sasahara *et al*, 1993).

Em arroz, a EUR mostra valores máximos em torno de 1,4-1,6 g MJ^{-1} , correspondente a taxas de fotossíntese saturada por luz de 1,3 $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Sinclair & Horie, 1989). Estas taxas se correspondem a valores foliares de N de 1,2 g N m^{-2} . Portanto, aumento dos teores foliares de N acima dessa faixa tem um impacto limitado na taxa fotossintética e menor ainda em EUR (Sinclair

& Horie, 1989).

Os esqueletos de carbono produzidos por assimilação fotossintética são parcialmente consumidos, no processo respiratório na fase escura (mitocondrial) e parte na respiração dependente de luz e fixação de CO₂, chamada fotorespiração (cloroplastos) e que pode demandar, em espécies C₃, entre 25-30% do CO₂ fotoassimilado (Serrano *et al*, 1995). Estimativas das magnitudes do consumo de substrato fotossintético em atividades de manutenção da fitomassa (respiração de manutenção, RM), são variáveis. Valores de RM oscilaram entre 18-25% da fotossíntese bruta, na fase vegetativa e aumentaram para 34% durante a fase de maturação, nos experimentos de Schneir *et al* (1990). Esses valores são um pouco superiores aos observados por Takeda & Murata (1956), na faixa de 9-20%. Nas panículas, a taxa respiratória está altamente correlacionada com a sua concentração de N (Sasahara *et al*, 1993).

Os esqueletos de carbono excedentes são então mobilizados a dois tipos de drenos: a) vegetativos (parênquima de folhas, pecíolos, bainhas, colmos e raízes), onde são acumulados temporariamente na forma de amido de reserva ou b) drenos terminais: tecidos reprodutivos (grãos) e meristemas em rápido desenvolvimento (Madore, 1995). A diferença entre ambos tipos radica, em que os primeiros são reversíveis, e os segundos não, posto que nos últimos o C é incorporado de forma estrutural (celulose, proteínas e ácidos nucleicos), e portanto não disponíveis para remobilização, mesmo quando o acúmulo se dê sob a forma de amido, como no grão (Madore, 1995).

Em arroz, a remobilização de C é necessária para sustentar o crescimento dos meristemas vegetativos (raízes, colmos, bainhas, lâminas

foliares), tal como mencionado acima. Quando da transição para a fase reprodutiva (a partir de 0,4-0,5; Figura 2.3.1), com o início do primórdio da panícula, observa-se o estabelecimento de um acúmulo temporário de amido e carboidratos solúveis (sacarose) nas bainhas, que são repassados progressivamente ao colmo, o qual aumenta exponencialmente seu teor de amido nas duas semanas pré-floração (Murata, 1969; Silveira & Machado, 1990; Machado & Silveira, 1993). A quantidade de C de reserva acumulado no colmo cai rapidamente durante as 3 semanas pós-antese (Machado & Silveira, 1990).

Na medida em que uma fração de C está fixada estruturalmente em macromoléculas tais como celulose, hemicelulose e pectina, de difícil hidrólise, durante a senescência foliar, o seu repasse é menos efetivo do que do N vegetativo (Madore, 1995). Uma acumulação de carboidratos no estágio pré-floração, prontamente disponíveis, é essencial para prevenir a ocorrência de aborto de grãos durante as duas a três semanas pós-floração (Murata & Matsushima, 1975).

Em arroz, a principal fonte de N para o crescimento reprodutivo é oriunda da proteólise foliar a partir das folhas mais velhas (Mae *et al*, 1983; Kamachi *et al*, 1991). No processo de remobilização de N, proteínas são hidrolizadas a partir das folhas senescentes e N-amino é exportado ao grão em crescimento, que atua como um dreno terminal (Mae & Ohira, 1981; Yoneyama, 1986). O processo de senescência foliar normal é visto com um processo altamente coordenado e integrado de remobilização, como sugere o fato de que a remoção da panícula protela a senescência da folha bandeira e as subjacentes, em arroz (Grabau, 1995).

Como já mencionado, o maior estoque de N vegetativo para remobilização está alocado em Rubisco, cuja taxa de “turnover” é praticamente negligível em condições de não senescência (Peñarrubia & Moreno, 1995), mas muda drasticamente sob condições de senescência, associada a um declínio acentuado da taxa fotossintética (Mae *et al*, 1983; Makino *et al*, 1984; Van Keulen *et al*, 1989; Bellow, 1995).

Um aumento no suprimento de N foliar opera no sentido de aumentar o teor de N-protéico na folha, e seu teor de clorofila. Especificamente, regula a taxa de síntese da Rubisco, por efeitos sobre a transcrição e/ou estabilidade do RNA mensageiro (Below, 1995). O N estimula as taxas fotossintéticas também por fatores não enzimáticos, incluindo promoção da condutância estomática (Yoshida & Coronel, 1976; Ishihara *et al*, 1987) e efeitos indiretos sobre o balanço de energia foliar (Van Keulen *et al*, 1989).

Para atingir altos níveis de produtividade, as folhas devem não somente realizar a sua capacidade fotossintética máxima, como sustentar fotossíntese durante o processo de enchimento do grão. Após a folha atingir a sua expansão máxima, o cloroplasto perde muita da sua capacidade para sintetizar proteínas, especialmente Rubisco e Glutamina Sintetase (Souza, 1995; Below, 1995). A manutenção da atividade fotossintética pós-floração por efeito de aplicação suplementar de N nesta fase, parece pois, ligada diretamente a inibição da síntese de proteases (Mae & Ohira, 1984), retardando a degradação da enzima carboxilante. Embora seja usualmente associada a degradação de proteína, a senescência também causa um aumento em algumas atividades enzimáticas não hidrolíticas (Peñarrubia & Moreno, 1995). Glutamina

Sintetase citossólica aumenta várias vezes a sua atividade em folhas senescentes de arroz, e este aumento é visto com uma facilitação da remobilização de N, por favorecer a síntese de Glutamina, a principal forma transportada ao grão (Kamachi *et al*, 1991; Souza, 1995).

O N parece retardar também a proteólise de Glutamina Sintetase (Mae & Ohira, 1984). Existem entretanto diferenças genotípicas tanto para taxas de “turnover” das enzimas fotossintéticas como para atividade de proteases (Mae & Ohira, 1981; Perez *et al*, 1973). A aplicação de N por ocasião da antese ou imediatamente após, pode acarretar maior retenção foliar de N. Souza (1995), observou, na cultivar IAC 47 aumento no teor de N protéico da folha bandeira durante a antese, decorrente da aplicação de N, o que foi interpretado como um processo de competição entre essa folha e a panícula pelo N disponível.

Em síntese, do ponto de vista da fisiologia da produção de arroz, o N desempenha quatro papéis principais (Below, 1995): a) Estabelecimento da capacidade fotossintética; b) Manutenção dessa capacidade; c) Estabelecimento da capacidade de dreno; d) Manutenção da atividade funcional do dreno.

Com relação a este último ponto, Below (1995), menciona que o efeito do N expressa-se através do estímulo ao crescimento embrionário e à síntese contínua das enzimas necessárias para a geração de energia e deposição de substâncias de reserva no grão, um efeito já estudado por Murata e colaboradores quase trinta anos atrás (Murata, 1969). Este tipo de resultado sugere que ao menos uma parcela do aumento em rendimento por efeito da adubação nitrogenada, resulte da modificação do metabolismo da panícula,

através do estímulo da síntese proteica e da utilização de açúcares para a biossíntese de amido (Below, 1995).

2.5. UMA NOTA SOBRE NOMENCLATURA

Arroz cultivado em solos bem drenados, sem acumulação superficial de água, não afetado pelo lençol freático e dependente das chuvas sazonais é chamado na literatura internacional de “upland rice” (Fageria *et al*, 1991), o que corresponde à denominação genérica de “arroz de sequeiro” no país. Esta denominação tem a mesma conotação regional que o termo “veranico”, expressão esta somente usada no Brasil (Rezende, 1995).

Não necessariamente todo o arroz de sequeiro está sujeito a estiagem prolongada (veranico). Áreas localizadas na região Amazônica ou pré-Amazônica, por apresentarem clima tropical úmido com período seco menor que três meses, não apresentam problema grave de deficiência hídrica para o arroz (Fageria *et al*, 1995). As cultivares apropriadas para plantio em tais áreas são chamadas de “sequeiro favorecido”, um termo também aplicado à cultivares de sequeiro, que recebem irrigação suplementar durante o período de deficiência hídrica sazonal.

O termo “lowland” ou “wetland rice” significa arroz cultivados em solos submersos ou alagados (Fageria *et al*, 1991). O termo cultivar irrigado, tal como usado neste trabalho, refere-se a cultivares tradicionais ou modernas, adaptadas ao cultivo sob lâmina de água. O solo pode permanecer submerso por condição natural, durante parte do ano (como no caso do arroz cultivado em várzeas aluviais), ou pode ser especialmente preparado para inundação através de práticas de manejo. Este último tipo é conhecido como “paddy rice”.

3. MATERIAL & MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (22°45' de latitude Sul e 43°41' de longitude Oeste), entre os meses de dezembro de 1993 e maio de 1994 (Figura 3.1).

As variáveis experimentais estudadas foram os estágios de crescimento e desenvolvimento (Tabela 3.2.1), de duas cultivares de arroz divergentes ecofisiologicamente (Tabela 3.1.1; Figuras 3.1.1, 3.1.2a e b) acompanhados através de colheitas sucessivas, e sua resposta à níveis de N, durante o ciclo completo das plantas. Estas variáveis experimentais são descritas a seguir.

3.1. CULTIVARES

Foram selecionadas duas cultivares, com base na informação da literatura, com máximo contraste em adaptação ecofisiológica (Tabela 3.1.1; Figuras 3.1.1, 3.1.2a e b). A cultivar IAC 4440, produto de melhoramento genético e adaptada a condições de alagamento foi contrastada com a Comum Branco, um genótipo coletado no Estado do Maranhão (Coradin & Fonseca, 1982), onde tem sido tradicionalmente cultivada e propagada sob condições de sequeiro por pequenos agricultores (Mendonça, 1991). Padrões de crescimento, partição de massa, desenvolvimento de área foliar e radicular, assimilação líquida, e taxas de absorção, acúmulo e redistribuição de N durante a fase vegetativa, para estas cultivares, tem sido descritos recentemente por França (1995), utilizando uma solução nutritiva que fornece N a uma concentração relativamente elevada (60 mg N L^{-1}) e balanceada para suprir todas as demandas nutricionais da planta (Furlani & Furlani, 1988).

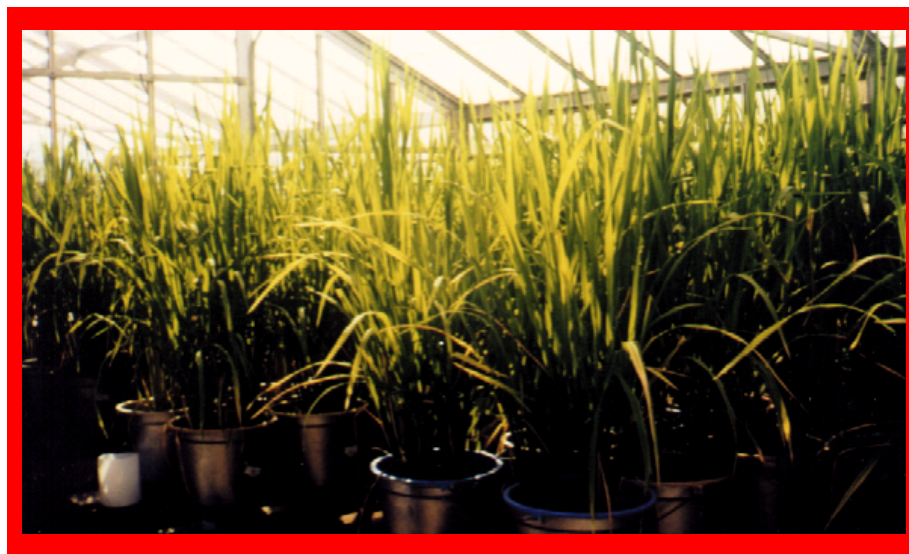


Figura 3.1. Vista parcial do arranjo experimental no casa de vegetação. Os tratamentos estão dispostos de forma casualizada sobre as bancadas.

Tabela 3.1.1. Algumas características contrastantes das cultivares em estudo.

IAC 4440	Comum Branco
<ul style="list-style-type: none"> • Cultivar “moderna” desenvolvida pelo IAC, oriunda do Cruzamento da Cultivar CICA-4 X (IR-665-23-3-1 X TETEP)⁽³⁾. Também conhecida como CICA-8⁽⁶⁾ • Alto potencial produtivo^(4, 6); > 7 Mg ha⁻¹ em campo⁽³⁾ • Responsiva a adubação nitrogenada⁽³⁾ • Porte baixo⁽³⁾ • Folhas estreitas, eretas^(3, 4, 5) • Elevado perfilhamento^(3, 4, 5) • Adaptada a condições de alagamento⁽³⁾ • Sensível ao Alumínio⁽²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivar tradicional. Germoplasma coletado no Estado do Maranhão⁽¹⁾ • Baixo potencial produtivo⁽⁴⁾ • <i>Objeto do presente estudo</i> • Porte alto^(4, 5) • Folha largas, decumbentes^(4, 5) • Baixo perfilhamento^(4, 5) • Cultivar de sequeiro⁽²⁾ • Tolerante ao Alumínio⁽²⁾

⁽¹⁾ Coradin & Fonseca, 1999; ⁽²⁾ Mendonça, 1991; ⁽³⁾ Usberti F^o *et al*, 1986; ⁽⁴⁾ Zonta *et al*, 1995; ⁽⁵⁾ França *et al*, 1995b; ⁽⁶⁾ Fornasierri F^o & Fornasierri, 1995.



Figura 3.1.1. Diferenças em número de perfilhos entre as cultivares estudadas.

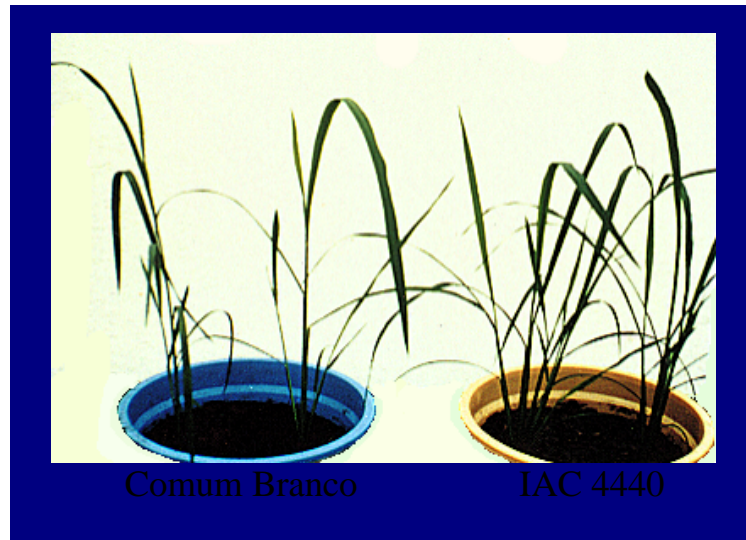
**a****b**

Figura 3.2.2. Desenvolvimento das parte aérea das cultivares IAC 4440 e Comum Branco. a) 20 DAP e b) 80 DAP.

3.2. ÉPOCA DE COLETAS

As coletas foram realizadas sequencialmente, de forma a obter-se parâmetros que fossem representativos de cada fase do ciclo da cultura. Na Tabela 3.2.1 estão contidas as informações referentes as coletas e eventos envolvidos no desenvolvimento fásico das cultivares. A idade das plantas foi expressa em unidades de DAP (Dias Após Plantio), e as colheitas sequenciais foram feitas no dia final do período correspondente.

Tabela 3.2.1. Coletas realizadas, idade da planta e estágio de desenvolvimento.

Coleta n ^o	Período DAP	Estádio de desenvolvimento médio das cultivares
1 ^a	0 - 20	Desenvolvimento inicial / Início do perfilhamento
2 ^a	20 - 40	Desenvolvimento dos perfilhos
3 ^a	40 - 60	Máximo perfilhamento / Início da elongação de colmos
4 ^a	60 - 80	Elongação de colmos / diferenciação da espiguetta
5 ^a	80 - 100	Desenvolvimento da espiguetta / Florescimento
6 ^a	100 - 115	Grão leitoso / pastoso
7 ^a	115 - 135	Maturação fisiológica / colheita

3.3. DOSES DE N

Houve uma aplicação basal de 4 g N m⁻², na forma de Sulfato de Amônio por ocasião do plantio. Esta aplicação basal é necessária para

estimular as taxas de crescimento inicial do sistema radicular e a taxa de emergência de perfilhos (Murata e Matsushima, 1975), dada a não detecção de níveis analíticos de N-NO₃ ou N-NH₄ no solo (Tabela 3.4.1).

A maximização do influxo radicular de N, nestas cultivares, sob condições de solução nutritiva, acontece por volta dos 38 a 40 DAP (França, 1995). Com base nessa informação, as doses experimentais de N foram aplicadas aos 40 DAP. Nessa data, cinco níveis de N, foram aplicados, em solução, na forma de Sulfato de Amônia: 0, 2, 4, 6 e 8 g N m⁻² (equivalente a 0, 0,07, 0,14, 0,21 e 0,28 g N vaso⁻¹).

3.4. SOLO

Como substrato para o crescimento das plantas foi usada terra peneirada (4 mm), proveniente do Horizonte Ap de um solo Podzólico Vermelho Amarelo de ocorrência no Campus da UFRRJ.

Análises químicas do solo foram realizadas segundo os procedimentos do Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA/SNLS, 1979). Teores de N mineral (NO₃ e NH₄) foram analisados segundo descrito por Pereira (1993) e as propriedades físicas segundo procedimentos de rotina do Laboratório de Física de Solos da UFRRJ. A Tabela 3.4.1 resume o resultado dessas análises.

Tabela 3.4.1. Algumas características químicas e físicas do solo utilizado como substrato e níveis críticos para macro e micronutrientes.

Característica	Valor Determinado	Valor Crítico
Químicas		
	----- cmol kg ⁻¹ -----	
pH (água)	5,4	---
Ca ⁺⁺	3,2	---
Mg ⁺⁺	2,9	---
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	6,1	≤ 2,0 ⁽¹⁾
Na ⁺	0,1	---
Al ⁺⁺⁺	0,0	≥ 1,0 ⁽¹⁾
H ⁺	2,3	---
K ⁺	0,4	≤ 0,23 ⁽¹⁾
	----- µg kg ⁻¹ -----	
P	> 30	≤ 10,0 ⁽¹⁾
Fe	136,5	< 4,5 ⁽²⁾
Cu	2,7	< 0,2 ⁽²⁾
Zn	13,4	< 1,5 ⁽²⁾
Mn	34,8	< 20,0 ⁽²⁾
	----- g kg ⁻¹ -----	
C _{orgânico}	3,8	---
N _{total}	0,078	---
N-NH ₄	(a)	---
N-NO ₃	(a)	---
Físicas		
Areia	760	---
Silte	100	---
Argila _{total}	140	---
Argila _{natural}	45	---
Água retida a 0,3 atm.	164,6	---

^(a) Não detectável por micro Kjeldahl, a partir de extração com KCl 2 M (Pereira, 1993)

⁽¹⁾ Fageria, 1984 e ⁽²⁾ Oliveira & Teixeira, 1988.

De acordo com esta Tabela e por comparação com os dados do Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (Oliveira & Teixeira, 1988) conclui-se não ser necessário correções químicas por deficiências de macronutrientes. Os níveis de micronutrientes determinados, foram comparados com os valores críticos de Fageria (1984), que estão baseados numa população de 2×10^6 plantas ha^{-1} . Como indica a Tabela 3.4.1 os níveis de micronutrientes analisados estiveram sempre acima desses valores críticos.

3.5. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Vasos plásticos, pintados externamente com tinta alumínio, receberam 7 L de terra peneirada com auxílio de proveta graduada, tomando-se o cuidado de evitar o adensamento pela segregação das partículas de diferentes tamanhos. Foram descartados os potes que não apresentavam peso de $8,47 \pm 0,23$ kg, de tal forma que a densidade de empacotamento foi mantida no valor de $1,21 \pm 0,03$ kg L^{-1} , não muito diferente da densidade global do solo *in situ*.

Em cada vaso foram plantadas 10 sementes previamente esterilizadas superficialmente (NaOCl, 2% por 30 minutos) e pré-germinadas em água por 24 horas. Previamente a 2ª coleta de material vegetal (40 DAP), foi feito um desbaste, deixando-se duas plantas de tamanho uniforme (2 plantas \times 0,0413 m^2 solo), até o fechamento do ciclo reprodutivo.

Os 162 vasos necessários à implantação do experimento, foram dispostos inteiramente ao acaso nas bancadas da casa de vegetação (Figura 3.1). Afim de minimizar efeitos microclimáticos, semanalmente era feita uma rotação aleatória dos mesmos.

Em cada coleta eram sorteadas 3 repetições de cada fator para

coleta dos dados. Desta forma, para a 1ª e 2ª coletas, Foram retirados 6 vasos (3 repetições × 2 cultivares), já que os métodos utilizados para a obtenção dos parâmetros para estudo são destrutivos. Para as demais coletas (3ª a 7ª), eram retirados 30 vasos (3 repetições × 2 cultivares × 5 doses de N).

A umidade solo foi mantida entre 66 e 100% da capacidade de retenção de água à 0,3 atm. (Tabela 3.4.1) com auxílio de tensiômetros dispostos em alguns potes, previamente calibrados no local. Utilizou-se adicionalmente o método de pesagens diárias, onde a diferença de peso era implementada com água filtrada por um sistema de filtro rápido de espuma ligado em série a um filtro de carvão ativado.

3.6. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Foi feito o acompanhamento diário da temperatura e umidade relativa do A_R , através de registros termohigrográficos semanais. A temperatura máxima para o período foi de $41,9 \pm 4,8$ °C e a mínima de $24,3 \pm 2,3$ °C (Figura 3.6.1).

Dado que a temperatura é o fator ambiental que isoladamente tem maior importância no desenvolvimento vegetal (Ritchie e Nesmith, 1991), uma análise mais detalhada da distribuição da temperatura é dada na Tabela 3.6.1. Nela pode-se constatar que houve variações de temperatura mais ou menos importantes entre períodos.

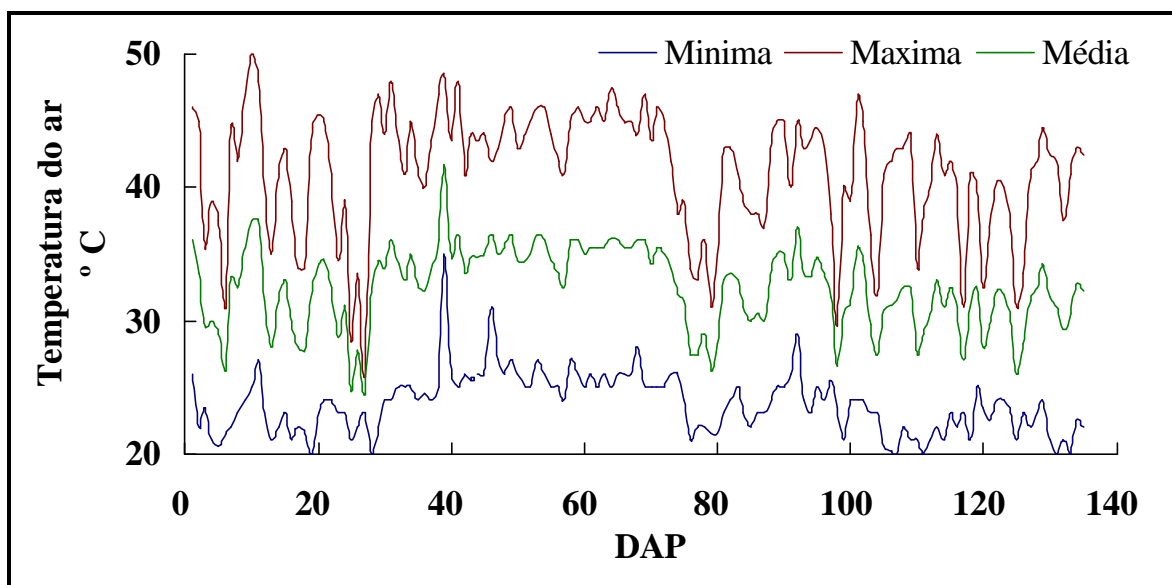


Figura 3.6.1. Temperaturas diárias no interior da casa de vegetação, durante o período experimental.

Tabela 3.6.1. Flutuação das temperaturas das temperaturas máximas (T_{\max}), mínimas (T_{\min}) e médias (T_{med}), no interior da casa de vegetação.

DAP	Temperatura (°C)		
	T_{\min}	T_{\max}	T_{med}
0 - 30	$22,6 \pm 1,7$	$40,2 \pm 6,1$	$31,4 \pm 3,5$
30 - 70	$25,9 \pm 1,4$	$44,5 \pm 2,0$	$35,2 \pm 1,5$
70 - 100	$23,9 \pm 1,8$	$39,9 \pm 4,4$	$31,9 \pm 2,8$
100 - 135	$22,1 \pm 1,4$	$39,8 \pm 4,2$	$30,9 \pm 2,2$

No período inicial de estabelecimento das plântulas e emissão de perfilhos (0 - 30 dias), houve flutuações acentuadas de temperatura do A_R ($CV\%=11,2$) com tendência declinante definida entre 20 e 30 DAP. O período compreendido entre 30 a 70 DAP, correspondente ao estágio de rápida

elongação de colmos e diferenciação de espiguetas (Tabela 3.2.1) foi caracterizado por altas T_{\max} (Tabela 3.6.1) do ar, com pouca variabilidade entre dias ($CV\%=4,5$). Já o restante da transição para o crescimento reprodutivo, a emergência das panículas e o subsequente período de enchimento do grão (final de fevereiro até início de maio) foi caracterizado por tendência declinante de temperatura, como reflexo de uma menor insolação diária e menor irradiância solar.

Umidade relativa do A_R ($U_R\%$), uma função da temperatura, mostrou condições de quase saturação noturna ($97,7 \pm 2,3 \%$) com uma elevada variabilidade diurna ($51,4 \pm 10,0 \%$; Figura 3.6.2).

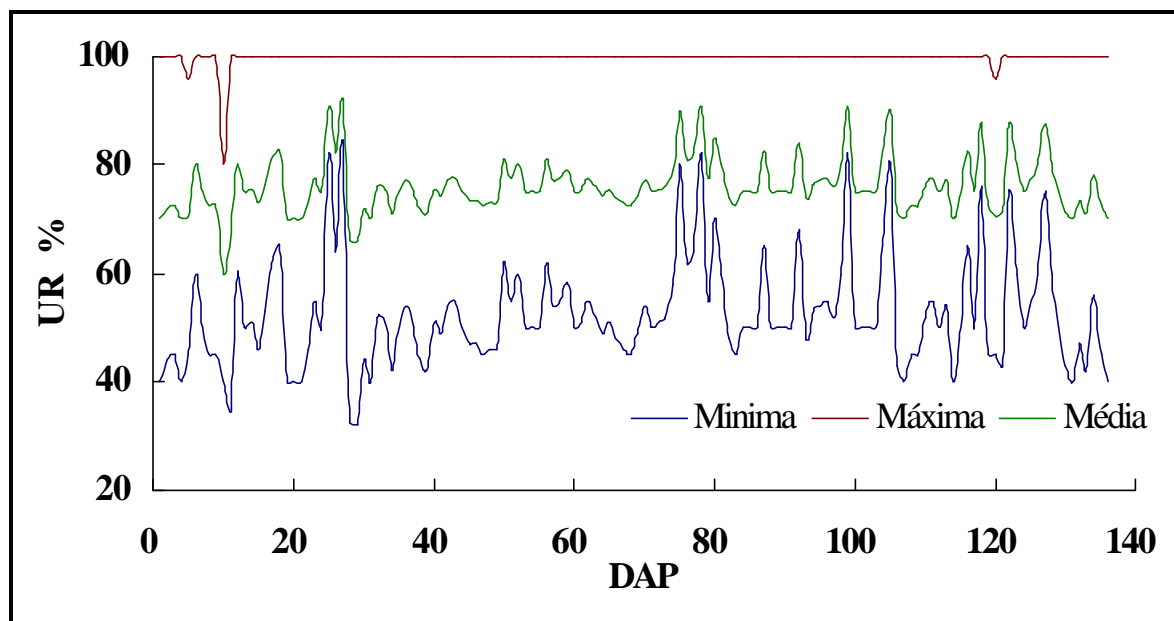


Figura 3.6.2. Umidade Relativa do Ar diária no interior da casa de vegetação, durante o período experimental.

As variações de $U_R\%$ seguem então, como esperado, uma tendência inversa, com valores mínimos diários associados as temperaturas mais elevadas. No período noturno, prevaleceram condições de saturação do

ar, que presumivelmente compensaram déficits hídricos diurnos, uma vez que as perdas evapotranspirativas diárias foram repostas através de duas irrigações diárias (item 3.5).

Registros de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA; 400 - 700 nm) foram obtidos a três horas do dia, durante todo o ciclo da cultura, com auxílio de um radiômetro LI 185, operando com sensor de quantum. Os registros correspondentes (9:00 horas: 671 ± 389 ; 12:00 horas: 1158 ± 643 ; 15:00 horas: $699 \pm 450 \mu\text{M m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Figura 3.6.3.), mostraram coeficientes de variação (CV%) de 58, 56 e 64% para esses horários, uma situação normal devida a diferenças em cobertura do céu entre horas do dia. Em média, no conjunto do ciclo a insolação diária foi de $7,3 \pm 2,8 \text{ horas dia}^{-1}$, segundo registros da Posto Meteorológico da PESAGRO-Rio.

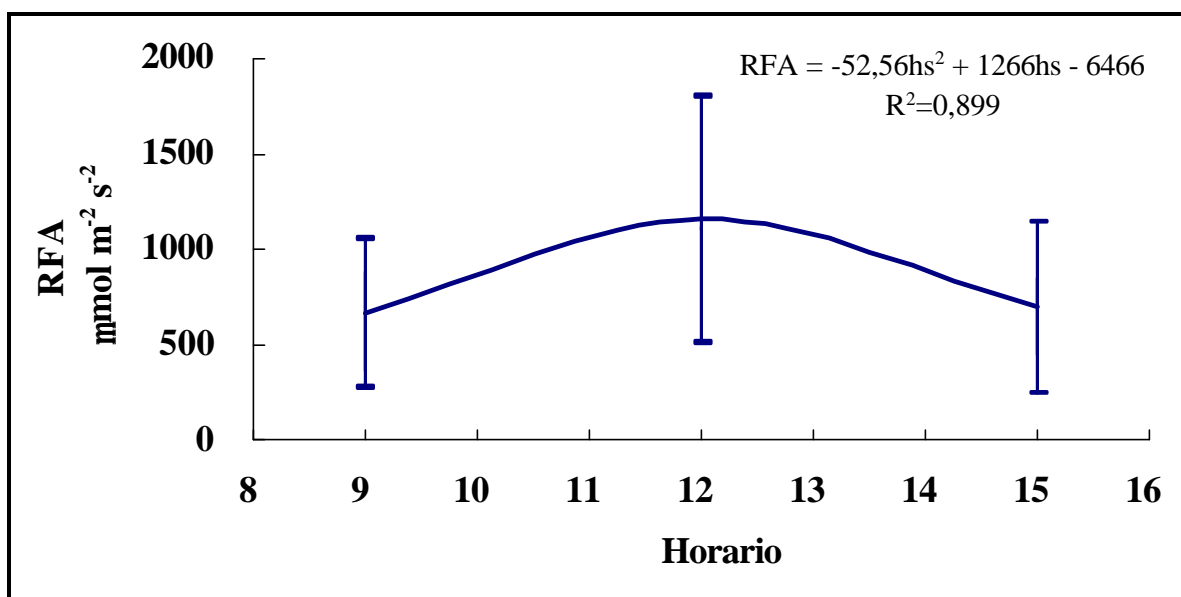


Figura 3.6.3. Comportamento médio da Radiação Fotossinteticamente Ativa dentro da casa de vegetação, em três horários do dia. Barra verticais representam o desvio padrão dos 135 dias de duração do ciclo dos cultivares.

Portanto, uma fonte inevitável de variação foi o efeito ambiental, responsável por uma parcela variável de respostas dos fatores experimentais e suas interações (item 3.8).

3.7. COLETA DO MATERIAL EXPERIMENTAL

Foram efetuadas 7 coletas nos intervalos discriminados na Tabela 3.2.1. Em cada coleta as plantas foram segmentadas em seus diferentes componentes: Folhas fotossinteticamente ativas ou folhas verdes (FV), folhas senescentes (FS), colmo + bainha (C) e raiz (R). Cabe mencionar que foi tomado especial cuidado com o material senescente, o qual era coletado com frequência semanal e estocado em sacos de papel especificamente destinados à essa finalidade. Esses cuidados foram tomados no intuito de se proceder à um balanço acurado de perdas e ganho de massa foliar que possibilitassem estimativas posteriores de remobilização de fotossintatos. No momento da emissão das panículas, os grãos constituíram um quinto componente (PN), sendo as ráquis adicionadas a fração colmo + bainha. Anteriormente à segmentação, eram obtidos o número de perfilhos (N_P), altura total das plantas (H_T) e altura do colmo (H_C).

3.7.1. DETERMINAÇÕES DE MASSA

A massa seca (W) das diferentes porções foram determinadas em balança de precisão após secagem em estufa de circulação forçada de ar à 60°C até peso constante. Foram obtidos os parâmetros:

1. Massa seca de folha verde (W_{FV});
2. Massa seca de folha senescentes (W_{FS});

3. Massa seca de colmo + bainha (W_C);
4. Massa seca de raiz (W_R);
5. Massa seca de grãos (W_{PN}).

Outros parâmetros de massa seca foram obtidos a partir da soma de componentes previamente determinados separadamente em função da segmentação da planta. A massa seca da parte aérea (W_{PA}) é resultado da soma das componentes W_F , W_{FS} , W_C , e a partir do momento da emissão das panículas, da massa seca de grão (W_{PN}). Assim, $W_{PA} = W_F + W_{FS} + W_C$ para 1ª a 5ª coletas e $W_{PA} = W_F + W_{FS} + W_C + W_{PN}$ para 6ª e 7ª coletas. O componente massa seca total (W_T) é a soma de W_R e W_{PA} . Assim, $W_T = W_R + W_{PA}$. Foi obtida também a relação raiz / parte aérea (RA:PA; base W/W).

Os componentes das plantas de cada vaso eram coletados conjuntamente. Após pesagem o resultado foi dividido por 2 (2 plantas \times vaso⁻¹), o que contitua então o valor da repetição expresso em massa por planta (g planta⁻¹).

3.7.2. DETERMINAÇÃO DE ÁREA FOLIAR E ÁREA RADICULAR

A área foliar (A_F) foi determinada na 1ª e 2ª coletas por meio do medidor fotoelétrico tipo LI 3000, pré-ajustado a partir de áreas variáveis conhecidas, resultando em um erro provável de 2,4%, pouco superior a precisão fornecida pelo fabricante (2%). Na coletas seguintes, A_F foi determinada a partir de discos foliares retirados com auxílio de um cilindro metálico. Em média foram obtidos 3 discos por lâmina foliar, excluindo-se a nervura central. Subsequentemente, os discos foram postos para secar em estufa de circulação forçada de ar até peso constante à 60°C, conjuntamente

com o restante do material foliar amostrado. A partir da equação:

$$A_F = \frac{(ad \times n) \times (wfl + wd)}{wd} \text{ (m}^2 \text{ planta}^{-1}\text{)},$$

onde ad é a área do disco, n é o número total de discos, wfl é o peso seco do restante do material foliar amostrado, wd é o peso seco dos discos, obteve-se a A_F da planta. A área foliar específica (AFE) foi obtida dividindo-se A_F pela W_F .

A área radicular (A_R) foi determinada também pelo medidor de área LI 3000, através do método fotoelétrico. A área radicular das duas primeiras coletas foram determinadas integralmente pelo medidor, o que não foi possível nas demais em função do elevado volume de raízes a ser processado em cada coleta. Para estas coletas optou-se pela medição eletrônica de área em amostras com 10% da massa fresca total, sendo o total estimado por extrapolação (Rossiello *et al*, 1995)

Cabe ressaltar as dificuldades envolvidas no trabalho com raízes de plantas adultas cultivadas em vasos com solo. Um problema reside na obtenção do material para as determinações. Neste experimento foram gastos até 30 minutos, por amostra, para lavagens em água corrente, sobre peneira. Perda de raízes de pequeno diâmetro, são inevitáveis com este procedimento, gerando um erro difícil de ser quantificado. Outro problema reside na presença de partículas inorgânicas entremeadas às raízes, que só eram possíveis de retirada após secagem das mesmas, por repeneiramento do material seco. Este procedimento mostrou-se adequado devido ao elevado percentual de areia do substrato. Existem métodos de clarificação de raízes por dispersão do material inorgânico, que poderiam ser utilizados, mas os mesmos pressupõem tratamentos químicos do material, o que pode prejudicar seu uso para

determinações analíticas subsequentes.

3.7.3. PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

Aos 135 DAP (coleta final), foram avaliados os parâmetros de rendimento de grão. Obteve-se: número de panículas (N_{PN}), massa seca total das sementes (W_{PN}), massa seca de sementes viáveis (W_{SV}), massa seca de sementes estéreis (W_{SE}), número de sementes viáveis por panícula (N_{SV}) e número de sementes estéreis por panícula (N_{SE}). A partir destes dados foram então calculados os seguintes parâmetros: massa seca média de panículas (W_{MPN} , quociente de W_{PN}/N_{PN}), massa seca média das sementes viáveis (W_{MSV} , quociente de W_{SV}/N_{SV}), percentagem de sementes estéreis ($\%_{SE}$, quociente de $\frac{N_{SE}}{N_{SV} + N_{SE}}$), índice de colheita (IC, quociente de W_{PN}/W_{PA}), número médio de sementes viáveis por panícula (N_{SVPN} , quociente de N_{SV}/N_{PN}) e número médio de sementes estéreis por panícula (N_{SEPN} , quociente de W_{SE}/W_{PA}).

3.7.4. DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DE N

As diferentes porções das plantas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 0,2 mesh e homogeneizadas. Destas retiraram-se amostras de 200 mg que foram submetidas à digestão para fins de determinação dos teores (T) de N_{total} através do método micro Kjeldahl (Nelson e Sommer, 1973) de cada parte da planta: folhas verde (T_{FV}); folhas senescentes (T_{FS}); colmo + bainha (T_C); raiz (T_R).

Para determinação dos teores de N das sementes (T_{PN}), 10 sementes com casca foram amostradas, pesadas e processadas como indicado

acima. Quando presente, a ráquis das panículas foram moídas e integradas na fração colmo + bainha. Foi obtido o peso de sementes descascadas a mão, a partir de outra sub amostra de sementes com casca, para a estimativa dos teores e conteúdos de N para semente descascada, sendo os fatores de correção: 1,4905 para IAC 4440 e 1,4221 para Comum Branco. Esses fatores resultam do quociente: W grão com casca / W grão descascado.

O conteúdo das diferentes porções (U_F , U_{FS} , U_C , U_R , U_{PN}) foram obtidos multiplicando-se os teores pelas massas secas respectivas. O conteúdo total de N por planta (U_T) foi obtido pelo somatório dos seus componentes. O teor de proteína bruta no grão (PG; mg g^{-1}) foi estimado como sendo: $[N] \times 5,95$ (Souza *et al*, 1993), onde $[N]$ (denominado T no texto) representa a quantidade de N (mg), por unidade de massa (g).

3.8. ASPECTOS ESTATÍSTICOS

Para realização da análise estatística dividiu-se o experimento em dois modelos, já que o fator dose de N foi introduzido aos 40 DAP (item 3.3). Dados este procedimento, os efeitos atribuíveis as variáveis podem ser descritos por 2 modelos:

Entre 0 e 40 DAP:

$$x_i = \bar{X} + Cul + DAP + Cul \times DAP + e_i;$$

Entre 40 e 135 DAP:

$$x_i = \bar{X} + Cul + DAP + Dose + Cul \times DAP + \\ Cul \times Dose + Dose \times DAP + Cul \times DAP \times Dose + e_i$$

onde: x_i = valor da repetição $x_{i\text{-ésima}}$ do parâmetro “x”, \bar{X} = valor médio do

parâmetro “x”, *Cul* = efeito do fator cultivar, *DAP* = efeito da época da colheita, *Dose* = efeito da dose de N e e_i = efeito dos fatores não controlados.

O modelo de análise para 0 - 40 DAP foi introduzido, porque ele expressa o efeito ambiente (época de colheita) sobre o desenvolvimento inicial das cultivares, e esse modelo torna-se necessário no auxílio da escolha da melhor função matemática de ajuste aos dados, retendo o sentido biológico do ritmo de crescimento (avaliado primeiramente neste trabalho pelo acúmulo de massa seca, por planta).

Os parâmetros de produção foram analisados separadamente, e o modelo assumido foi:

$$x_i = \bar{X} + Cul + Dose + Cul \cdot Dose + e_i.$$

O software utilizado para realizar as análises foi o SAEG 5W[®].

3.8.1. TESTE PARA HETEROCEDASTIA DAS VARIÂNCIAS

Para realizar a análise de variância, assumindo-se que o efeito dos tratamentos e do acaso são aditivos, é necessário que os erros experimentais sejam normalmente distribuídos e tenham variâncias não significativas. Em experimentos de níveis crescentes (coletas, doses, etc.), a variância dos parâmetros em estudo altera-se com a ontogenia vegetal caracterizando-se uma situação estatisticamente conhecida como heterocedastia (Araújo, 1995), que afeta a precisão do teste F. Nessa situação, é recomendado a transformação dos dados (Zimmermann, 1987). De acordo com Neter e Wasserman (1974), logaritmo natural (ln) é a transformação mais adequada para o caso em estudo.

Com intuito de testar se os dados experimentais foram afetados

pela distribuição heterocedástica dos erros, todos os parâmetros foram submetidos ao teste de Bartlett (Neter & Wasserman, 1974), para época (DAP), cultivar e doses. As Figura 3.8.1.1 e 3.8.1.2, apresentam os valores B (Bartlett) para os dados originais e transformados (ln) em função de coletas.

Assim, a ANOVA para os parâmetros que apresentaram heretocedastia foi realizada com os dados transformados, mesmo que isso não tenha reduzido a heterogeneidade das variâncias abaixo do limite B ($p \leq 0,05$), e os valores do quadrado médio para os parâmetros estudados, a sua significância pelo teste F e coeficiente de variação (CV%) encontram-se nos anexos 1, 2 e 3.

Os valores de B calculados para os fatores cultivar e dose (não apresentados), não foram limitantes para realização da ANOVA, isto é, apresentavam valores B abaixo do crítico a $p \leq 0,05$. Os valores de B calculado para os parâmetros de produção foram sempre inferiores ao valor crítico de B.

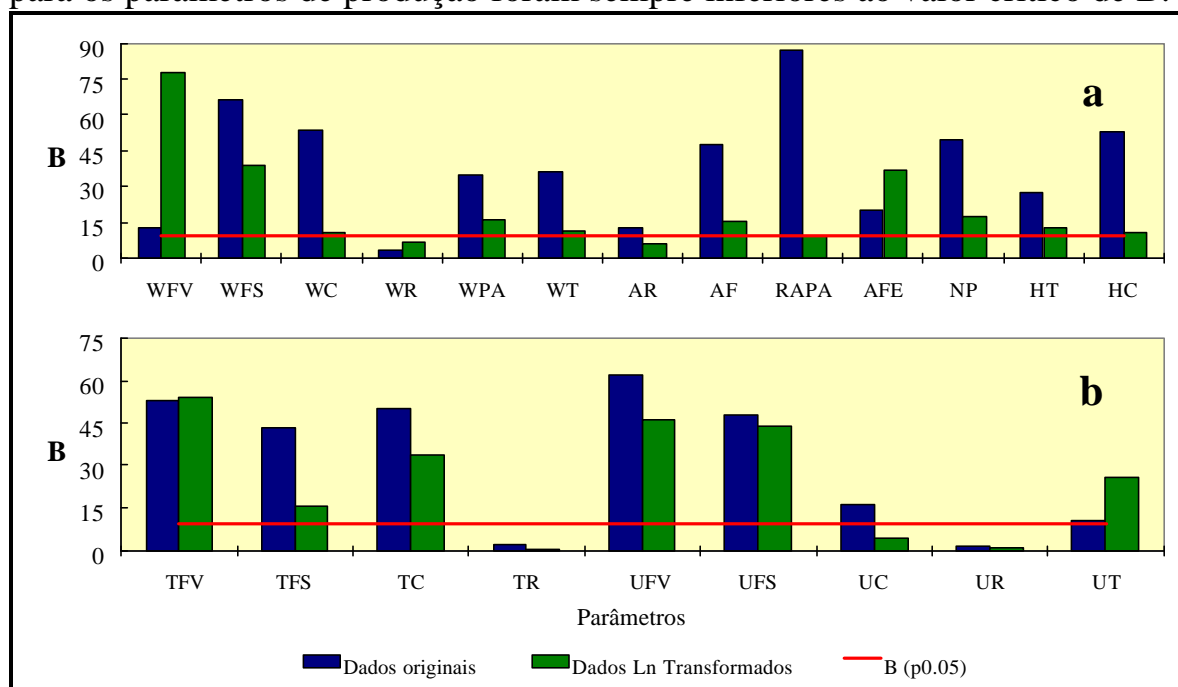


Figura 3.8.1.1. Valores de B para os dados originais e transformados em ln natural para os parâmetros estudados, da 3ª à 7ª coletas.

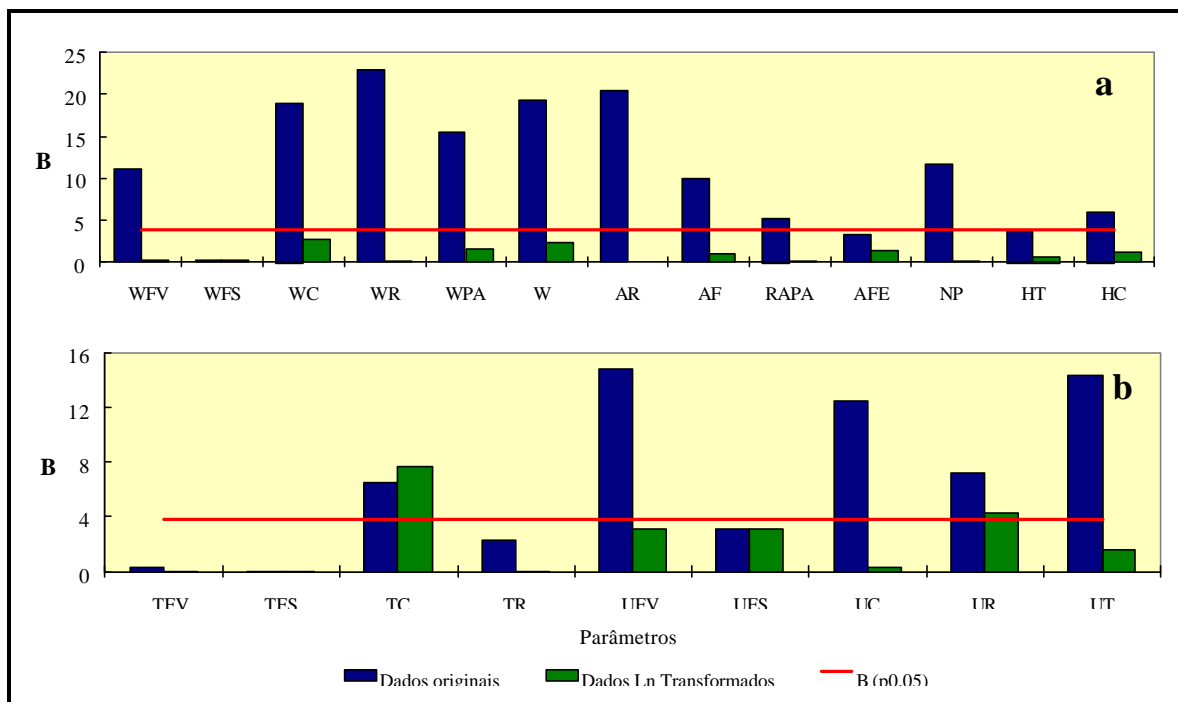


Figura 3.8.1.2. Valores de B para os dados originais e transformados em ln natural para os parâmetros estudados da 1ª e 2ª coletas.

3.9. AJUSTE DOS MODELOS PARA A ANÁLISE DE CRESCIMENTO

A partir da análise estatística, e não sendo significativa a interação cultivar \times dose para W_T e A_F (anexo 1), optou-se por ajustar curvas para descrever quantitativamente as acumulação da matéria seca, área foliar e radicular das cultivares, em função de DAP.

Para doses, houve um agrupamento de acordo com a significância dada pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Assim para W_T foram ajustadas 2 curvas. Uma primeira para as doses de 0 e 2 g N m⁻² e uma segunda para as doses de 4 a 8 g N m⁻². Para A_F foi ajustada somente uma curva para as duas cultivares, visto que não houve significância pelo teste F para tal parâmetro (anexo 1). Para A_R foi necessário ajustar duas curvas. Uma para as doses de 0 à 6 g N m⁻² e outra para as doses de 4 à 8 g N m⁻².

Para fins de ajuste de curvas de acúmulo de N, foram agrupados os valores de U_T da seguinte forma: 0 à 4 g N m⁻² e 6 e 8 g N m⁻² para a interação dose x DAP. Foram ajustada também as curvas correspondente à cada cultivar.

Em função dos ajustes primários foram derivados os seguintes parâmetros das interações cultivar x DAP e doses x DAP:

- a. Taxas de assimilação líquida (TAL);
- b. Influxo radicular de N (I_N);
- c. Taxa de crescimento absoluto (TCA) de matéria seca total;
- d. Taxa de expansão de área foliar (TEA_F);
- e. Taxa de acúmulo relativo (TAR) e absoluto (TAA) de N.

3.9.1. FUNÇÕES AJUSTADAS E ESCOLHA DOS MODELOS

Os parâmetros de crescimento foram ajustados de forma preliminar a quatro modelos básicos: exponencial polinomial de 2º grau, exponencial polinomial de 3º grau, Gompertz e logística. Os dois primeiros pelo método dos mínimos quadrados e os dois últimos, modelos não lineares, por processo iterativo com auxílio do Software SigPlot®.

A escolha destes modelos está baseada no trabalho prévio de França (1995).

A seleção da função de melhor ajuste obedeceu primeiramente ao maior coeficiente de correlação, complementado com a expectativa biológica. Adicionalmente, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de correlação entre os valores obtidos pela função e os dados originais. Os maiores valores de coeficientes indicam uma melhor aderência dos dados originais à função em

estudo. Assim, no estudo da interação cultivar \times DAP e dose \times DAP, para os dados de A_F e A_R , parâmetros que apresentaram senescência, uma exponencial polinomial de 3º grau foi escolhida (Araújo *et al*, 1996). Para W_T foi preferida a clássica equação de Gompertz.

O melhor ajuste para conteúdo total de N na planta foi dado por uma função logística.

4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

4.1. MASSA SECA (W_T)

Os dados da ANOVA (anexo 1), indicam efeitos significativos para cultivar, doses de N e efeitos interativos entre cultivar, dose de N e DAP. Na Tabela 4.1 são mostradas os valores de W_T (g planta⁻¹) para as cultivares estudadas, evidenciando a interação cultivar \times DAP.

Na Figura 4.1 é apresentado o modelo ajustado para o acúmulo de W_T das duas cultivares. Observa-se na mesma, que a variação ontogenética de W_T ajustou-se ao modelo de Gompertz, para ambas as cultivares ($R^2 = 0,99$ e $0,97$ para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente). Como indicado na Tabela 4.1 e observado na Figura 4.1, as diferenças em acúmulo de massa seca

total tornam-se significativos a partir de 115 DAP, isto é, aproximadamente 15 DAF (Dias Após Floração; Tabela 3.2). Portanto, quando estas cultivares foram desenvolvidas em potes com solo, não foi possível determinar diferenças em acúmulo de W_T na fase vegetativa de crescimento, contrastando com o observado previamente em solução nutritiva (França, 1995).

Tabela 4.1. Variação da massa seca total, em função das épocas de colheita para as cultivares estudadas.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾	C. Branco ⁽¹⁾
	----- W_T (g planta ⁻¹) -----	
60	33,43 A c	34,01 A d
80	48,08 A b	45,75 A c
100	70,91 A a	73,33 A a
115	70,87 A a	66,42 B b
135	71,98 A a	65,66 B b
média	59,05 A	57,03 B

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

Houve um efeito independente de cultivar com relação a fertilização nitrogenada que definiu duas faixas de respostas (significativo a $P_{0,05}$; resposta média em relação a todo ciclo das plantas): entre 0-2 e 4-8 g N m⁻² respectivamente, a partir dos quais ajustou-se os respectivos modelos (Gompertz) de acúmulo de W_T (Figura 4.2). O efeito de N foi evidenciado nas 3 coletas imediatas a sua aplicação, sendo que após os 100 DAP os dois grupos tendem a convergir para uma massa seca total comum. Essa interação, dose \times DAP, é apresentada na Figura 4.3, e quando avaliada por regressão múltipla,

apresentou respostas altamente significativas ($p=0,0001$ e $p=0,0002$ para DAP e dose respectivamente), no período de crescimento exponencial estudado (60 - 100 DAP). Já no período de 100-135 DAP não houve resposta diferencial entre as doses aplicadas.

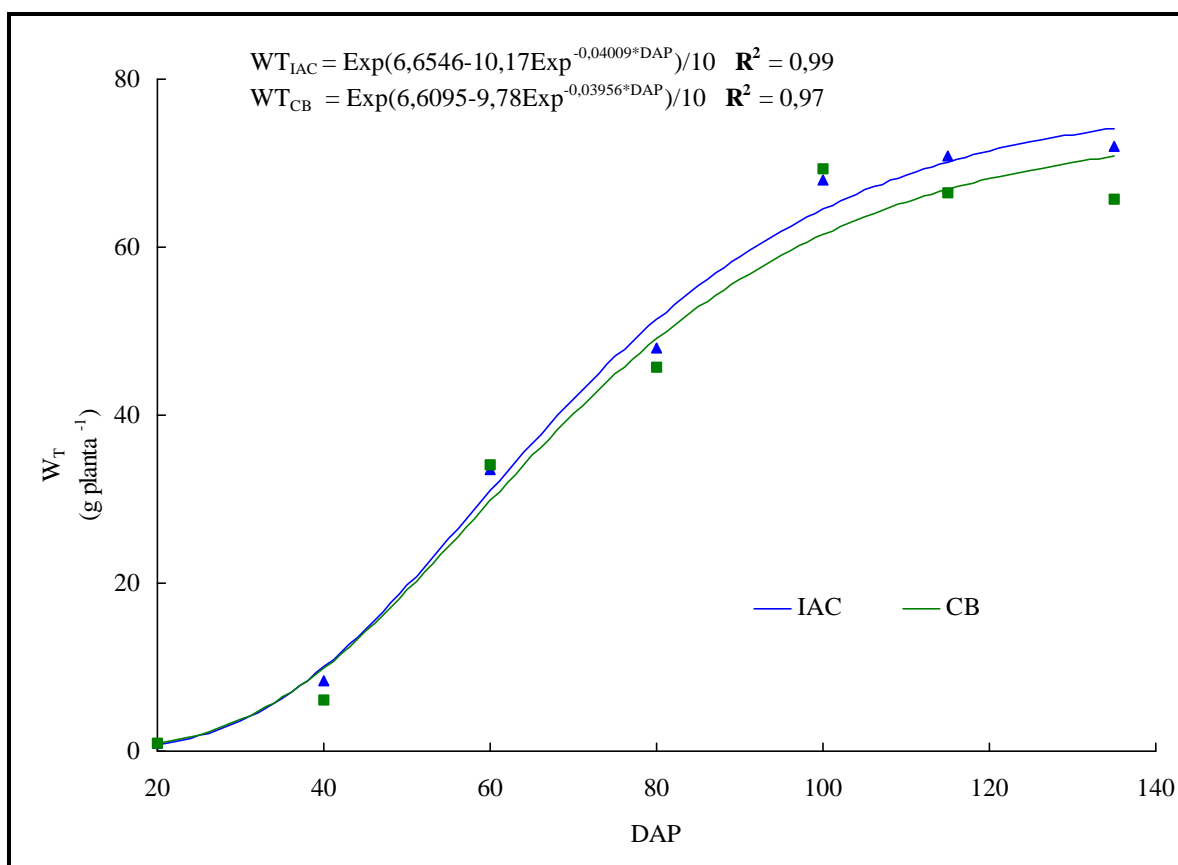


Figura 4.1. Curvas de acumulação de W_T para IAC 4440 e Comum Branco, para todo o ciclo da cultura.

Valores diferenciais entre as duas cultivares foram também encontrados por França (1995). No experimento prévio em solução nutritiva, a superioridade de IAC 4440 foi evidenciada com menor idade fisiológica em função do suprimento quase contínuo de N. Um ganho acentuado de W_T para a

cultivar IAC 4440, foi também encontrado por Machado *et al* (1990), quando comparando esta cultivar com IAC 120, uma cultivar do tipo tradicional, com características muito semelhantes às da Comum Branco, exceto pela característica de ser um cultivar adaptado à inundação.

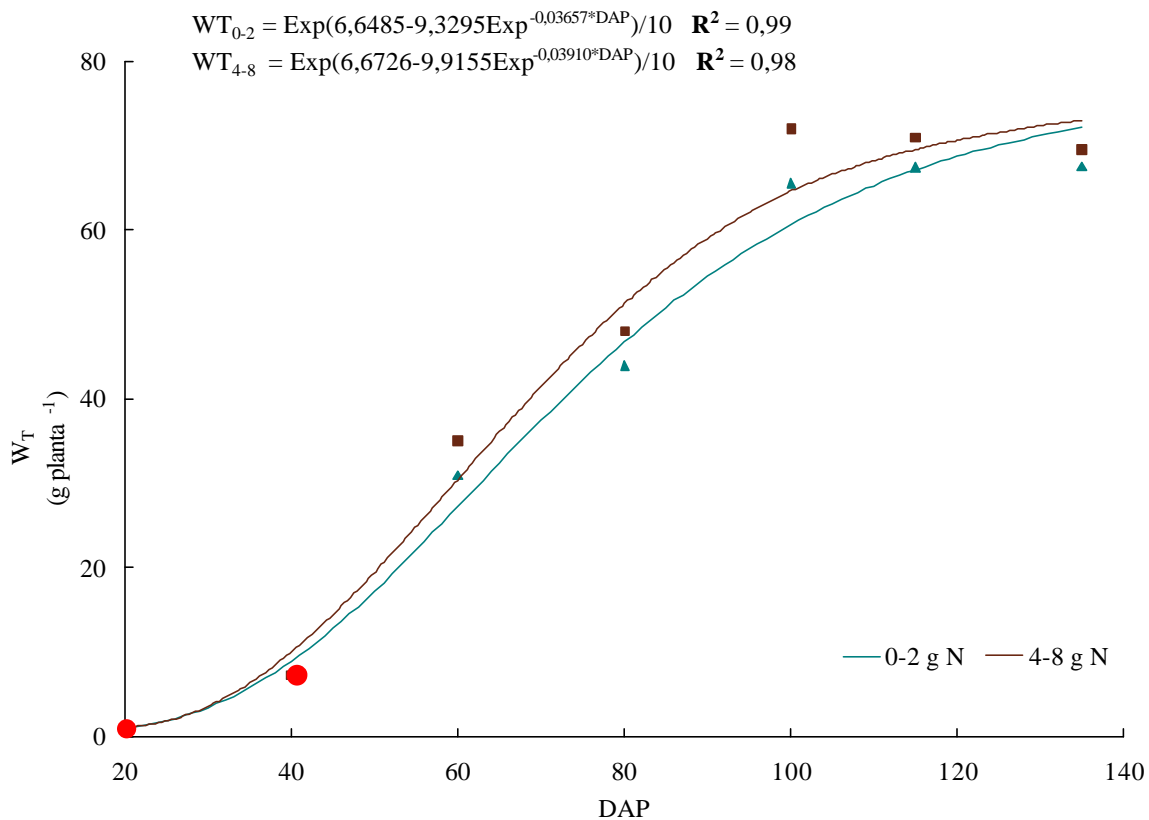


Figura 4.2. Curvas de acúmulo de W_T por grupo de resposta a N, em função de DAP. ●: W_T para o período vegetativo inicial, anterior a fertilização nitrogenada.

Desta análise inicial, cabe concluir que os padrões de acúmulo de W_T foram similares para os genótipos. O N afetou W_T independentemente de cultivares, havendo resposta linear a adição do nutriente apenas no período de 60 a 100 DAP.

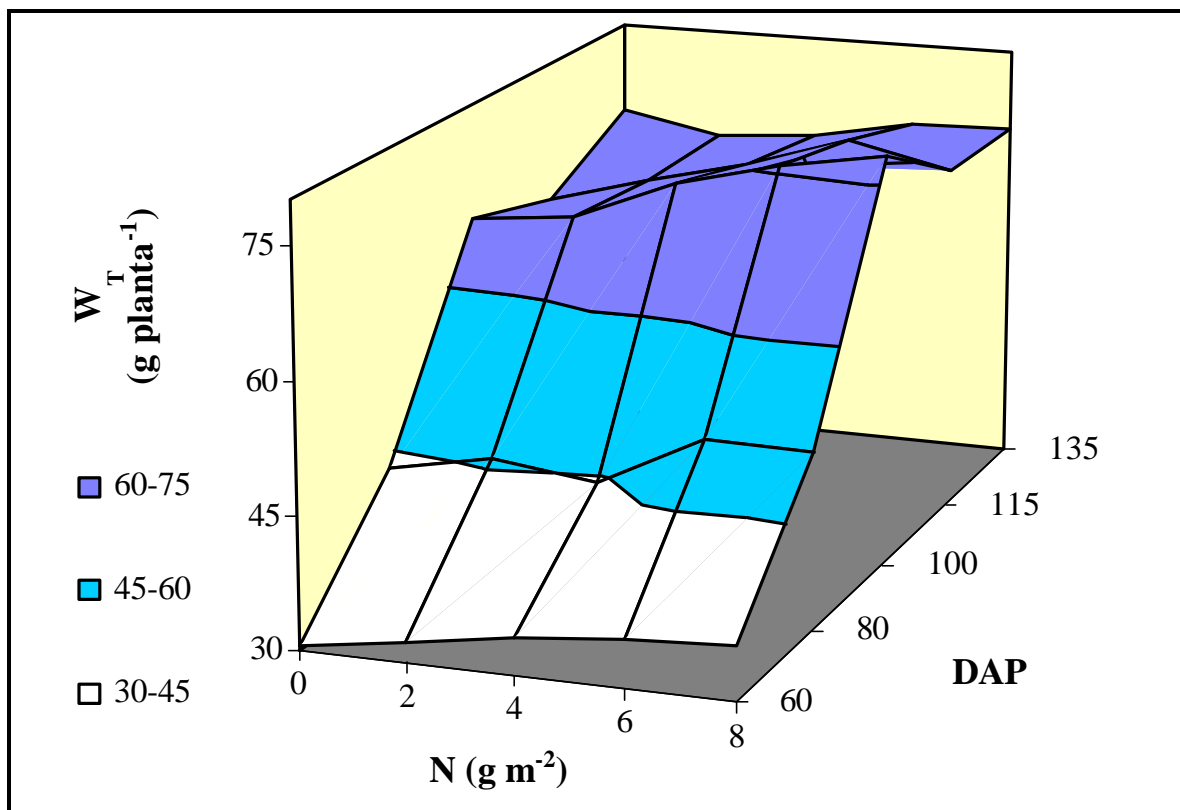


Figura 4.3. Superfície de resposta para a interação DAP \times dose para o período de 60 a 135 DAP. Para o período de 60 a 100 DAP, W_T (g planta^{-1}) = $4,85 + 1,833N + 0,505 \text{ DAP}$; $R^2=0,69^*$.

4.1.1. MASSA SECA DE FOLHA VERDE (W_{FV})

As duas cultivares apresentaram similaridade para este parâmetro, havendo porém uma interação com DAP (anexo 1), onde observa-se W_{FV} significativamente maior nas fases de floração e grão leitoso / pastoso (100-115 DAP) para a cultivar IAC 4440, que não obstante apresentou uma redução de 71% neste parâmetro no estágio final de enchimento do grão. No mesmo período (115-135 DAP), Comum Branco teve redução relativa de apenas 28,5% (Tabela 4.1.1.1).

Tabela 4.1.1.1. Massa seca do folha fotossinteticamente ativa das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440		C. Branco	
	-----W _{FV} (g planta ⁻¹) -----			
60	7,32	A b	7,71	A b
80	9,15	A a	8,80	A a
100	7,89	A b	6,21	B c
115	4,73	A c	4,03	B d
135	1,29	B d	2,88	A e
média	6,07	A	5,92	A

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (P_{0,05}). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

As doses de N de 6-8 g N m⁻² mantiveram uma maior W_{FV} entre os 60 - 100 DAP, quando comparadas com as doses menores, mas esse efeito foi diluído no período de enchimento do grão. O efeito da interação dose × DAP é mostrado na Figura 4.1.1.1.

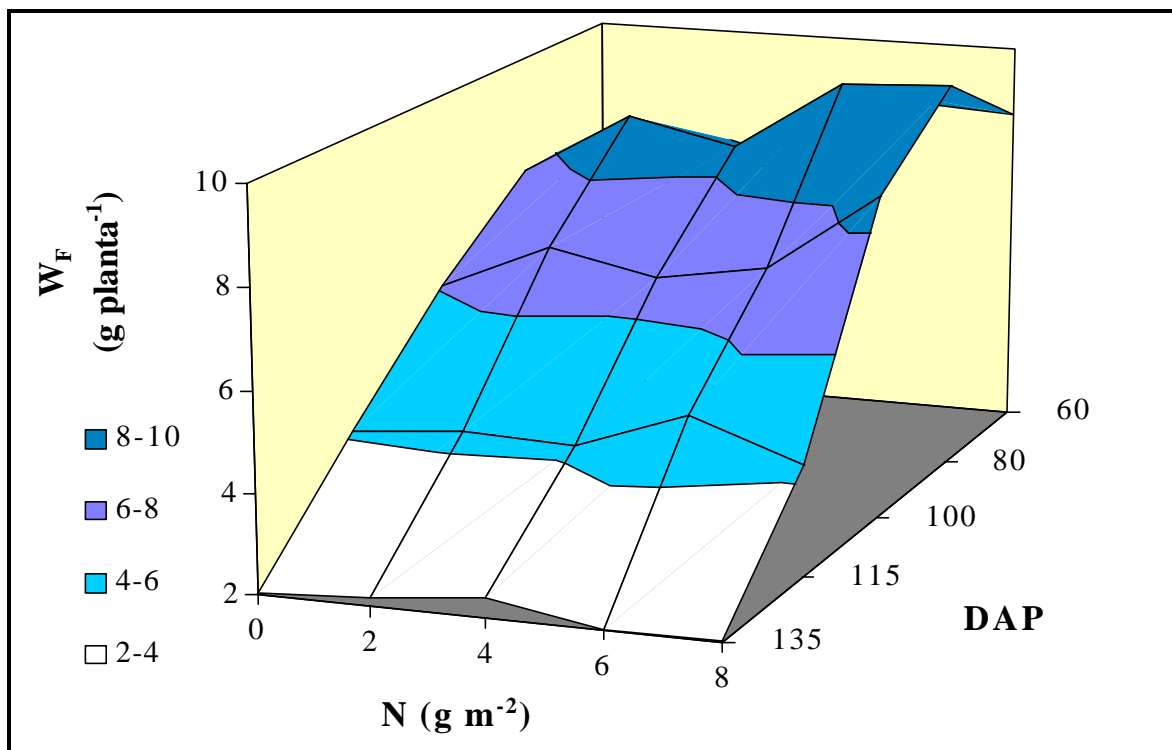


Figura 4.1.1.1. Efeito interativo DAP \times dose de N para massa seca de folha verde no período 60 - 135 DAP.

4.1.2. MASSA SECA DE FOLHA SENESCENTE (W_{FS})

A cultivar IAC 4440 apresentou em média uma menor W_{FS} para o período estudado (60-135 DAP), resultado de uma menor senescência entre 60-100 DAP. Já que no período final (115-135 DAP) não houveram diferenças significativas (Tabela 4.1.2.1).

Em IAC 4440, a redução observada de W_{FV} no período 100 - 135 DAP (83,7 %; Tabela 4.1.1.1) foi acompanhada de forma correlata por um acréscimo significativo (91 %) na fração W_{FS} para o mesmo período (Tabela 4.1.2.1). Em Comum Branco, no mesmo período (100 - 135 DAP), W_{FV} foi

reduzida em 53,6%, com aumento de massa foliar senescente de 35,6%.

Tabela 4.1.2.1. Massa seca do folha senescente das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾	C. Branco ⁽¹⁾
	-----W _{FS} (g planta ⁻¹) -----	
60	0,51 B e	0,95 A d
80	2,12 B d	2,71 A c
100	4,83 B c	6,16 A b
115	6,73 A b	7,49 A a
135	9,23 A a	8,35 A a
média	4,69 B	5,13 A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

Numa apreciação baseada no coeficiente de partição W_{FV}/W_{FT} (onde W_{FT} é massa seca foliar total), pode-se deduzir que IAC 4440 manteve uma exportação de massa foliar crescente durante o período da antese até maturação. Com efeito, a relação W_{FV}/W_{FT} variou em 0,21 no período de 100-115 DAP e 0,29 g g⁻¹ no período final de maturação (115-135 DAP). Nos mesmos períodos, os valores de redução para Comum Branco foram de 0,15 g g⁻¹, entre 100-115 DAP e apenas 0,09 g g⁻¹ entre 115-135 DAP (Tabela 4.1.2.2).

Tomados em conjunto, esses dados sugerem que em Comum Branco, a remobilização a partir da massa foliar foi muito menos acentuada do que em IAC 4440.

Tabela 4.1.2.2. Variação da fração massa de folha verde (W_{FV}):massa foliar total (W_{FT}), durante o período antese-maturação (100-135 DAP).

DAP	IAC 4440	C. Branco
	(g W_{FV} g ⁻¹ W_{FT})	
100	0,62	0,50
115	0,41	0,35
135	0,12	0,26
	Redução por período	
100-115	0,21	0,15
115-135	0,29	0,09

A interação dose \times DAP resultou significativa (anexo 1), e indicou uma redução de W_{FS} para as maiores doses aos 60 DAP. Este efeito da dose de N foi revertido aos 80 DAP e depois cessou de influir (Tabela 4.1.2.3)., sendo os aumentos em W_{FS} , apenas decorrentes da idade da planta. Aparentemente então, a adição de nitrogênio não retardou significativamente a senescência foliar, um efeito comumente descrito na literatura (Dingkuhn *et al*, 1990; Bellow, 1995), muito provavelmente por não ter aumentado o teor de N nas folhas (item 4.3.1).

Tabela 4.1.2.3. Interação dose \times DAP para massa seca de folha senescente⁽¹⁾.

N (g m ⁻²)	DAP				
	60	80	100	115	135
	-----W _{FS} (g planta ⁻¹)-----				
0	0,91 E a	2,08 D b	5,07 C a	6,43 B a	8,83 A a
2	0,73 D ab	1,99 C b	5,62 B a	6,65 AB a	7,90 A a
4	0,72 D ab	2,66 C ab	5,44 B a	6,69 AB a	8,46 A a
6	0,64 D b	2,44 C a	5,45 B a	7,94 A a	9,54 A a
8	0,66 D b	2,91 C a	5,91 B a	7,86 A a	9,21 A a
média	0,73 E	2,42 D	5,50 C	7,11 B	8,79 A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas entre dose de N.

4.1.3 MASSA SECA DE COLMO + BAINHA (W_C)

Considerando-se o valor médio de W_C as cultivares em estudo não apresentaram diferenças entre si, para o período de 60-135 DAP, porém, o componente de interação com DAP foi significativo (Tabela 4.1.3.1). IAC 4440 mostrou maior peso de colmo+bainha entre 60-80 DAP. Maior massa acumulada no período pré-floração sugere maior capacidade de estoque de fotossintatos neste compartimento (Dingkunhn *et al*, 1990; Murata & Matsushima, 1975; Sasahara *et al*, 1993). Bainhas foliares, aqui consideradas como componentes de W_C, parecem atuar como acumuladores importantes de N reduzido e carboidratos (Fernandes & Rossiello, 1995).

Aos 100 DAP, W_C foi similar foi superior nas duas cultivares, atingindo seu máximo (Tabela 4.1.3.1). Após a floração, IAC 4440 teve uma redução pronunciada da massa seca alocada neste compartimento (47% à

maturação), enquanto em Comum Branco esse percentual de decréscimo foi menor (36%).

Tabela 4.1.3.1. Massa seca do colmo + bainha das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾	C. Branco ⁽¹⁾
	-----W _C (g planta ⁻¹) -----	
60	14,62 A d	13,12 B d
80	25,23 A c	21,05 B c
100	43,82 A a	44,39 A a
115	35,39 A b	31,07 B b
135	23,12 B c	28,42 A b
média	28,44 A	27,61 A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (P_{0,05}). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre DAP.

O N promoveu um aumento médio em W_C independente de cultivar, de aproximadamente 17% (Tabela 4.3.2.), considerando a relação de variação entre os níveis 0-6/8 g N m⁻², e a sua interação com DAP manifestou-se na coleta seguinte à aplicação de N (60 DAP). O mesmo efeito foi detectado na coleta subsequente a floração plena (115 DAP). Deve ser considerado que no período 80-100 DAP, onde não houve significância entre as doses, corresponde ao período de acúmulo de reservas no colmo nas duas cultivares, onde provavelmente o genótipo teve maior influência que o fator dose de N, acarretando a sua não significância.

Tabelas 4.1.3.2. Interação dose \times DAP para massa seca colmo + bainha⁽¹⁾.

N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
-----W _C (g planta ⁻¹) -----						
0	11,14 D b	21,65 C a	40,15 A a	28,86 B b	26,91 BC a	25,74 b
2	14,05 C ab	22,96 B a	40,26 A a	32,11 A ab	25,37 B a	26,95 ab
4	14,07 C ab	21,88 B a	44,55 A a	34,93 A ab	24,87 B a	28,06 ab
6	14,74 D a	25,41 C a	47,40 A a	37,22 B a	25,40 C a	30,03 a
8	15,35 D a	23,80 C a	48,18 A a	33,03 B ab	26,31 C a	29,33 a
média	13,87 D	23,14 C	44,11 A	33,23 A	25,77 B	

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (P_{0,05}). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas entre dose de N.

Numa apreciação geral, considerando as interações DAP \times dose de N, para massa seca foliar total (a partir de seus componentes W_{FV} e W_{FS}; Figura 4.1.1.1 e Tabela 4.1.2.3) e W_C (Tabela 4.1.3.2) pode-se observar que o N afetou em maior grau o crescimento de folhas do que o de colmo em função da ontogenia da planta.

4.1.4. MASSA SECA DE RAIZ (W_R)

W_R foi significativa apenas para cultivar (anexo 1). Comum Branco apresentou, com exceção da coleta aos 60 DAP, uma massa seca radicular sempre superior à IAC 4440 (Tabela 4.1.4.1).

Tabela 4.1.4.1. Massa seca de raiz⁽¹⁾ para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾	
	-----W _R (g planta ⁻¹) -----			
60	10,98	A a	12,23	A a
80	11,58	B a	13,19	A a
100	9,78	B a	11,42	A a
115	10,74	B a	12,45	A a
135	10,12	B a	11,43	A a
média	10,64	B	12,14	A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (P_{0,05}). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre DAP.

4.1.5. MASSA SECA DA PARTE AÉREA (W_{PA}) E RELAÇÃO RAIZ:PARTE AÉREA (RA:PA)

A W_{PA} apresentou significância para todos os fatores estudados (anexo 1), havendo interação só para cultivar × DAP. A cultivar IAC 4440 apresentou superioridade de W_{PA}, no período 60-115 DAP como resultado de maior W_{FV} e W_C, e nas últimas coletas (115-135 DAP) pela maior massa seca de panícula. França (1995), encontrou resultados semelhantes para W_{FV} e W_C. O maior ganho de W_{PN} foi também descrito por Machado *et al* (1990), quando estudou o par IAC 4440/IAC 120. Por sua vez, a cultivar Comum Branco apresentou perda de W_{PA} nestas últimas duas coletas (Tabela 4.1.5.1), por razões que serão discutidas no item 4.1.10.

Tabela 4.1.5.1. Massa seca de parte aérea⁽¹⁾ para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440		C. Branco	
	-----W _{PA} (g planta ⁻¹) -----			
60	22,45	A c	21,78	A d
80	36,50	A b	32,56	B c
100	61,12	A a	61,91	A a
115	60,13	A a	53,97	B b
135	61,86	A a	54,24	B b
média	48,41	A	44,89	B

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (P_{0,05}). Letras maiúsculas contrastam entre colunas e letras minúsculas entre linhas.

A resposta média a aplicação de N pode ser expressa por uma função quadrática (p=0,03; Figura 4.1.5.1). Essa resposta, é resultado do incremento médio obtido a partir do somatório de todas as sua frações, as quais isoladamente não apresentaram significância de regressão ao fator dose de N.

Ao se considerar a equação obtida, a dose de máxima eficiência ($\frac{dW_{PA}}{dN} = 0$) é próxima de 10 g N m⁻², sugerindo que poderia haver uma pequena produção adicional à aplicação de mais N no vaso. A forma curvilínea da curva constitui uma resposta típica à aplicação de doses crescentes de N (Sinclair & Horie, 1989; Below, 1995).

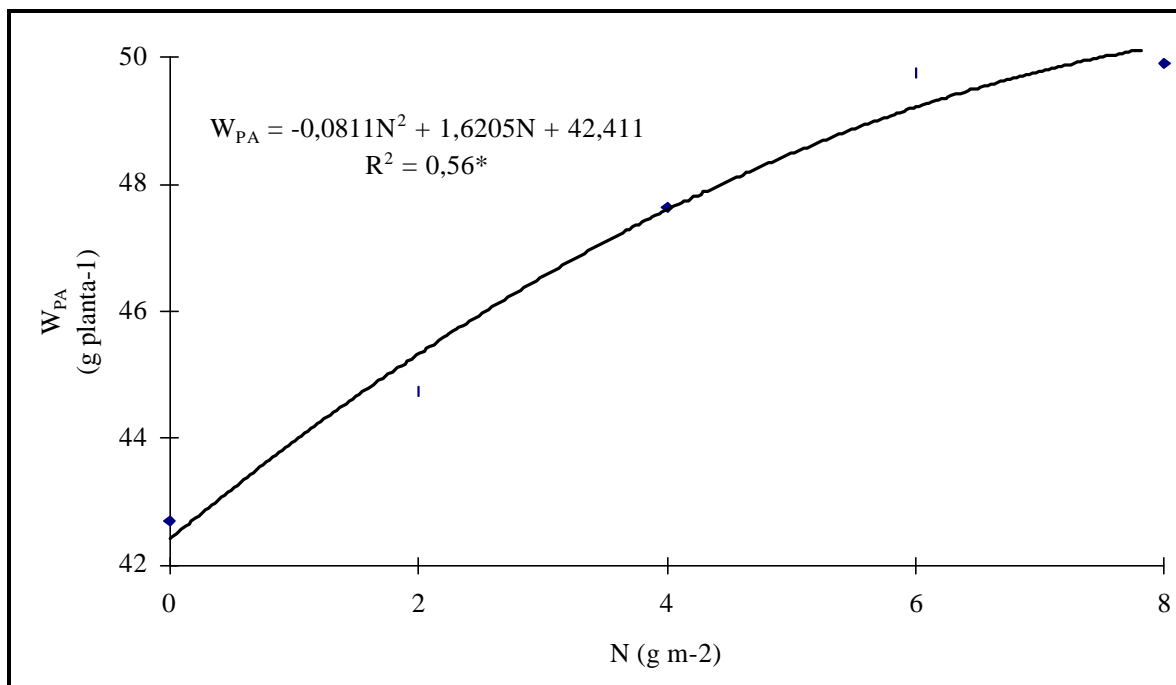


Figura 4.1.5.1. Resposta média das cultivares e das épocas em ganho de massa seca de parte aérea, em função da aplicação de nitrogênio.

A relação raiz:parte aérea nas duas cultivares reduziu-se com o desenvolvimento das plantas, uma resposta ontogenética comum (Evans, 1972). As diminuições da relação Ra:Pa foram resultado principalmente do aumento médio de W_{PA} para o período experimental nas duas cultivares (Figura 4.1.5.1). Comum Branco, que após a floração experimentou perda de W_{PA} (Tabela 4.1.5.1), aumentou, excepcionalmente esta relação. Em todas as datas amostrais, IAC 4440 apresentou menor relação Ra:Pa que Comum Branco (Tabela 4.1.5.2). Isso diverge dos dados apresentados por França (1995), onde, IAC 4440 teve maior Ra:Pa na fase vegetativa, em função de menor W_{PA} em relação a Comum Branco, além de que esta última, quando em solo, apresentou W_R superior à cultivar irrigada (Tabela 4.1.4.1). Entretanto, deve ser considerado que como outros autores, França (1995) não considerou

o peso da massa seca foliar senescente, que como já observado (Tabelas 4.1.2.1 e 4.1.5.1) tem importante contribuição em W_{PA} .

Tabela 4.1.5.2. Relação raiz:parte aérea (Ra:Pa) das cultivares em estudo para o período dos 60 a 135 DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾	C. Branco ⁽¹⁾
	-----Ra:Pa (g W_R g ⁻¹ W_{PA})-----	
60	0,52 B a	0,58 A a
80	0,32 B b	0,40 A b
100	0,16 A c	0,19 A d
115	0,18 B c	0,23 A c
135	0,16 B c	0,21 A cd
média	0,27 B	0,32 A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

Com relação ao efeito de N isoladamente, houve uma diminuição na relação Ra:Pa, com o aumento da doses. Esse efeito pode ver observado na Figura 4.1.5.2, e é resultado da promoção diferencial do N sobre o crescimento da parte aérea em relação à raiz (Fernandes & Rossiello, 1995).

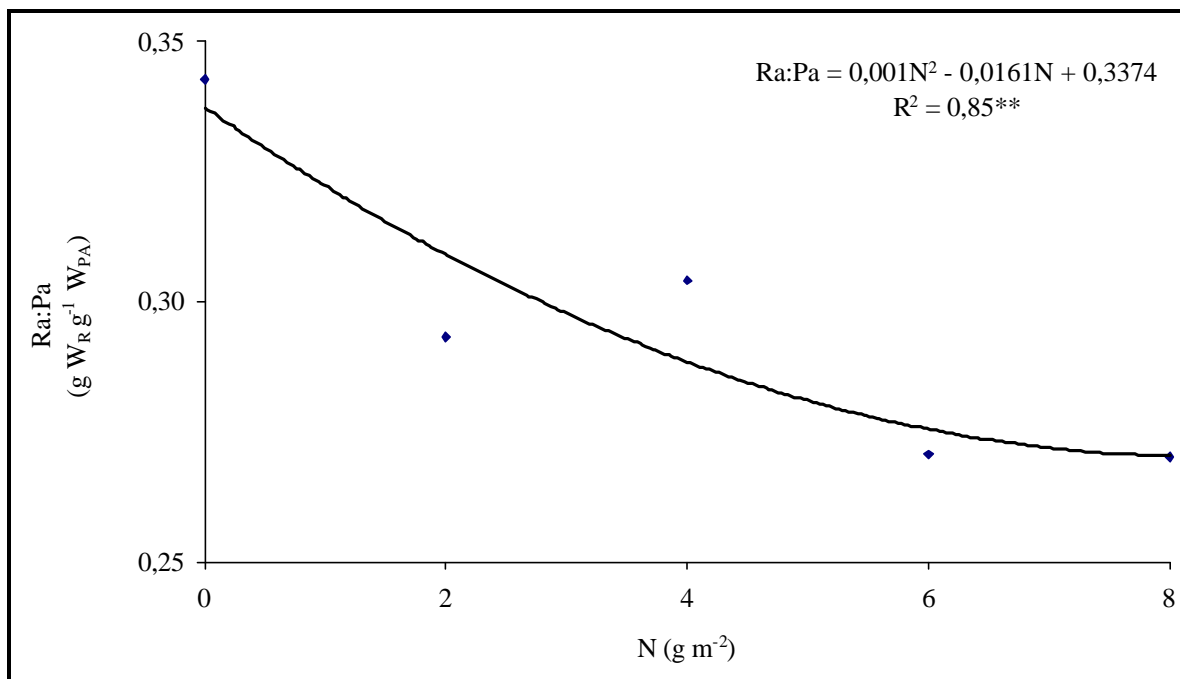


Figura 4.1.5.2. Efeito das doses de N na relação raiz:parte aérea (Ra:Pa) para o período de 60-135 DAP.

4.1.6 ÁREA FOLIAR VERDE (A_F) E ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (A_{FE})

A área foliar funcional (A_F) mostrou diferenças significativas (anexo 1) entre as cultivares, devido a interação com DAP (Tabela 4.1.6.1). A cultivar IAC 4440 apresentou superioridade durante a fase exponencial, e ainda na fase pós-floração. Já no período final de maturação, mostrou acentuada senescência, a qual acarretou uma redução de 73 % aos 135 DAP em relação a 115 DAP. A cultivar Comum Branco por sua vez manteve maior área foliar verde somente na coleta final, caracterizando portanto, menor senescência foliar no período final de maturação.

Tabela 4.1.6.1. Área foliar das cultivares IAC 4440 e Comum Branco e sua interação com a época (DAP).

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾	C. Branco ⁽¹⁾
----- A _F (m ² planta ⁻¹) -----		
60	0,204 A a	0,168 B a
80	0,197 A a	0,170 B a
100	0,160 A b	0,130 B b
115	0,103 A c	0,092 A c
135	0,027 B d	0,041 A d
média	0,138 A	0,120 B

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre colunas e letras minúsculas entre linhas.

A Figura 4.1.6.1. apresenta as curvas ajustadas para a A_F das cultivares para todo o período experimental. Os resultados de França (1995) em solução nutritiva são similares, para a fase vegetativa, diferindo apenas em magnitude.

O maior acúmulo de W_T em IAC 4440 em relação a Comum Branco, pode ser reflexo de maior A_F aliada a sua arquitetura foliar (porte ereto). Se bem que este último fator, que tem importância reconhecida sobre taxa fotossintética em condições de campo (Counce, 1992), pode ter pesado menos nas condições da casa de vegetação, onde os potes estavam submetidos a incidência de radiação solar (RFA 0,4-0,7 nm) tanto direta como refletida, incidindo hemisfericamente, sobre o conjunto de potes, que suportaram um estand de plantas muito inferior ao usual em condições de campo.

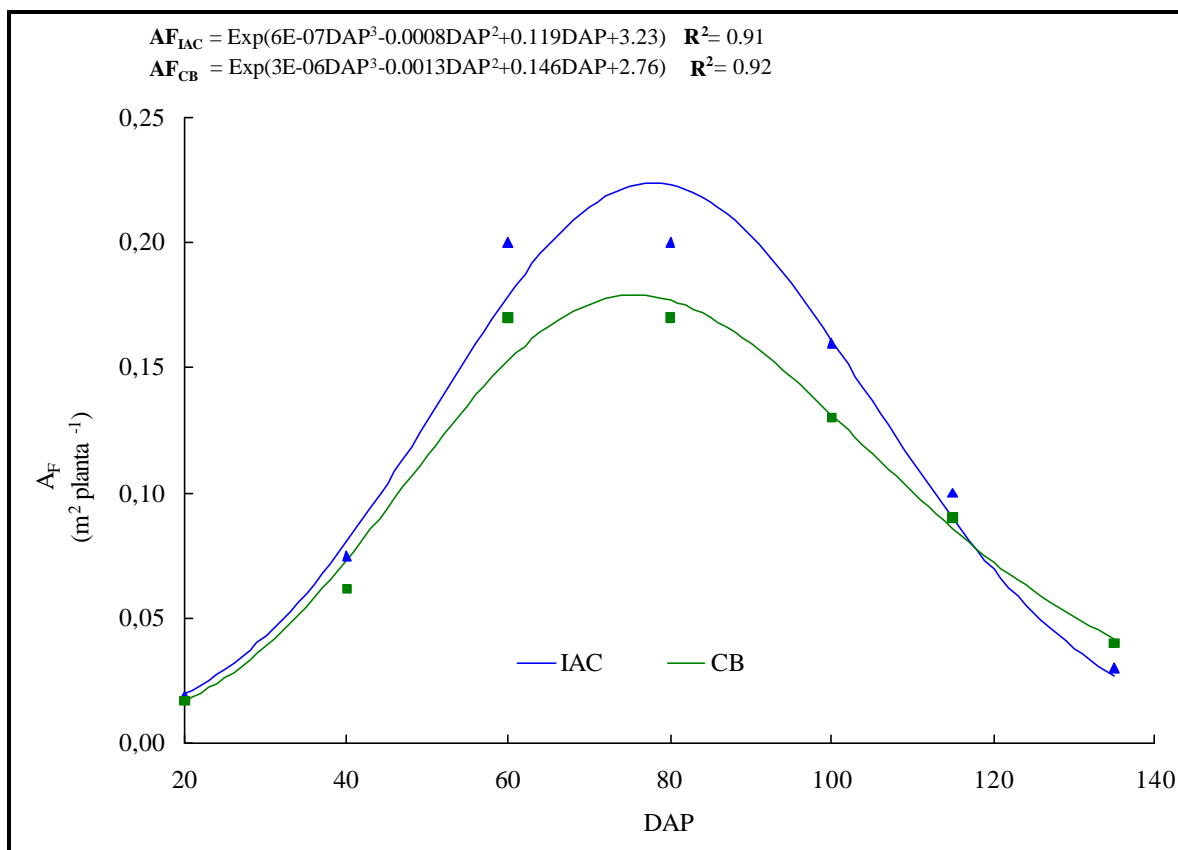


Figura 4.1.6.1. Área foliar das cultivares IAC 4440 e Comum Branco ajustadas por regressão, para os 135 DAP.

Considerando-se a taxa de expansão da área foliar (TEA_F , $m^2 \text{ dia}^{-1}$), observou-se que a mesma apresentou um máximo de $0,0045 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ para Comum Branco, o qual aconteceu aos 47 DAP, e de $0,0057 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ para IAC 4440, aos 53 DAP (Figura 4.1.6.1.1). Isto implica que a cultivar irrigada expandiu área foliar a uma taxa crescente, e durante um período maior de tempo. Maior taxa de expansão nesta cultivar é explicável por um maior perfilhamento na mesma (Figura 4.1.9.1). O padrão de perfilhamento será considerado posteriormente. Após atingir o máximo, as taxas tornaram-se decrescentes (Figura 4.1.6.1.1) até atingir valor nulo aos 76 e 82 DAP para

Comum Branco e IAC 4440 respectivamente. A partir dos 80 DAP, como já visto houve redução de W_{FV} , com conseqüente redução de área foliar (Figura 4.1.6.1). Esta perda absoluta de folha explica os valores negativos das taxas, a partir desta data. A partir dos 90 DAP, a TEA_F de IAC 4440 tornou-se mais negativa que a de Comum Branco, como reflexo de uma taxa de senescência mais acelerada.

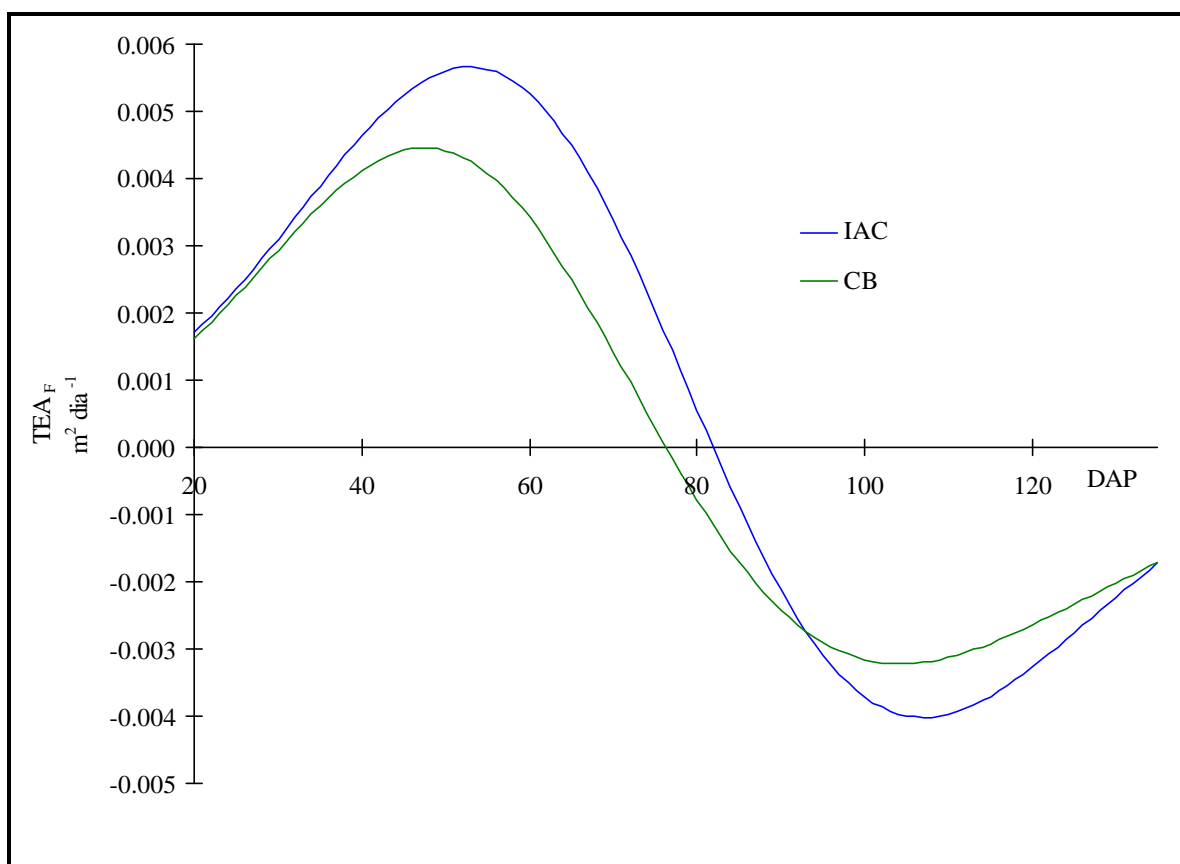


Figura 4.1.6.1.1. Taxa de Expansão da Área Foliar (TEA_F), por planta, das cultivares IAC 4440 e Comum Branco.

A fertilização nitrogenada não influenciou na variação da A_F das cultivares, assim como não interagiu com a época (anexo 1). A Figura 4.1.6.2 mostra, portanto, uma única curva de ajuste de A_F para todas as doses. Schinier *et al* (1990), trabalhando com a cultivar IR 68, encontrou diferenças significativas de IAF, principalmente para doses maiores que 90 kg N ha^{-1} (9 g N m^{-2}).

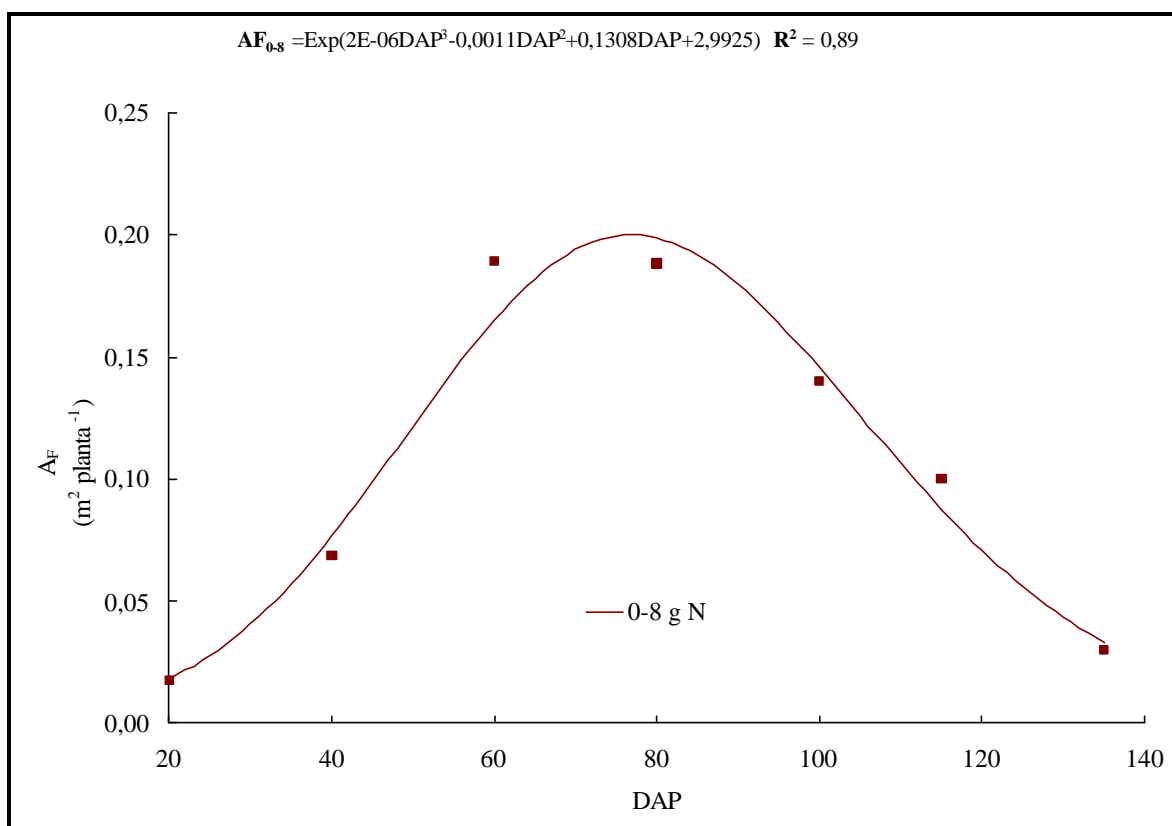


Figura 4.1.6.2. Área foliar das plantas para 20-135 DAP. Foi ajustada uma curva para todas as doses de N, já que este fator não teve efeito significativo.

A área foliar específica (AFE), relação entre área e massa seca foliar, apresentou significância para todos os fatores isolados e para a interação

cultivar \times DAP. Na Tabela 4.1.6.2 são apresentados os valores para cada período, verificando-se que em praticamente todas as coletas, IAC 4440 apresenta maior A_F por unidade de W_{FV} , indicativo de uma menor espessura foliar em relação a Comum Branco. Independente de cultivar, a espessura média das folhas aumentou com a idade das plantas. Isto é reflexo de que conforme progride o desenvolvimento ontogenético, as TEA_F declinaram mais rapidamente que as correspondentes TCA_{WF} , independente de cultivares. França (1995) observou uma tendência similar, entre os 65-95 DAP. Os seus valores de redução foram da ordem de 11% e 8% para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente. No presente caso, essa percentagem de redução foi 2,5 vezes maior na IAC 4440, em relação a Comum Branco, quando se compara período similar (60-100 DAP; Tabela 4.1.6.2).

Trabalhando em condições de campo, Durghein *et al* (1993), observaram nas Filipinas que a cultivar IR 64 teve uma redução de AFE de 0,040 para 0,020 $m^2 g^{-1}$ durante o desenvolvimento da planta, que resultou independente da taxa de aplicação de N.

Tabela 4.1.6.2. Área foliar específica das cultivares IAC 4440 e Comum Branco e sua interação com a época.

DAP	IAC 4440	C. Branco	
-----AFE ($m^2 \times 10^{-4} g^{-1}$)-----			
60	278,74	A a	218,11 B ab
80	216,04	A b	194,65 B b
100	203,64	A b	211,86 A ab
115	216,84	A b	228,31 A a
135	215,49	A b	152,08 B c
média	226,15	A	201,00 B

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre colunas e letras minúsculas entre linhas.

No presente caso, as doses de N afetaram a AFE das cultivares de maneira independente, aumentando a sua espessura média, evidenciado pelo aumento em peso específico foliar (WEF, o recíproco de AFE) para o período em estudo (Figura 4.1.6.3). As diferenças na AFE podem ter sido responsáveis pelo maior ganho de W_T em função de dose de N (Zonta *et al*, 1995).

Variedades de folhas grossas e alto conteúdo de N, tem alta atividade fotossintética, porém menor capacidade para expandir área foliar (Tsunado, 1962, citado por Murata & Matsushima, 1975; Below, 1995), como será considerado em relação a discussão da TAL (Taxa de Assimilação Líquida).

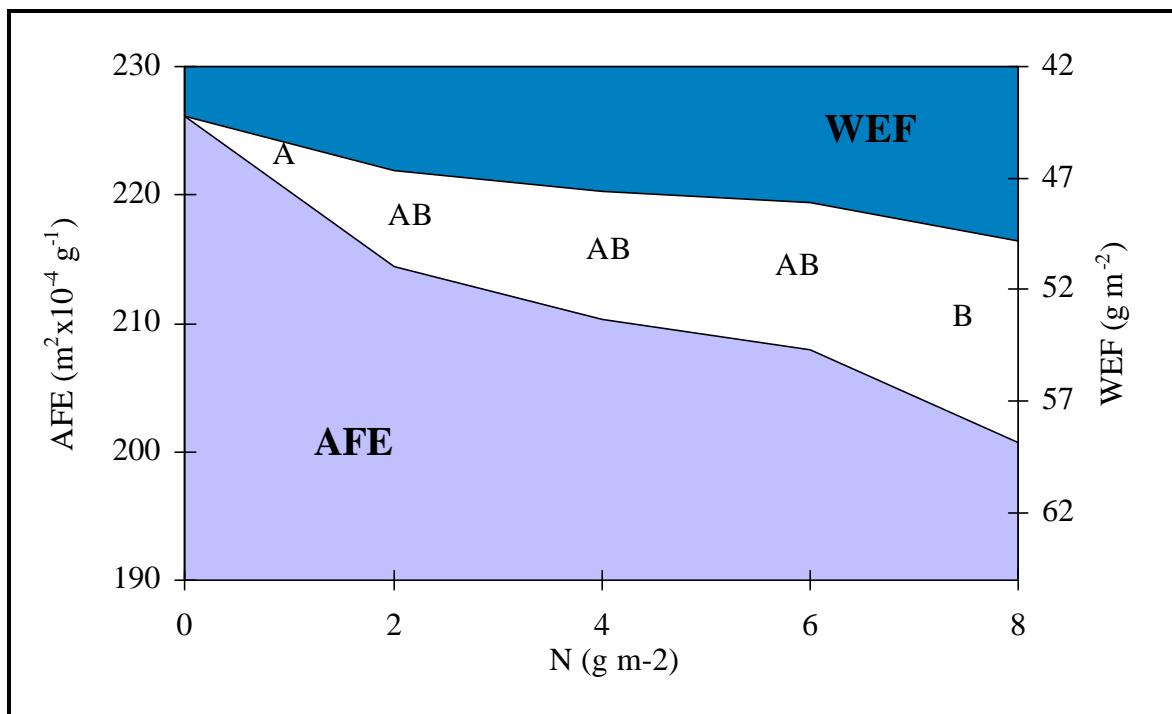


Figura 4.1.6.3. Área Foliar Específica (AFE) e Massa Específica da Folha (WEF) em resposta a fertilização nitrogenada. Pontos experimentais seguidos da mesma letra não resultam significativos pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$).

4.1.7. ÁREA RADICULAR

As cultivares em estudo apresentaram áreas radiculares com diferenças significativas (anexo 1) em função a sua idade. A Figura 4.1.7.1 mostra as curvas ajustadas para o crescimento da área radicular das cultivares para todo o período experimental.

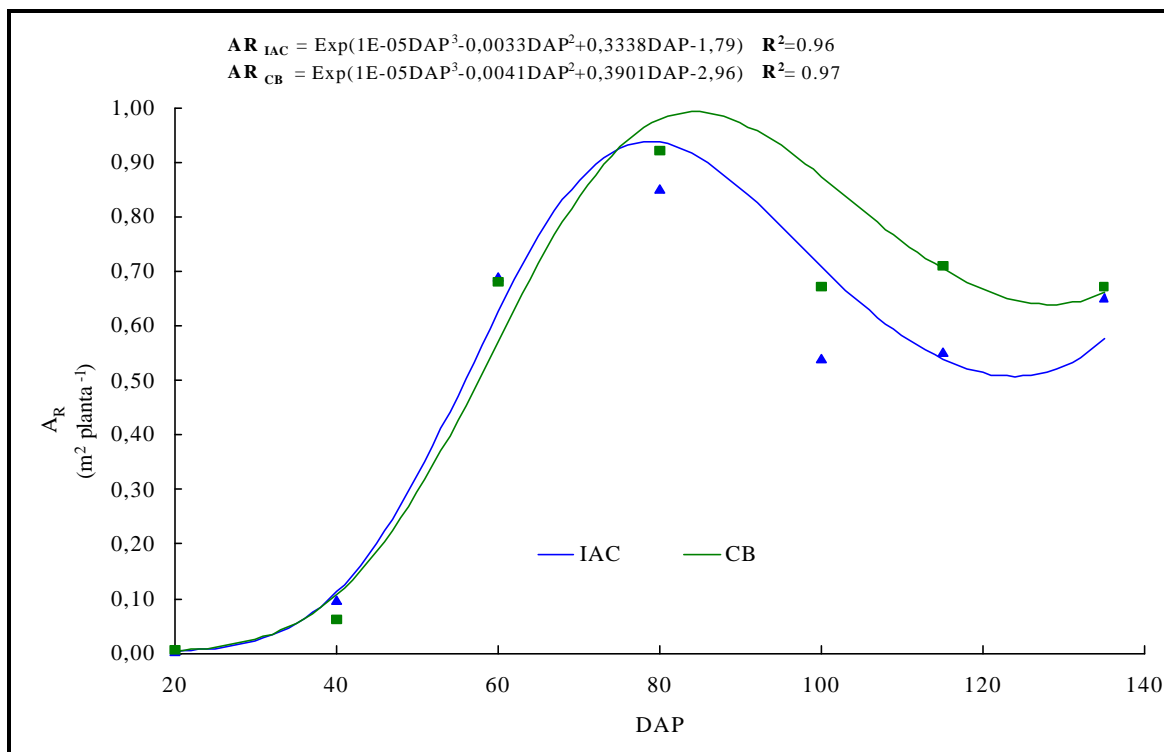


Figura 4.1.7.1. Área radicular das cultivares IAC 4440 e Comum Branco ajustadas por um modelo polinomial exponencial de 3º grau

São notórios três períodos de crescimento (Figura 4.1.7.1):

- entre 20 - 70 DAP: um padrão normal de crescimento exponencial do sistema radicular, com ligeira superioridade de IAC 4440 até os 70 DAP, concordando com os resultados obtidos por França (1995), quando as mesmas cultivares foram crescidas em solução nutritiva;
- entre 80 - 120 DAP: tornou-se aparente uma menor senescência radicular em Comum Branco, evidenciado por um valor máximo de A_R , atingido 8 dias depois de IAC 4440 (75 em IAC 4440 e 83 DAP em Comum Branco).
- entre 120 - 135 DAP: houve um aumento de A_R nas duas cultivares evidenciada pela inflexão das curvas nesta fase.

Esta inflexão no período final de cultivo pode ser devido ao efeito de um novo perfilhamento seguindo o curso de seu desenvolvimento normal (Hanada, 1993; Lopes *et al*, 1994). Esse perfilhamento foi verificado acontecer entorno de 115-120 DAP (notoriamente em Comum Branco, Figura 4.1.7.2), e acarretou o desenvolvimento de novo sistema radicular.

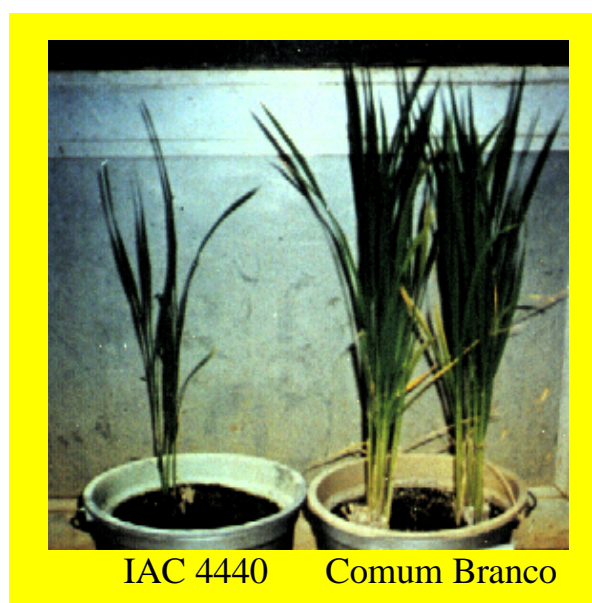


Figura 4.1.7.2. Perfilhamento observado nas cultivares estudadas, aos 147 DAP (12 dias após colheita). A idade aproximada dos perfilhos é de 25 dias, com início aos 120 DAP dos cultivares nos vasos.

A adubação nitrogenada, causou um aumento pequeno, mas significativo em área radicular. A Figura 4.1.7.3 apresenta A_R para os dois grupos de resposta à dose de N ajustadas por regressão polinomial exponencial de 3º grau. A aplicação de N, tem um efeito mais pronunciado na formação do sistema radicular, afetando a sua morfologia (Hanada & Yamazaki, 1993).

Como no presente caso o experimento foi conduzido em vasos, o sistema radicular ficou confinado a um volume restrito, não sendo possível avaliar estes importantes efeitos. Contudo, e por inferência a partir da Figura 4.1.7.3 pode ser estimado que aos 80 DAP, quando ocorrem os máximos de A_R , a dose superior de aplicação resultou em um aumento de 8,5% em densidade de área radicular ($1,18$ vs $1,28 \text{ cm}^2 A_R \text{ cm}^{-3}$ solo, para o nível baixo e alto de N respectivamente). Um aumento na densidade no período final do ciclo (115-135 DAP) foi também verificado, por motivos já mencionados.

A_R foi a única variável morfológica afetada por todas as interações possíveis (dose \times DAP, dose \times cultivar, cultivar \times DAP e cultivar \times DAP \times dose). Desde que com o desenvolvimento ontogenético a morfologia do sistema radicular tendeu a reproduzir a forma do pote, o resultado pode ser atribuído a uma expressiva redução do CV amostral, o que permitiu a manifestação de significâncias para estas interações.

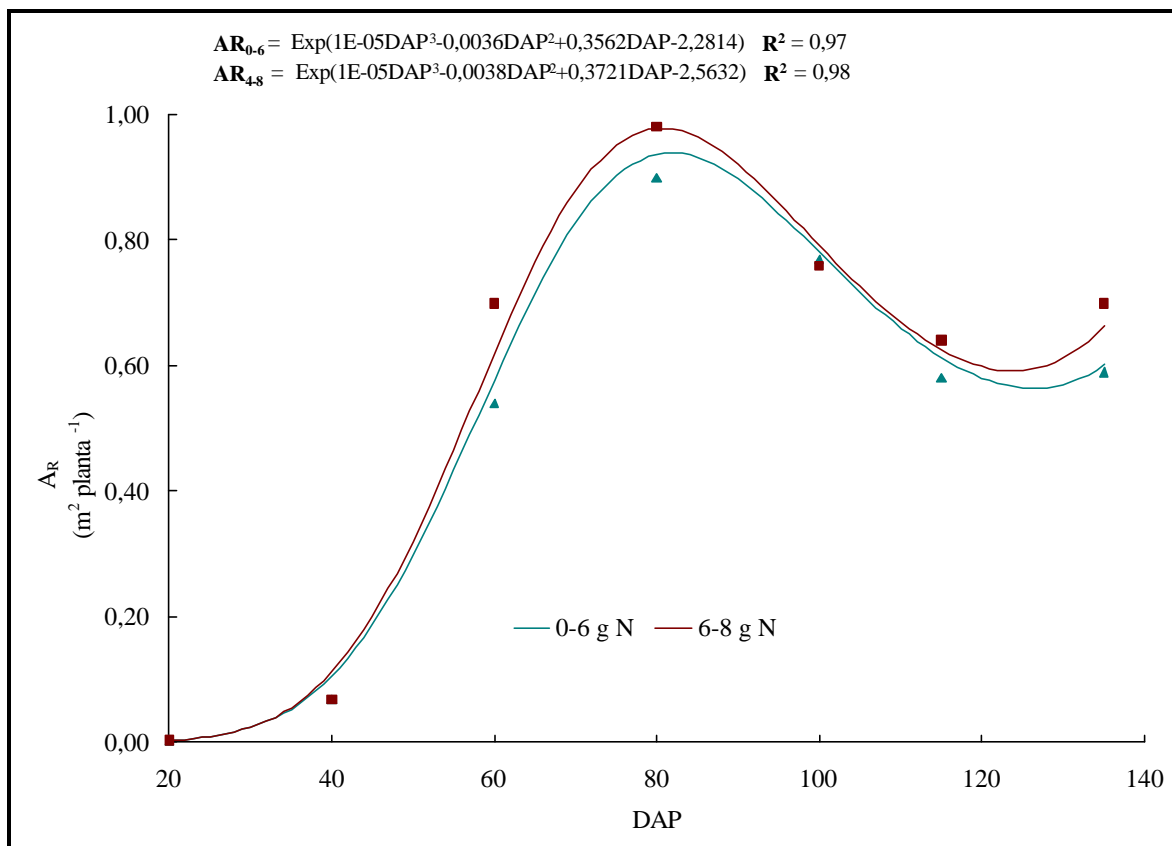


Figura 4.1.7.3. Área radicular em função dos níveis de resposta à dose de N, ajustadas por um modelo polinomial exponencial de 3º grau.

4. 1.8. TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA (TAL) E TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO (TCA)

A TAL instantânea para cultivares e dose de N foi obtida a partir das curvas de acúmulo de massa seca (Figura 4.1 e 4.2), e área foliar (Figuras 4.1.6.1 e 4.1.6.2), a partir da equação:

$$TAL = \frac{1}{A_F} \cdot \frac{dW}{dT}$$

onde, dW/dT é a taxa de crescimento absoluto (Figuras 4.1.8.1 a e b) e A_F é a área foliar respectiva.

A TAL para Comum Branco mostrou valores superiores a IAC 4440 durante quase todo o período experimental (Figura 4.1.8.2), com exceção do período final (maturação). IAC 4440 apresentou uma tendência de aumento da TAL no período posterior à 115 DAP, até a coleta final (Figura 4.1.8.2).

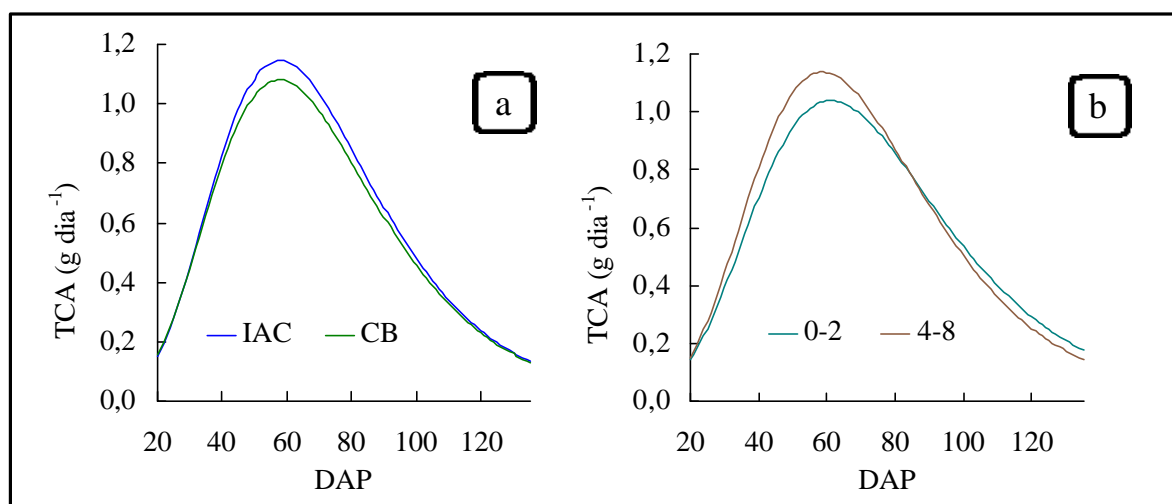


Figura 4.1.8.1. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA). a) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco; b) para os grupos de resposta à fertilização nitrogenada.

Os valores máximos de TAL para as duas cultivares diferiram em apenas 7%, e foram obtidos em torno dos 35 DAP (11,5 e 10,7 gW_T m⁻²A_F dia⁻¹ para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente). Para as mesmas cultivares, França (1995) obteve os valores máximos também para este período (35 a 45 DAP), com diferenças apenas na magnitude ($\cong 15$ g m⁻² dia⁻¹).

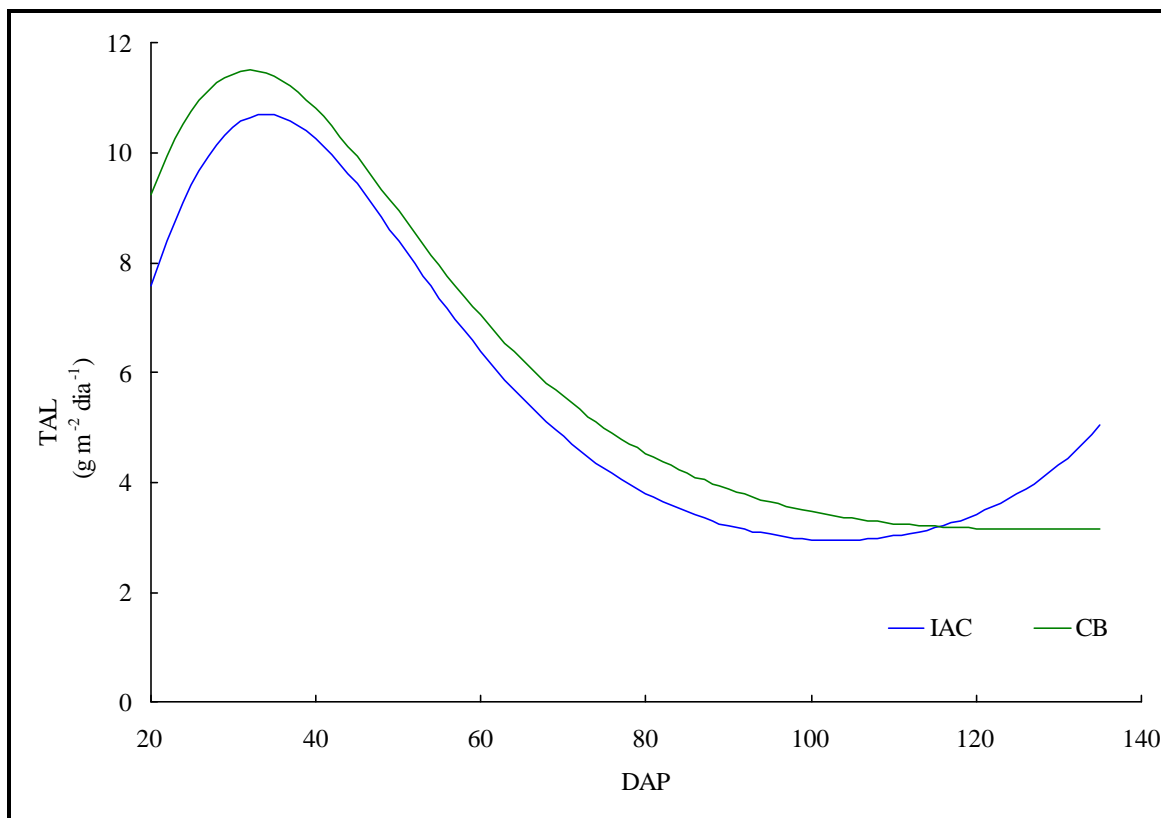


Figura 4.1.8.2. Taxa de assimilação líquida (TAL) das cultivares IAC 4440 e Comum Branco para todo o período de 20-135 DAP.

Deve ser considerado, que esses valores máximos de TAL são obtidos a valores diferentes de A_F entre as cultivares. Murata e Matsushima (1975), sugeriram que em comparações varietais, as TAL devem ser avaliadas a igualdade de IAF. Seguindo esta sugestão, na Figura 4.1.8.2, as respectivas TCA das cultivares são graficadas para valores compreendidos entre 0,015 e 0,2236 $m^2 A_F \text{ planta}^{-1}$. O limite superior desta faixa corresponde ao valor máximo de A_F observado para IAC 4440 aos 78 DAP. Essa faixa inclui, naturalmente, o valor máximo de A_F para Comum Branco (0,1788 $m^2 A_F \text{ planta}^{-1}$, aos 75 DAP).

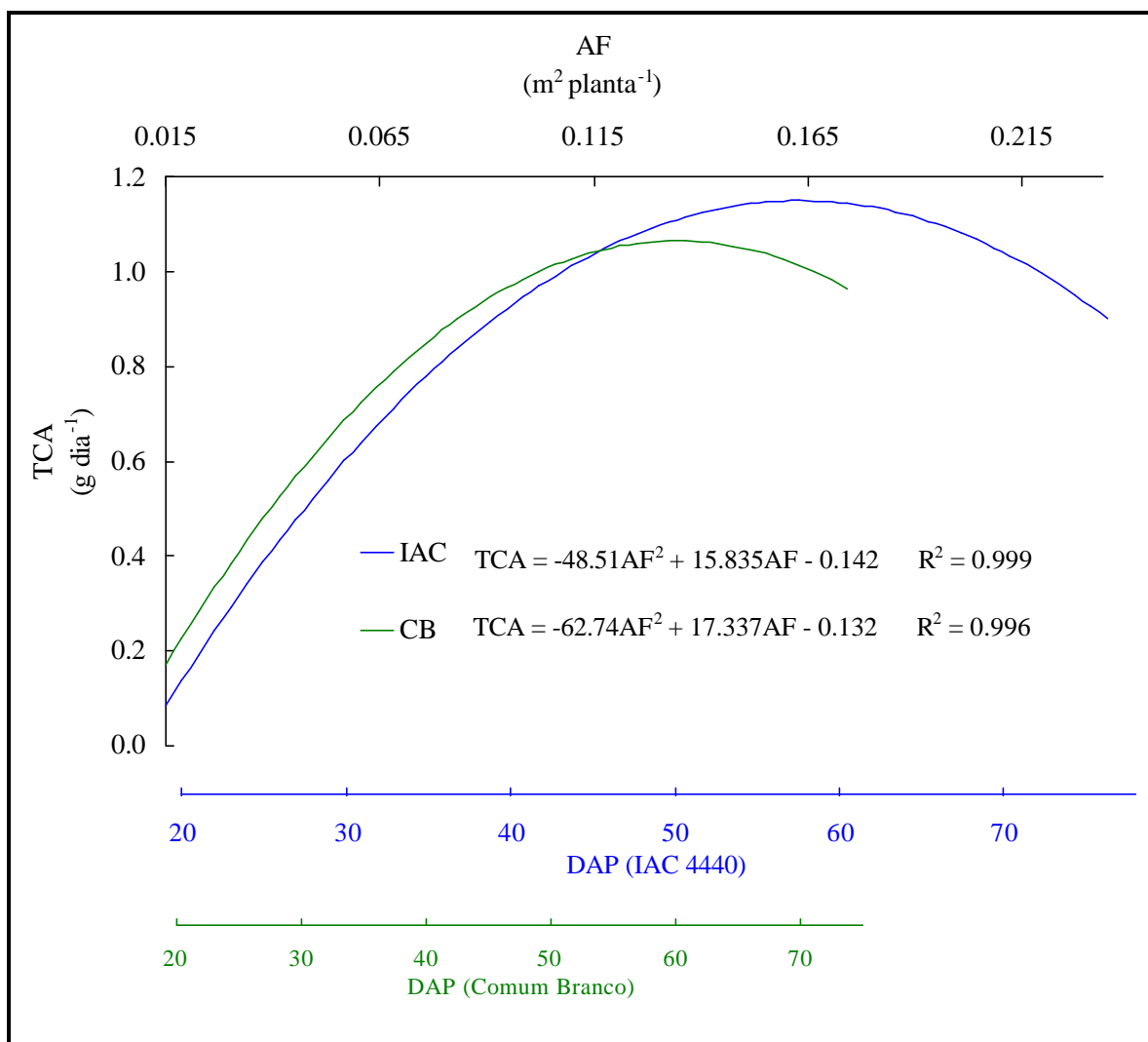


Figura 4.1.8.3. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) em função de A_F para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco e respectivos DAP até os momentos de máxima de A_F .

Um polinômio de 2º grau descreveu adequadamente a relação funcional entre TCA e A_F . Então, quando comparados a um mesmo valor de A_F , observa-se que a Comum Branco mantém uma TCA maior até um valor de A_F de 0,1098 m². A partir desse valor de A_F , a taxa de produção de massa seca por área foliar, é maior em IAC 4440 devido a sua maior TEA_F neste data

(Figura 4.1.6.1.1). Assim, para $A_F=0,163 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, as respectivas TAL (ou seja, a pente instantânea da função - TCA vs A_F) valem: 7,05 e 5,45 $\text{gW}_T \text{ m}^{-2} A_F \text{ dia}^{-1}$ para IAC 4440 e Comum Branco. Essa diferença não aparece na Figura 4.1.8.2, porque as respectivas TCA_{WT} e TEA_F não acontecem nas mesmas datas, refletindo naturalmente processos diferenciais da ontogenia sobre o acúmulo de matéria seca e produção de A_F .

Como a aplicação de N em arroz afeta diferencialmente a taxa de expansão foliar e a taxa de acúmulo de matéria seca (Fernandes e Rossiello, 1995), o efeito do N sobre a TAL foi corrigido pela variação de A_F , com um procedimento igual ao discutido com relação as cultivares.

Na Figura 4.1.8.4 é mostrado o resultado dessa análise. Observa-se que a aplicação de N entre 4-8 g m^{-2} , resultou em maior TCA por unidade de A_F (ou seja maior TAL) durante o período vegetativo. Contudo, as diferenças tendem a declinar a partir de valores de A_F superiores a 0,152 $\text{m}^{-2} A_F \text{ planta}^{-1}$ (aos 58 DAP). Valores máximos de TAL foram de 6,29 e 7,40 $\text{gW}_T \text{ m}^{-2} A_F \text{ dia}^{-1}$ para os grupos de baixo e alto N respectivamente.

Em síntese, a aplicação de N resultou em um ganho máximo de TAL da ordem de 0,22 $\text{gW}_T \text{ m}^{-2} A_F \text{ dia}^{-1}$ por unidade de N aplicado. Como pelas razões vistas no item 4.1.6, a aplicação de N acarretou em uma redução significativa da AFE nas duas variedades, é provável que valores superiores de TAL, em resposta a aplicação de N sejam expressão de uma maior taxa fotossintética por unidade de A_F . Com efeito, aos 60 DAP, com as concentrações foliares de N, mostradas na Tabela 4.2.1 e os valores de AFE mostrados no item 4.1.6, pode-se estimar que as folhas que receberam entre 0-2 g N m^{-2} tinham em média 0,68 $\text{g N m}^{-2} A_F$, ao passo que as que receberam

4-8 g N m⁻² tinham 0,84 g N m⁻² A_F. Sinclair e Horie (1989) estimaram que em arroz a taxa máxima de fotossíntese aumenta linearmente com o teor de N foliar até 1,6 g N m⁻² A_F. Ainda Schnier *et al* (1990), avaliando a taxa fotossintética em função da aplicação níveis variados de N no solo, encontrou resultados lineares até a dose de 8 g N m⁻², e atribuiu os resultados ao aumento dos teores foliares de N.

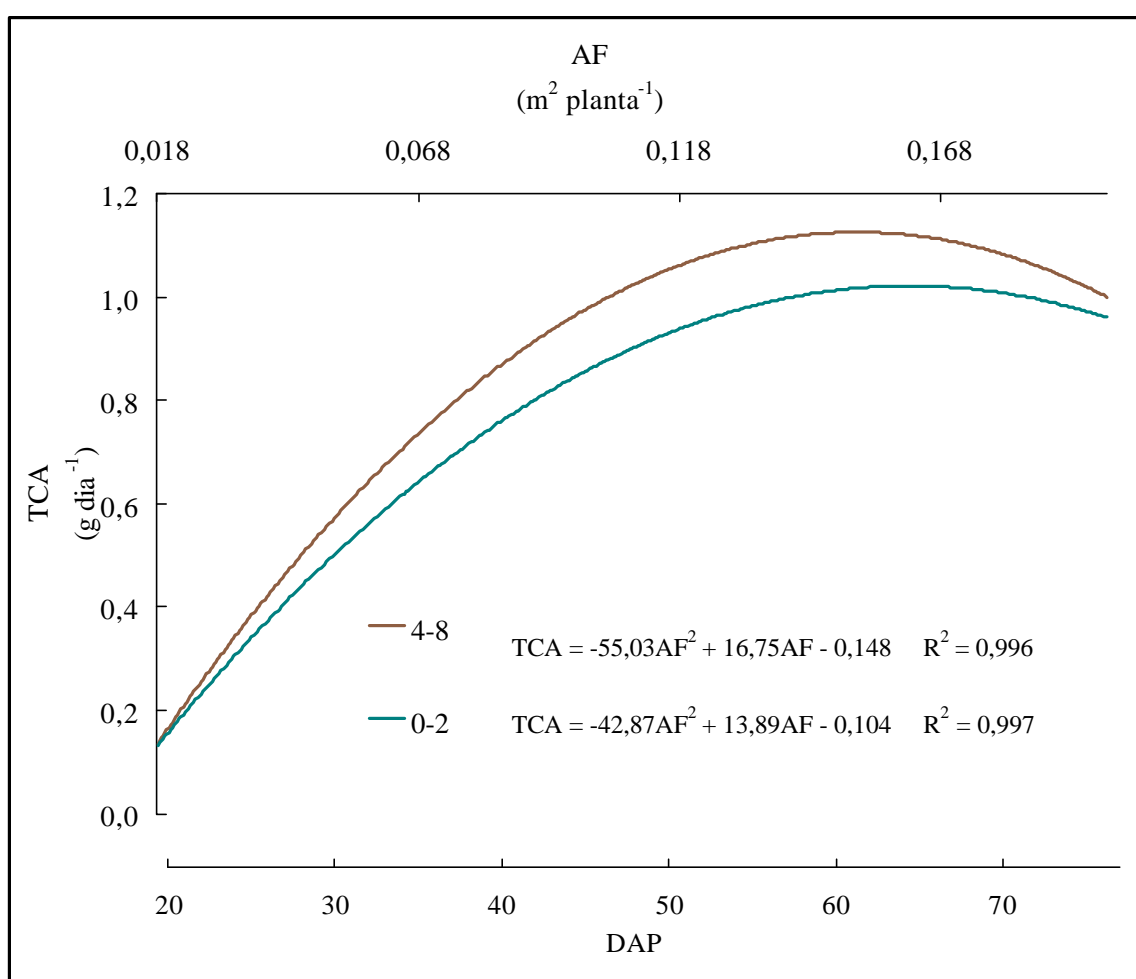


Figura 4.1.8.4. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) em função de A_F para os grupos de resposta de fertilização nitrogenada e respectivos DAP até os momentos de máxima A_F.

4.1.9. NÚMERO DE PERFILHOS (N_P) E ALTURA TOTAL (H_T)

A aplicação de N estimulou, independente de cultivar, um aumento no número de perfilhos, em comparação com o valor basal (nível 0 de aplicação de N; anexo 1). Este perfilhamento, porém, foi em sua maioria de inviáveis. Foi observado um incremento médio de 1,4 perfilhos viáveis planta⁻¹ para as duas cultivares, para as doses de 4-8 g N m⁻² (item 4.2.2).

Foram encontradas diferenças entre as duas cultivares (Figura 4.1.9.1), observando-se um número significativamente maior de perfilhos em IAC 4440, além de um elevado percentual de redução (35%) do número máximo de perfilhos. Por ocasião da floração o número de perfilhos portadores de panículas estabilizou-se em 11,7 perfilhos planta⁻¹. Em contraste Comum Branco, com um potencial genético inerentemente menor de produção de afilhos (ver Figura 2.4.1, para cultivo em condição hidropônica), mostrou, aos 100 DAP uma média de 6,07 perfilhos viáveis planta⁻¹. Esse número contudo, representou apenas 12,5% menos que o número máximo de perfilhos (Figura 4.1.9.1).

De acordo com Hanada (1993), o teor de N foliar controla a taxa de emergência dos perfilhos. Perfilhamento ativo e vigoroso demanda teores superiores a 35 mg N g⁻¹W_{FV}. A inibição da emergência corresponde a valores de 25 mg N g⁻¹W_{FV} e a mortalidade é aumentada a valores abaixo de 15 mg N g⁻¹W_{FV}. Esses valores críticos efetivamente controlaram o padrão de produção de perfilhos em IAC 4440, mas não em Comum Branco. Isto pode ser comprovado pelo fato que aos 40 DAP os teores foliares eram de 51,0 e 45,8 mg N g⁻¹W_{FV} para IAC 4440 e Comum Branco, e portanto acima do necessário para emergência de perfilhos.

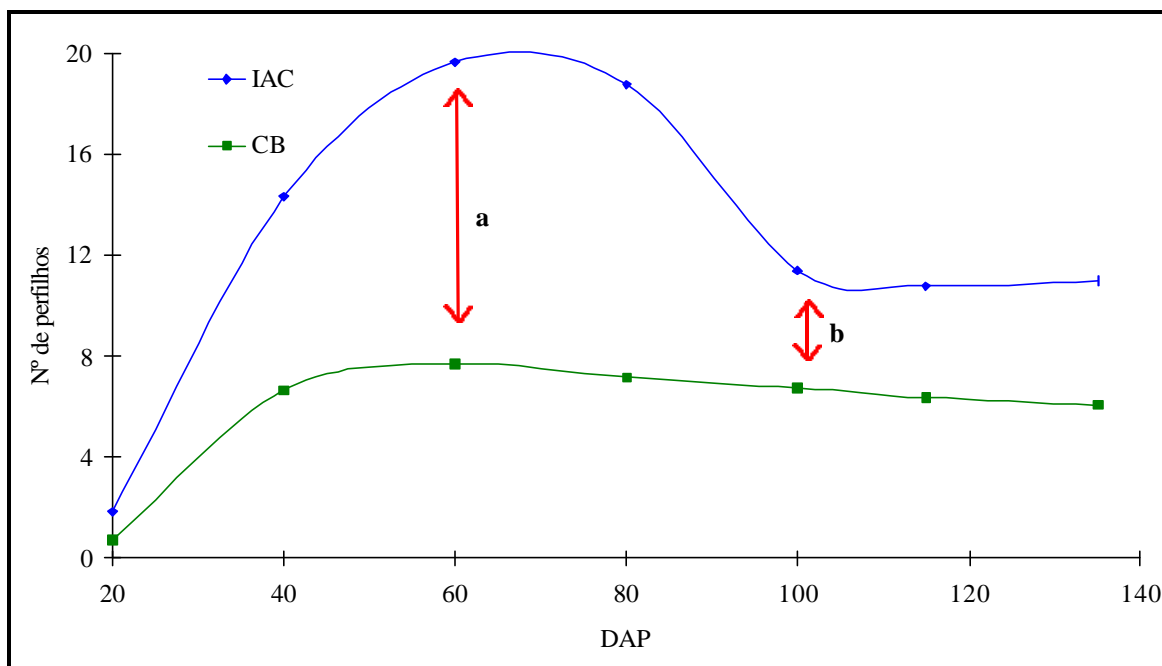


Figura 4.1.9.1. Número de perfilhos das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP. As setas indicam (a) data do máximo perfilhamento efetivo e (b) data de estabelecimento dos perfilhos viáveis.

A altura das plantas e dos colmos não foi afetada pelas doses de N (anexo 1), mas diferenças marcantes caracterizam as duas cultivares: IAC 4440 de porte mais reduzido (0,93 m) e menor desvio padrão (0,07 m) e Comum Branco de porte mais alto (1,40 m) e maior desvio padrão (0,23 m), evidenciando uma maior desuniformidade nesta última cultivar. A altura máxima para as duas cultivares estabeleceu-se aos 100 DAP.

4.1.10. PARTIÇÃO DOS COMPONENTES DE MASSA SECA TOTAL

Para as condições ambientais vigentes, os padrões de acúmulo das diferentes frações tiveram, de forma geral, um mesmo comportamento durante a fase pré-floração (Figuras 4.1.10.1 e 4.1.10.2). Como o propósito desta seção é mostrar a evolução conjunta das frações, um certo grau de repetição de informação já discutida resulta inevitável.

A Tabela 4.1.10.1 mostra as relações W_i/W_T ($g\ g^{-1}$), onde 'i' é um dado componente de W_T . São evidenciadas aqui algumas diferenças marcantes. Por exemplo, no que diz respeito a fração de interesse comercial (W_{PN}/W_T) quando no momento da colheita, valores de 0,39 para IAC 4440 e apenas 0,22 $g\ g^{-1}$ para Comum Branco foram decisivos para explicar uma maior produção na primeira.

A fitomassa de folhas verdes diminui progressivamente após os 80 DAP para as duas cultivares, porém, o fenômeno foi mais acentuado na cultivar IAC 4440 (itens 4.1.1 e 4.1.2). Essa maior senescência foliar pode estar relacionada à uma maior taxa de exportação foliar de N e carboidratos (item 3.4.1), tal como sugerem os valores do coeficiente (W_{FV}/W_T). Com efeito, pode se observar (Tabela 4.1.10.1) que entre a floração e colheita final esse repasse foi de 0,09 $g\ g^{-1}W_T$ em IAC 4440 e 0,04 $g\ g^{-1}W_T$ em Comum Branco.

Tabela 4.1.10.1. Coeficientes de partição W_i / W_T para as cultivares IAC

4440 e Comum Branco.

DAP	WT (g)	W_{FV}	W_{FS}	$W_i / W_T^{(1)}$ (g g ⁻¹)			
				W_C	W_{PN}	W_{PA}	W_R
IAC 4440							
20	0,84	0,56	0,00	0,35	0,00	0,92	0,08
40	8,36	0,32	0,00	0,32	0,00	0,65	0,35
60	33,43	0,22	0,02	0,44	0,00	0,67	0,33
80	48,08	0,19	0,04	0,52	0,00	0,76	0,24
100	70,91	0,11	0,07	0,62	0,06	0,86	0,14
115	70,87	0,07	0,10	0,50	0,19	0,85	0,15
135	71,98	0,02	0,13	0,32	0,39	0,86	0,14
Comum Branco							
20	0,99	0,53	0,00	0,34	0,00	0,87	0,13
40	6,10	0,41	0,01	0,32	0,00	0,74	0,26
60	34,01	0,23	0,03	0,39	0,00	0,64	0,36
80	45,75	0,19	0,06	0,46	0,00	0,71	0,29
100	73,33	0,08	0,08	0,61	0,07	0,84	0,16
115	66,42	0,06	0,11	0,47	0,17	0,81	0,19
135	65,66	0,04	0,13	0,43	0,22	0,83	0,17

⁽¹⁾ W_i é a massa seca da fração respectiva da planta.

Uma das frações de maior interesse foi a de massa seca de colmo+bainha (W_C), que teve uma diminuição acentuada na cultivar IAC 4440 (Tabela 4.1.10.2) durante o período pós-floração. Em contraste, Comum Branco, teve uma perda de W_C significativa apenas para o período de 100-115 DAP (Figura 4.1.10.2). Essas diferenças foram devidas, possivelmente à remobilização diferencial de fotoassimilados entre as cultivares (Machado *et al*, 1990), e estão expressos nos valores dos coeficientes W_C/W_T para os períodos 100-135 DAP.

Tabela 4.1.10.2. Produção de massa seca total (W_T), folhas fotossinteticamente ativas (W_{FV}), colmo+bainha (W_C), raiz (W_R) e panícula (W_{PN}) entre a floração (100 DAP) e maturação (135 DAP) nas duas cultivares.

	Floração		Maturação		Variação	
	IAC	CB	IAC	CB	IAC	CB
	----- W (g planta ⁻¹) -----					
	--					
W_{FV}	7,89	6,21	1,29	2,88	-6,60	-3,33
W_{FS}	4,83	6,16	9,23	8,35	4,40	2,19
W_C	43,82	44,39	23,12	28,42	-20,70	-15,98
W_R	9,78	11,42	10,12	11,43	0,34	0,01
<i>Variação</i>					-22,56	-17,11
W_{PN}	4,58	5,14	28,22	14,59	23,63	9,45
W_T	70,91	73,33	71,98	65,66	1,07	-7,67

Em IAC 4440 a manutenção de W_T entre floração e maturação (Tabelas 4.1 e 4.1.10.1), pode ser decorrente da manutenção da atividade fotossintética nos períodos pós-floração (Yoshida, 1972). O pequeno aumento em TAL nesse período (Figura 4.1.8.1) pode sugerir que esse é o caso. Por outro lado, a Comum Branco teve uma perda de W_T no mesmo período (variação de $-7,67$ g planta⁻¹, Tabela 4.1.10.2), que pode ser justificada pela emissão de novos perfilhos (Figura 4.1.7.2). Este perfilhamento tardio, muito mais acentuado na Comum Branco que em IAC 4440 deve ter demandado respiração adicional de substrato (Hanada, 1993) e reduzido a força do dreno preferencial (panícula) em favor da iniciação de novas raízes, colmos e folhas. De interesse em relação a isto, é que durante o período 100-135 DAP a relação W_R/W_T em IAC 4440, manteve-se estável ($\cong 0,14$), enquanto que em Comum Branco a mesma passa de 0,16 para 0,19 durante os primeiros 15 dias pós-floração. Essa variação não corresponde a um aumento do valor absoluto de

W_R nessa cultivar, mas a uma queda pronunciada em W_T nesse período (Tabelas 4.1 e 4.1.10.2). Não é possível saber, a partir da presente abordagem, quanto dessa queda em W_T é devida a substrato respirado com finalidade de produção de manutenção e/ou produção de energia e biossíntese. Evidentemente mais estudo é necessário nesta área para estabelecer taxas de “turnover” e decomposição do material radicular e ainda se possível, a contribuição de biomassa de raízes para o acúmulo de reservas vegetativas do colmo, como sugerido por Dingkhun *et al* (1990). Como mencionado previamente (item 4.1.7), a senescência radicular, julgada pela produção de A_R resultou menor em Comum Branco.

Deve ser mencionado que a presença da massa seca de panícula na floração é explicada pela não simultaneidade da floração de todos os perfilhos viáveis na da mesma planta, isto é, havia perfilhos florados e não florados aos 100 DAP, quando a programação da coleta era para o momento de 50 % de floração. Dificuldade metodológica similar para caracterização de eventos fisiológicos foram encontrados por Machado *et al* (1990) também com relação a arroz. Alguns autores, tem, considerado que o desenvolvimento fásico pleno corresponde a expressão do evento em 80 % da população de plantas (Lopes *et al*, 1994).

Quando tomadas em conjunto, as variações temporais de massa expressas de forma absoluta ou como índices de partição, evidenciam que as reservas alocadas em colmos+bainhas e lâminas foliares foram remobilizadas para as panículas muito mais eficientemente em IAC 4440 do que em Comum Branco, tal como observado por Machado *et al* (1990), na comparação entre IAC 4440 e IAC 120.

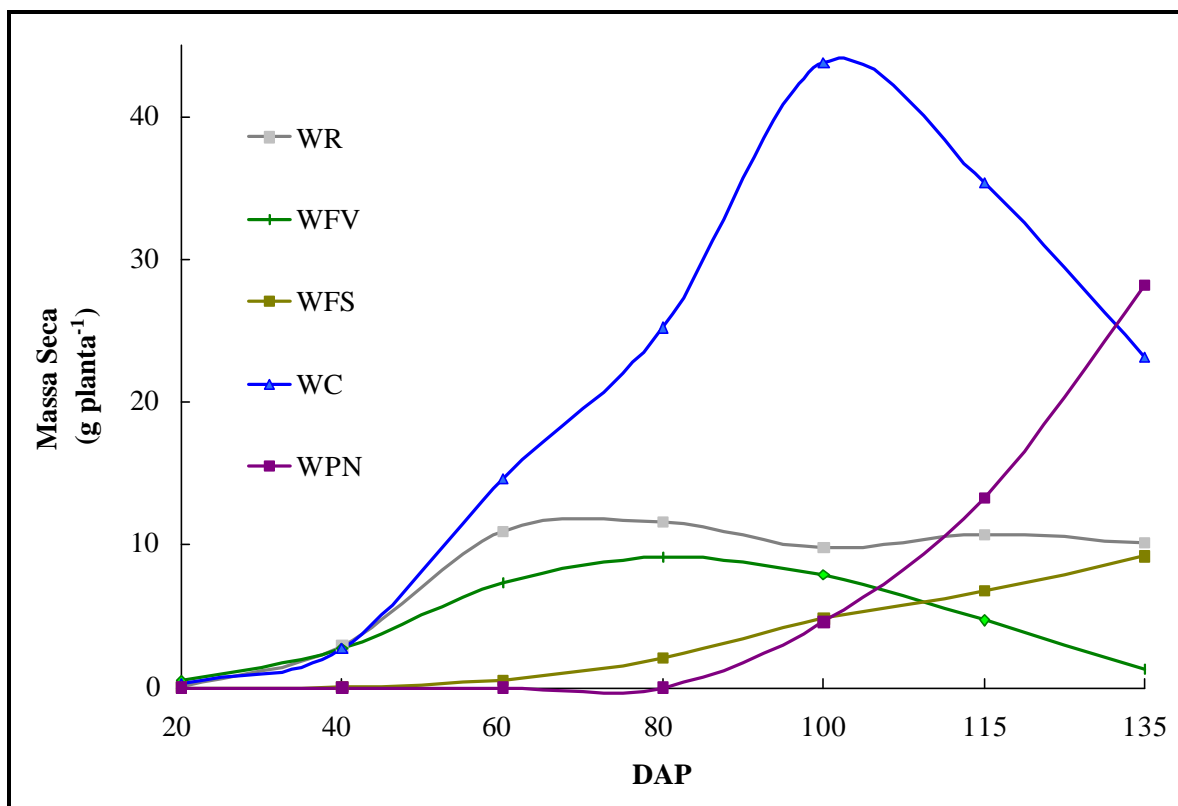


Figura 4.1.10.1. Acúmulo de massa de folhas verdes (W_{FV}), folhas senescentes (W_{FS}), colmo+bainha (W_C), raiz (W_R) e panícula (W_{PN}), para a cultivar IAC 4440 em diferentes períodos de crescimento.

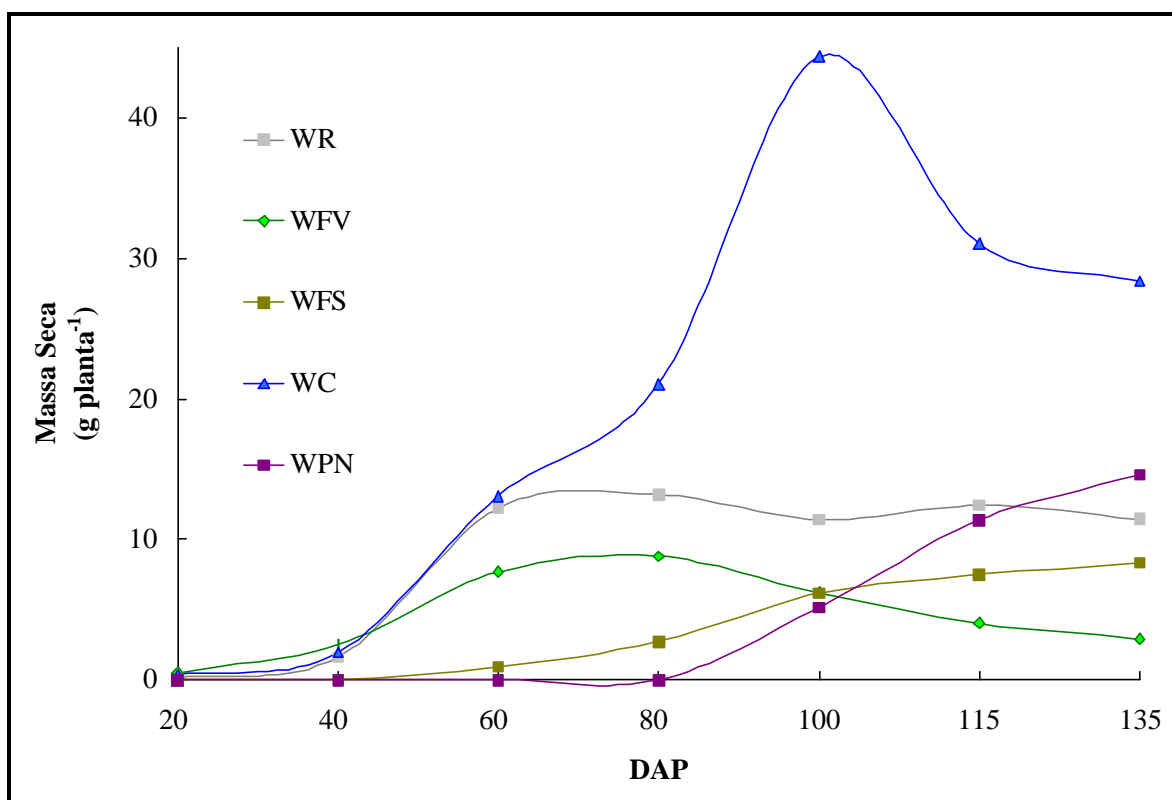


Figura 4.1.10.2. Acúmulo de massa de folhas verdes (W_{FV}), folhas senescentes (W_{FS}), colmo+bainha (W_C), raiz (W_R) e panícula (W_{PN}), para a cultivar Comum Branco em diferentes períodos de crescimento.

4.2. PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

Praticamente todos os parâmetros avaliados apresentaram significância para cultivar, com exceção da massa seca (W_{SE}) e número de sementes estéreis (N°_{SE}), massa seca média (W_{MPN}) e número de sementes (N°_{SPN}) por panícula (anexo 2).

Numa apreciação geral, a interação cultivar \times dose não apresentou significância para nenhum parâmetro, evidenciando que a adição de N não afetou diferencialmente os componentes da produção entre genótipos. O efeito de N, independente de cultivar, afetou o número de panículas (N°_{PN}) e número de sementes viáveis (N°_{SV} ; anexo 2), o que não foi revertido em maior massa seca de panícula (W_{PN}). Deve-se deixar claro que os altos coeficientes de variação (anexo 2) devem ter influenciado na expressão dos níveis de significância. Esses efeitos serão discutidos a seguir.

4.2.1. PARÂMETROS DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DE CULTIVAR

A massa seca de panículas (W_{PN}) foi significativamente superior para IAC 4440, que apresentou quase o dobro do valor correspondente a Comum Branco (Tabela 4.2.1.1).

A relação de esterilidade das sementes ($\%_{SE}$, quociente entre $N^{\circ}_{SE} / (N^{\circ}_{SV} + N^{\circ}_{SE})$), resultou significativamente menor em IAC 4440 do que em Comum Branco (8,64 vs 24,04), em função do elevado número de sementes viáveis (N°_{SV}) de IAC 4440, pois o número de sementes estéreis por planta não diferiu entre as cultivares (Tabela 4.2.1.2). Quando analisada por panícula, a situação é a mesma: o número total de sementes por panícula foi similar nas

duas cultivares, mas houve 16 % mais sementes estéreis nas panículas de Comum Branco.

Tabela 4.2.1.1. Massa seca de panículas (W_{PN}), de sementes viáveis (W_{SV}) e de sementes estéreis (W_{SE}).

Parâmetro	IAC 4440	Comum Branco
	-----($g\ planta^{-1}$)-----	
W_{PN}	28,22 A	14,59 B
W_{SV}	27,15 A	13,33 B
W_{SE}	0,86 A	1,22 A

(A) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$), e contrastam entre cultivares.

Tabela 4.2.1.2. Número de sementes viáveis (N°_{SV}), sementes estéreis (N°_{SE}), percentagem de sementes estéreis ($\%_{SE}$), número de panículas (N°_{PN}), número de sementes por panícula (N°_{SPN}), número de sementes viáveis por panícula (N°_{SVPN}) e número de sementes estéreis por panícula (N°_{SEPN}), para as duas cultivares em estudo.

Parâmetro	IAC 4440	Comum Branco
	-----($n^{\circ}\ planta^{-1}$)-----	
N_{SV}	1155,57 A	449,83 B
N_{SE}	106,97 A	142,40 A
$\%_{SE}$	8,64 B	24,04 A
N_{PN}	11,70 A	6,07 B
N_{SPN}	108,77 A	99,06 A
N_{SVPN}	99,69 A	74,87 B
N_{SEPN}	9,08 B	24,19 A

(A) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$), e contrastam entre cultivares.

Como consequência, IAC 4440 teve maior número de sementes

viáveis por planta, resultado de um maior número de panículas (N°_{PN}), e menor % de grãos estéreis por panícula. Já a massa seca média de panícula (W_{MPN}) não diferiu entre cultivares, e como resultado, o peso unitário de grão viável (W_{MSV}) foi menor em IAC 4440 (Tabela 4.2.1.3)

O índice de colheita (quociente entre W_{PN}/W_{PA}) foi significativamente maior em IAC 4440 (0,46) quando comparado com Comum Branco (0,27), o que pode ser observado na Tabela 4.1.10.1.

Tabela 4.2.1.3. Massa seca média por panícula (W_{MPN}) e massa seca média de semente viável (W_{MSV}) para as duas cultivares em estudo.

Parâmetro	IAC 4440	Comum Branco
	-----($g\ planta^{-1}$)-----	
W_{MPN}	2,45 A	2,43 A
	-----($mg\ planta^{-1}$)-----	
W_{MSV}	24,5 B	30,7 A

(A) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$), e contrastam entre cultivares.

Analogamente à conhecida função de produção de grão descrito por Murata (1969), pode-se inferir que a produção unitária por planta seja:

$$W_{PN} = N^{\circ}_{PN} \times N^{\circ}_{SPN} \times \%_{SV} \times W_{MSV}$$

onde aplicando-se as propriedades logarítmicas obtêm-se a função:

$$\ln W_{PN} = \ln N^{\circ}_{PN} + \ln N^{\circ}_{SPN} + \ln \%_{SV} + \ln W_{MSV}$$

Esta função pode ser tratada pelo método de regressão múltipla sequencial, obtendo-se assim a importância relativa de cada componente na produção, através da contribuição do seu r parcial para R^2 acumulado.

Na Tabela 4.2.1.4 são apresentados os valores dos coeficientes, sua correlação, significância e R^2 acumulado da função (0,97; $p < 0,0001$).

Tabela 4.2.1.4. Coeficiente linear, correlação (r), significância (p) e coeficiente de determinação (R^2) acumulado, para os componentes de produção, determinados por regressão múltipla sequencial.

Variável	Coeficiente linear	r	p	R^2 acumulado
Ln N°_{PN}	0,7660	0,92	< 0,0001	0,84
Ln N°_{SPN}	0,5875	0,26	0,0819	0,87
Ln % $_{SV}$	1,0276	0,86	< 0,0001	0,95
Ln W_{MSV}	0,4432	-0,54	0,0011	0,97
Constante	0,4589	-----	-----	-----

Avaliando o conjunto dos coeficientes e a respectiva correlação (r) com W_{PN} , é visível que o N°_{PN} e % $_{SV}$ foram os componentes que mais contribuíram na produção de grãos, concordando com Yoshida & Parao (1976), Murata (1969) e Schnier *et al* (1990). Valores inferiores de coeficientes foram encontrados para N°_{SPN} e W_{MSV} , e correlações menores acompanham estes valores, o que resulta em menor significância. O valor negativo da correlação de W_{MSV} (Tabela 4.2.1.4) pode ser explicado pelo maior peso de grão encontrado em Comum Branco (Tabela 4.2.1.3).

A cultivar Comum Branco, do tipo tradicional, parece ter como característica uma razão de esterilidade superior à IAC 4440. Os dados obtidos por Ferraz Jr. (1993), quando estudando cultivares oriundas do Estado do Maranhão (tradicional) em comparação com cultivares melhoradas, tipo IAC, sugerem uma mesma diferença em % de esterilidade (base W_{PN}). Assim, à partir dos dados apresentados por esse autor, pode ser calculado que a relação

W_{SE}/W_{PN} , em média, foi de 6,3% para as cultivares com alto conteúdo protéico (tradicionais), e 3,0% para as cultivares do grupo IAC, excetuando-se do cômputo as cultivares do tipo tradicional que apresentaram superioridade de produção. Para este experimento, estas diferenças percentuais em esterilidade foram da mesma ordem (3,0 e 8,3% para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente).

4.2.2. PARÂMETROS DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE N

Como já apreciado no item 4.2, a aplicação de N afetou somente N°_{PN} e N°_{SV} . A Tabela 4.2.2.1 apresenta o efeito de N sobre o número de perfilhos. Pouco relevante, mas significativo, a adição de N resultou em acréscimo de aproximadamente 1 perfilho viável em média para as duas cultivares. Como resultado, o número de sementes viáveis (N°_{SV}) aumentou em função da aplicação de N. Houve contudo pouco efeito do aumento da dose de N sobre W_{PN} .

Tabela 4.2.2.1. Número de panículas (N°_{PN}), número de sementes viáveis (N°_{SV}) e percentagem de sementes estéreis ($\%_{SE}$) em resposta a adubação nitrogenada.

Dose (g m ⁻²)	N_{PN} -----(n° planta ⁻¹)-----	N_{SV}	$\%_{SE}$
0	7,9 b	624,5 b	14,4 a
2	8,2 ab	801,7 ab	16,3 a
4	9,1 ab	779,3 ab	16,4 a
6	9,9 a	962,6 a	17,0 a
8	9,3 ab	845,4 ab	17,4 a

(ab) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$), e contrastam entre doses.

Pode haver uma certa contradição com relação ao exposto acima (item 4.2.1), onde salientou-se a importância relativa ao número de perfilhos, como um fator determinante de alta produção. Deve ser considerado, entretanto que a adição de N não afetou o número de sementes por panícula (N°_{SPN}), nem o peso das sementes viáveis (W_{MSE}). Adicionalmente, verificou-se que a adição de N aumentou a $\%_{SE}$ (Tabela 4.2.2.1) um importante componente da produção. O aumento em $\%_{SE}$ com o nível de N só não atingiu nível de significação estatística em função de um elevado CV amostral para este parâmetro (45%). Então, um certo ganho em capacidade do “yield container” (Murata, 1969), foi negligenciada pelo não aumento em número de grãos totais por panícula, e dos quais, uma fração crescente resultou estéril.

Aumentos na % de esterilidade ocasionados pela adição de N foram observados também por Schnier *et al* (1990), quando à doses superiores a 6 g m^{-2} este índice mostrou-se significativo.

4.3. TEORES E CONTEÚDOS DE N

Dados da ANOVA (anexo 1), indicam efeitos significativos para cultivar, doses de N e efeitos interativos de cultivar e dose \times DAP. Na Tabela 4.3.1 são mostradas os valores do conteúdo total de N, acumulados na fitomassa (mg N planta^{-1}), para as cultivares estudadas bem como a sua interação com a época de coleta.

Na Figura 4.3.1 é apresentado o modelo para acúmulo de U_T . O padrão de variação de U_T em função do tempo ajustou-se a uma função Logística, para ambas as cultivares ($R^2 = 0,94$ e $0,92$ para IAC 4440 e Comum Branco, respectivamente). A função superestima a 20 e subestima a 40 DAP,

descrevendo adequadamente o acúmulo de N para o restante do período. Chama-se atenção para estes desvios, particularmente a superestimativa dos valores aos 20 DAP, já que esta tem seu efeito repassado na estimativa do influxo radicular de N nessa idade (item 4.3.6).

Houve interação significativa de cultivar \times DAP aos 40 dias (anexo 3), onde IAC 4440 sobressaiu-se. Aos 60 DAP, os conteúdos nivelaram-se (Tabela 4.3.1) provavelmente em função da adubação nitrogenada. Após a aplicação de N, as diferenças em U_T tornaram-se significativas a partir dos 80 DAP. Entre 80 e 115 DAP, U_T de IAC 4440 excedeu à de Comum Branco em 54 mg N planta⁻¹.

Considerando-se os valores médios para o conjunto do ciclo, U_T em IAC 4440 resultou 8,3% superior à Comum Branco (Tabela 4.3.1 e Figura 4.3.1).

Tabela 4.3.1. Variação do conteúdo total (U_T) de Nitrogênio, em função das épocas de colheita para as cultivares estudadas.

DAP	IAC 4440		C. Branco	
	----- U_N (mg planta ⁻¹) -----			
60	284,1	A d	292,2	A c
80	358,2	A c	318,3	B bc
110	395,1	A b	340,3	B b
115	421,1	A ab	368,0	B ab
135	433,9	A ab	408,2	B a
média	378,5	A	349,6	B

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

IAC 4440 apresentou também superioridade em absorção absoluta de N até o momento da floração, quando esta cultivar encontrava-se com 91,2 % do total de N acumulado até a colheita, contra 83,3% em Comum Branco.

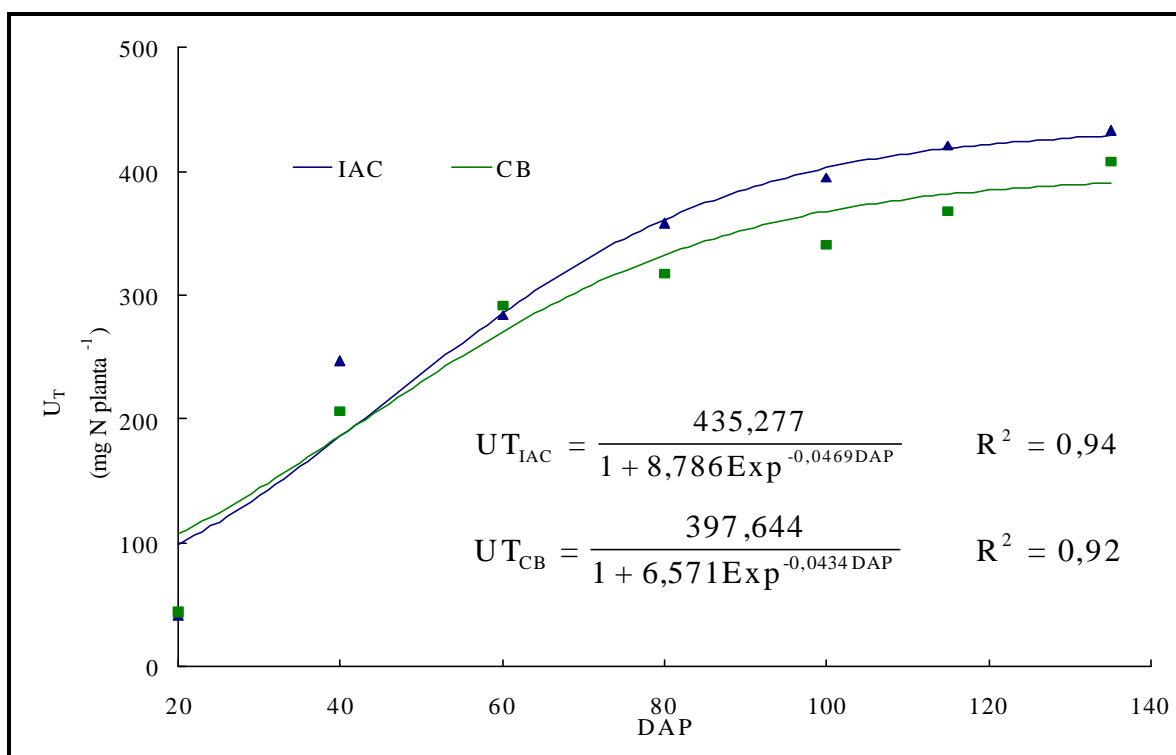


Figura 4.3.1. Acumulação de N pelas cultivares IAC 4440 e Comum Branco durante todo o ciclo das plantas.

As curvas de acumulação de N para as cultivares estão de acordo com os dados de literatura, onde vários autores observaram acumulação de N em arroz, até início da fase de maturação fisiológica (Beri *et al*, 1989; Norman *et al*, 1992; Yoneyama, 1986). Os níveis de acúmulo de N observados no presente experimento, concordam em magnitude com os observados em outras genótipos cultivados em vasos, em condições de casa de

vegetação, à níveis comparáveis de N no solo (Ferraz Jr. 1993; Camargo *et al*, 1995).

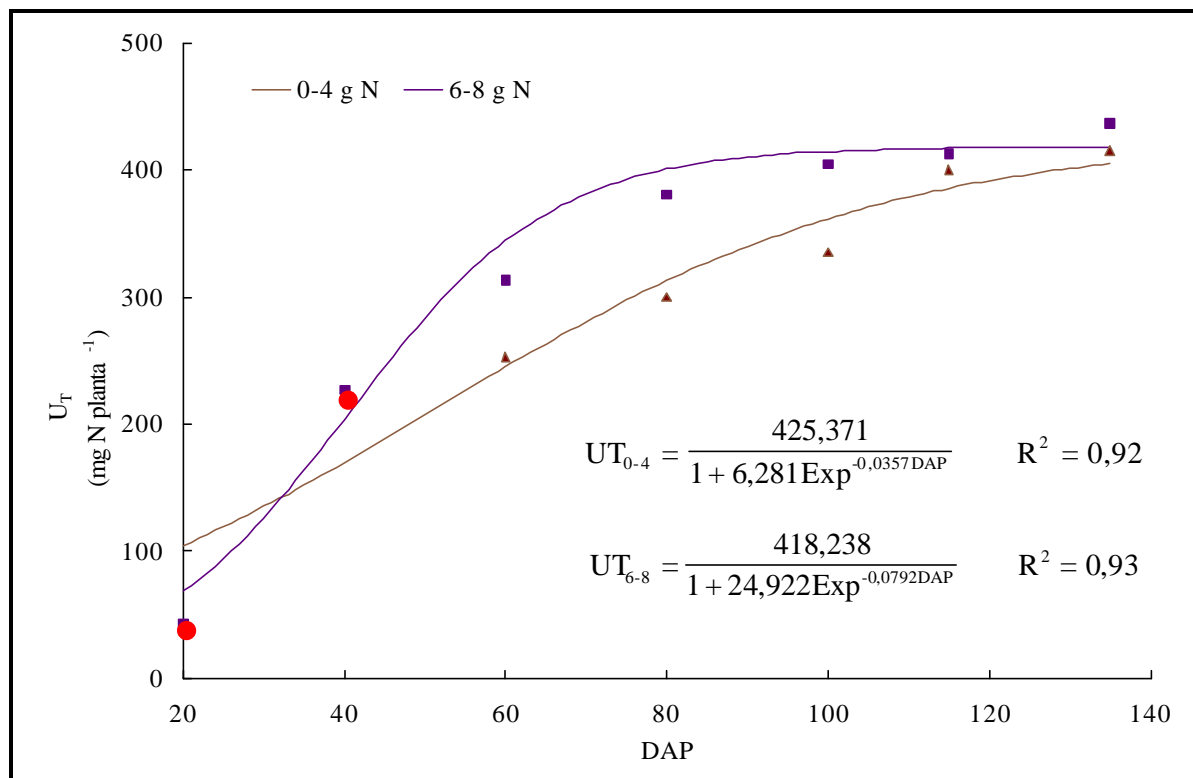


Figura 4.3.2. Curvas de acúmulo de Nitrogênio (U_T) por grupo de resposta a N, em função de DAP. ●: U_T para o período vegetativo inicial, anterior a fertilização nitrogenada.

Com relação à fertilização nitrogenada, pode-se observar que a mesma separou dois grupos de resposta, resultado das diferenças que ocorreram entre 60-100 DAP (anexo 8). Portanto duas curvas foram ajustadas, para as faixas de aplicação de 0-4 e 6-8 g N m⁻² (Figura 4.3.2.), incluindo-se os valores de U_T correspondentes ao período vegetativo inicial. Esses dois pontos (20 e 40 DAP), que não exprimem efeitos de aplicação de N, são comuns a ambas as curvas, e não resultaram particularmente bem ajustados. Para o

restante do ciclo, as curvas ajustadas descrevem adequadamente a acumulação de N em função de dose. A variação dos teores e conteúdos em cada componente da planta será discutido a seguir.

4.3.1. TEORES (T_{FV}) E CONTEÚDO (U_{FV}) DE N NAS FOLHAS VERDES

Os teores de N nas folhas fotossinteticamente ativas decresceram ontogeneticamente (Tabela 4.3.1.1). O conteúdo (U_{FV}), por sua vez, foi máximo aos 80 DAP, coincidente com o maior acúmulo de W_{FV} para as cultivares. Entre 60-80 DAP, Comum Branco sofreu uma queda contínua do teor de N, da ordem de $4,6 \text{ mg N g}^{-1}W_{FV}$. No mesmo período, a redução do T_{FV} na IAC 4440 foi aproximadamente a metade daquele. Como consequência disso, o estoque de N acumulado em folhas verdes até o momento da floração foi 45% maior em IAC 4440 (Tabela 4.3.1.1)

O conteúdo (U_{FV}) acompanhou a significância para teores (T_{FV}), já que W_{FV} não variou significativamente de forma a alterar este parâmetro.

A retraslocação de N em IAC 4440, acompanhando os valores de redução em W_{FV} , foi superior à de Comum Branco. Os teores de N superiores em IAC 4440 aos 115 DAP podem justificar a manutenção pós-floração de uma taxa fotossintética mais elevada nesta cultivar. Com efeito, nessa data, e expressos com base em A_F , os teores foram de $0,648$ vs $0,390 \text{ g N m}^{-2}A_F$ para IAC 4440 e Comum Branco. Então, embora a taxa de expansão foliar tivesse caído a valores negativos (indicativo de exportação de assimilados via senescência), o maior teor de N em folhas de IAC 4440 pode ter sustentado taxa fotossintética pós-floração. Sinclair & Horie (1989),

estimaram que à concentrações foliares de N (base A_F) como as observadas em IAC 4440 nessa idade (115 DAP), a taxa de fotossíntese, saturada de luz é pequena, porém positiva ($0,36 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto que aos valores de Comum Branco, a taxa é nula, correspondendo este teor foliar de N ao N-estrutural (Groot & Spiertz, 1991).

Tabela 4.3.1.1. Teores (T_{FV}) e conteúdo (U_{FV}) de N na folha verde das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾		IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾	
	----- T_{FV} (mg g ⁻¹)-----				----- U_{FV} (mg planta ⁻¹)-----			
60	18,9	A a	19,0	A a	139,4	A a	147,9	A a
80	17,1	A b	17,1	A b	157,2	A a	151,6	A a
100	16,5	A b	14,4	B c	130,3	A a	89,9	B b
115	14,0	A c	8,9	B d	66,3	A b	36,0	B c
135	6,2	B d	6,8	A e	8,1	B c	19,5	A d
Média	14,5	A	13,2	B	100,3	A	89,0	A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

Os dados relativos a interação dose de N \times DAP são apresentados no anexo 4a onde pode ser observado que as maiores variações aconteceram logo após a aplicação de N (60 DAP; $16,61 \text{ mg N g}^{-1}$ para a dose 0, contra $20,74 \text{ mg N g}^{-1}$ para a dose de 8 g N m^{-2}), o que resultou também em U_{FV} superior para as maiores doses. Os efeitos nos teores em função de doses foram significativos somente aos 60 DAP. Por sua vez, as variações de conteúdo (anexo 4b) foram superiores para as doses aplicadas até os 100 DAP. Deve-se lembrar que U é um valor calculado pela multiplicação de dois

fatores, massa seca e teor de N, e que, enquanto diferenças dos dois componentes isoladamente não tenham resultado significativas, as mesmas podem aparecer no conteúdo, pelo fato das diferenças se multiplicarem.

4.3.2. TEORES (T_{FS}) E CONTEÚDO (U_{FS}) DE N EM FOLHAS SENESCENTES

Em geral, Comum Branco teve teores maiores que IAC 4440 (Tabela 4.3.2.1). Aos 100 DAP, foram encontrados os menores teores nas duas cultivares. Conseqüentemente, os valores de U_{FS} também foram sempre superiores em Comum Branco.

Tabela 4.3.2.1. Teores (T_{FS}) e conteúdo (U_{FS}) de N na folha senescente das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾	
	----- T_{FS} (mg g ⁻¹)-----		----- U_{FS} (mg planta ⁻¹)-----	
60	5,9	B a	8,1	A a
80	5,2	A ab	4,8	A b
100	2,9	A d	3,3	A c
115	4,3	A c	3,4	B d
135	4,5	B bc	5,5	A b
Média	4,6	B	5,0	A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

4.3.3. TEORES (T_C) E CONTEÚDO (U_C) DE N EM COLMO+BAINHA

Nos colmo e bainhas, os teores variaram ontogeneticamente, sendo sempre superiores em IAC 4440 (Tabela 4.3.2.1). As coletas aos 80 e 100 DAP apresentaram os maiores conteúdos de N, a despeito do menor teor apresentado, o que é devido aos maiores valores de W_C registrados neste período (Tabela 4.1.3.1).

Uma quantidade significativa de N foi remobilizada dos colmos+bainhas para a panícula no período pós floração até os 115 DAP. Um novo aumento nos teores e conteúdos foi observado na coleta aos 135 DAP. Silveira & Machado (1990) trabalhando com IAC 4440 e IAC 120, também encontraram aumentos nos teores de N do colmo até os 20 DAF, e posteriormente os autores não verificaram maiores alterações de conteúdos para as cultivares.

Tabela 4.3.3.1. Teores (T_C) e conteúdo (U_C) de N no colmo + bainha das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾		IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾	
	----- T_C (mg g ⁻¹)-----				----- U_C (mg planta ⁻¹)-----			
60	6,0	A a	5,3	B a	87,2	A d	70,8	B d
80	5,2	A b	4,2	B b	130,5	A b	87,9	B bc
100	3,7	A c	2,9	B c	162,1	A a	129,6	B a
115	2,7	A d	2,4	B d	96,7	A cd	75,2	B cd
135	4,8	A b	3,9	B b	112,1	A bc	113,6	A ab
Média	4,5	A	3,8	B	117,7	A	95,4	B

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

No anexo 6 são apresentados os dados relativos a interação dose de N \times DAP para teores e conteúdos de N no colmo + bainha. Teores significativamente maiores foram observados aos 60 DAP para as maiores doses. Para 80-115 DAP, não houveram diferenças significativas nos teores, e aos 135 dias, as respostas foram muito variáveis. Em geral, as maiores doses apresentaram conteúdos superiores, com variações interativas aos 60 e 100-115 DAP, função do aumento de W_C nesse período.

4.3.4. TEORES (T_R) E CONTEÚDO (U_R) DE N NA RAIZ

Os teores e conteúdos de N nas raízes foram menos variáveis que os dos outros componentes. As cultivares não apresentaram diferenças entre si. Os conteúdos de N em raízes de IAC 4440 foram menores em função da menor W_R apresentada por esta cultivar (Tabela 4.3.4.1).

Os efeitos interativos foram variáveis (anexo 3) e o anexo 7 apresenta os valores dos teores e conteúdos para a interação dose de N \times DAP. Esses efeitos podem ser resumidos por uma tendência em aumento de teores e conteúdo para os tratamentos que receberam N quando comparados com o nível 0 de N.

Tabela 4.3.4.1. Teores (T_R) e conteúdo (U_R) de N na raiz das cultivares IAC 4440 e Comum Branco em função de DAP.

DAP	IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾		IAC 4440 ⁽¹⁾		C. Branco ⁽¹⁾	
	----- T_R (mg g ⁻¹)-----				----- U_R (mg planta ⁻¹)-----			
60	5,0	A a	5,4	A ab	54,5	B ab	65,8	A a
80	5,1	A a	5,0	A b	59,4	A a	65,5	A a
100	5,2	A a	5,6	A ab	50,6	B b	62,5	A a
115	5,6	A a	5,6	A ab	58,8	B a	70,1	A a
135	5,6	A a	5,9	A a	56,1	B ab	67,3	A a
Média	5,3	A	5,5	A	55,9	B	66,2	A

(1) Os dados originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre épocas.

4.3.5. TEORES, CONTEÚDO DE N E PROTEÍNA BRUTA NOS GRÃOS

As doses de N não alteraram significativamente nenhum dos parâmetros relacionados a N na panícula (Tabelas 4.3.5.1 a, b, c e d). Foram observadas diferenças entre as cultivares, onde para T_{PN} , PG e PB (Tabelas 4.3.5.1 a, b e c), Comum Branco resultou superior. Já para U_{PN} , IAC 4440 mostrou-se superior (Tabela 4.3.5.1d) em função de maior W_{PN} . Os presentes dados então em linha com os obtidos por Ferraz Jr. (1993).

Em cereais, é frequente a observação de uma relação negativa entre produção de grãos e percentagem de proteína nos mesmos, especialmente em cereais selecionados por teores anormalmente altos ou baixos de proteína no grão (Groot & Spiertz, 1991; Below, 1995). Aplicações de N em fases anteriores ao florescimento tendem a beneficiar a produção de grãos mais que

o conteúdo proteico do grão, como mostrado por Finney *et al* (1957) em trigo e Thom *et al* (1981) em arroz.

Tabela 4.3.5.1. a) Teores de N (T_{PN}), b) Proteína bruta (PG) e c) Conteúdo por grão (U_G) em grãos descascados; d) Conteúdo de N na panícula (U_{PN} , grão com casca) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco e dose de N.

(a)				(b)			
N	IAC 4440	C. Branco		IAC 4440	C. Branco		
(g m ⁻²)	----- T_{PN} (mg g ⁻¹)-----			-----PG (mg g ⁻¹)-----			
0	10,78 B a	15,74 A	a	64,12 B a	93,67 A	a	
2	10,88 B a	14,73 A	a	64,74 B a	87,66 A	a	
4	11,63 B a	15,19 A	a	69,17 B a	90,37 A	a	
6	12,33 B a	16,77 A	a	73,34 B a	99,76 A	a	
8	11,51 B a	16,87 A	a	68,46 B a	100,52 A	a	
Média	11,42 B	15,87 A		67,93 B	94,43 A		

(c)				(d)			
N	IAC 4440	C. Branco		IAC 4440	C. Branco		
(g m ⁻²)	----- U_G (mg grão ⁻¹)-----			----- U_{PN} (mg planta ⁻¹)-----			
0	0,268 B a	0,469 A	a	200,46 A a	144,32 B	a	
2	0,253 B a	0,441 A	a	204,43 A a	148,46 B	a	
4	0,283 B a	0,484 A	a	202,05 A a	160,23 B	a	
6	0,298 B a	0,512 A	a	243,85 A a	182,27 B	a	
8	0,283 B a	0,512 A	a	228,82 A a	175,32 B	a	
Média	0,283 B	0,484 A		215,92 A	162,12 B		

(Aa) Médias seguidas da mesma letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre cultivares e letras minúsculas entre doses de N.

Em princípio é fácil verificar que IAC 4440 enquadra-se nesta conceituação. Contudo, as razões pelas quais os metabolismos de C e N interagem na panícula em desenvolvimento para produzir tal resultado, são complexas e não bem entendidas ao presente (Silveira, 1987; Below, 1995).

Considerando-se a relação de partição U_{PN}/U_T (Tabela 4.3.5.1d e 4.3.1), é notório que com relação ao total de N remobilizado para a panícula, IAC 4440 mostrou-se superior a Comum Branco (49,7 vs 39,6 mg g⁻¹).

Silveira & Machado (1990), observaram que quanto maior a senescência foliar da cultivar, maior é a remobilização de N para suprir a demanda de N-proteico para a formação do embrião. Outros autores (Perez *et al*, 1973; Reed *et al*, 1980; Swank *et al*, 1982) também sugerem que cultivares com maior intensidade de senescência apresentam maior remobilização de N, que por sua vez, conduz a maior índice de colheita de N (U_{PN}/U_T), e maiores teores de proteínas nos grãos. A observação no tocante ao teor de proteína no grão, contraria aparentemente o observado neste experimento, onde como já mencionado IAC 4440 mostrou maior senescência pós-floração (tabela 4.1.2.1) associado a menor teor de proteína do grão (tabela 4.3.5.1). Por razões que serão discutidas no item 4.4, a situação pode ser mais complexa, uma vez que houve aparentemente nesta cultivar, uma contribuição de fotossíntese corrente e um pequeno I_N pós-floração.

4.3.6. INFLUXOS RADICULARES DE N.

O influxo de N (I_N) instantâneo para cultivares e doses de N foi obtido a partir das curvas de acúmulo de N (Figuras 4.3.1 e 4.3.2), e área radicular (Figuras 4.1.7.1 e 4.1.7.3), de acordo com a equação:

$$I_N = \frac{1}{A_R} \cdot \frac{dU_N}{dT}$$

onde, dU_N/dT é a taxa de acumulação absoluta de N na planta (mg N dia^{-1}), e A_R é a área radicular respectiva ($\text{m}^2 A_R$).

Altos valores iniciais, tanto para cultivares como para doses, podem ser explicados pela superestimação do conteúdo de N pelas curvas primitivas aos 20 DAP, como já exposto no item 4.3. Com efeito, esses valores estimados correspondem a teores de N nas plantas, que mais do que duplicam os observados nas plantas nessa idade (para IAC 4440, 117 vs 49 mg N g^{-1} e para Comum Branco 107 vs 44 mg N g^{-1}). Uma estimativa mais realística para os 20 DAP pode ser obtida pelo cálculo para a média do período, dada pela expressão:

$$\bar{I}_{N_{20-40}} = \frac{\text{Ln}A_{R_{40}} - \text{Ln}A_{R_{20}}}{40\text{DAP} - 20\text{DAP}} \cdot \frac{U_{T_{40}} - U_{T_{20}}}{A_{R_{40}} - A_{R_{20}}}$$

cuja resolução indica valores de 27,7 e 26,3 $\text{mmol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente. Esses valores são próximos dos encontrados por França *et al* (1996) com as mesmas cultivares (22,5 e 21,8 para IAC 4440 e Comum Branco) aos 25 DAP, quando cultivadas em solução nutritiva com 60 mg N L^{-1} (48 mg N-NO_3 e 12 mg N-NH_4). Com essas ressalvas, pode-se observar que as duas cultivares apresentaram padrões de I_N semelhantes, sendo que em IAC 4440, o mesmo foi sempre ligeiramente superior (Figura 4.3.6.1).

Embora os I_N pós-floração tenham sido grandemente reduzidos em comparação aos observados no início da fase vegetativa, os mesmos são detectáveis, na forma de um paulatino incremento em U_T quase até o final do ciclo. Este resultado aponta para uma tendência diferente da observada por Machado *et al* (1990), onde o influxo radicular de N em IAC 4440 cessou aos 110 DAP, tal como julgado pela não variação de U_T nas plantas. Deve ser considerado porém, que o autor não contabilizou o N proveniente de folhas senescentes.

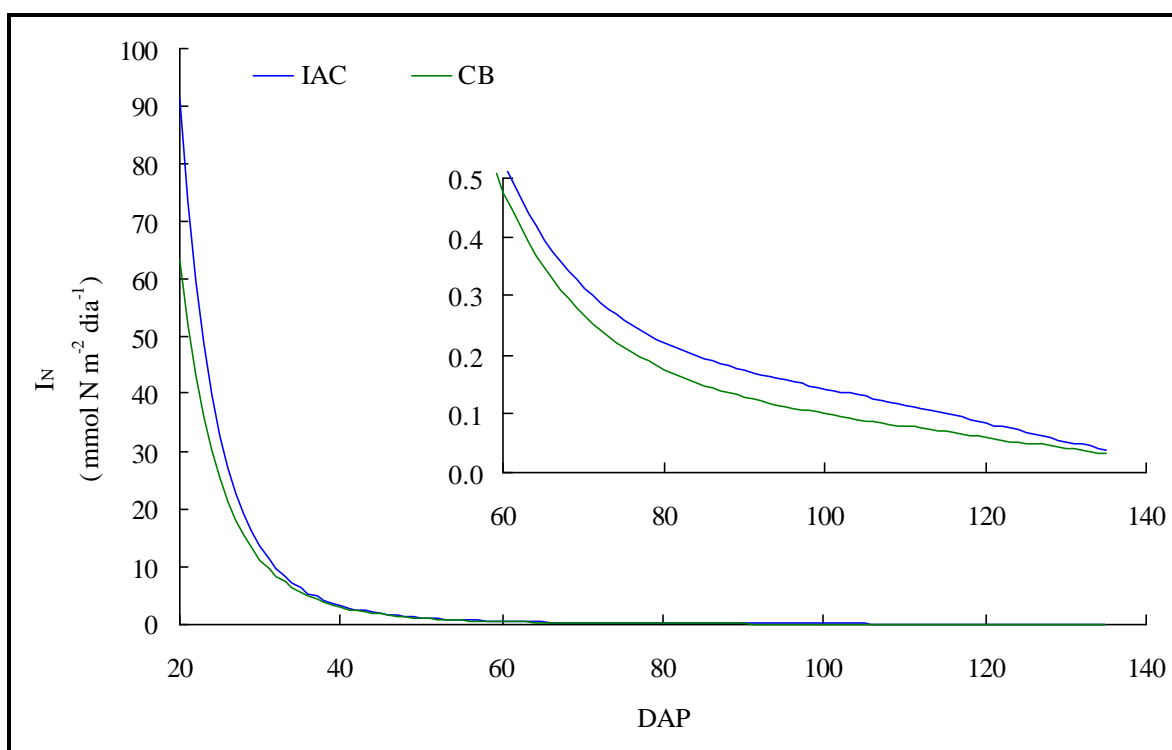


Figura 4.3.6.1. Influxo líquido de N (I_N) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco entre 20 e 135 DAP. Em detalhe, diferenças de Influxo entre 60-135 DAP.

Os valores de I_N para a fase juvenil de plântula (20 DAP) podem representar influxos “potenciais”, porém, os valores pós 60 DAP representam os influxos “operativos”, já que o maior acúmulo de N na biomassa se dá no período de expansão exponencial de A_R (Figuras 4.1.7.2 e 4.3.6.2), onde em média, a capacidade absorptiva das raízes por unidade de área tem declinado em função da ontogenia e da progressiva redução de N no substrato.

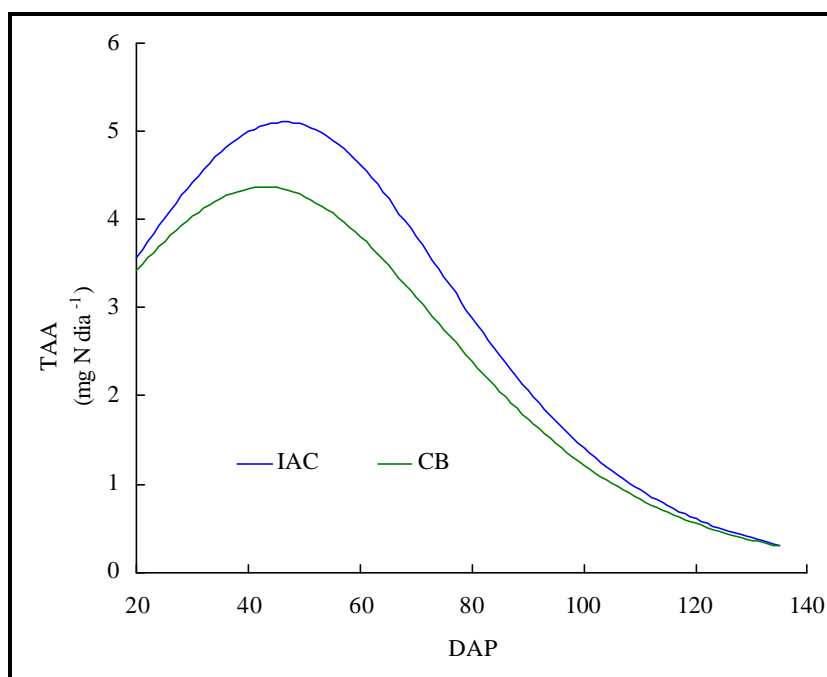


Figura 4.3.6.2. Taxa de Acumulação Absoluta (TAA) de N para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco para 20-135 DAP.

Os valores de Taxa de Acumulação Absoluta de N (TAA), mostrados na Figura 4.3.6.2, mostram que a demanda máxima de N pela fitomassa em crescimento ocorre aos 43 e 46 DAP para Comum Branco e IAC 4440, com valores de 4,36 e 5,11 mg N dia⁻¹ respectivamente. A importância

prática deste tipo de informação é de que do ponto de vista fisiológico e agrônômico, a maior absorção e recuperação do N aplicado pode ser esperado nesta idade, desde que a taxa de absorção é função da taxa de crescimento da matéria seca (Figura 4.1.8.1). Aliás, comparando-se ambas as figuras (4.3.6.2 e 4.1.8.1), pode-se observar que os picos máximos para as taxas de acúmulo absoluto de massa seca total aconteceram, como visto acima, dias antes. Então, com base na planta inteira, a partir dos 60 DAP pode ser esperada uma fase de diluição global do N absorvido, após um período vegetativo inicial de concentração do mesmo na fitomassa.

Considerando o influxo de N para os dois grupos de resposta à N a partir dos 60 DAP, pelos motivos já expostos, a figura 4.3.6.3 mostra que doses acima de 6 g N m^{-2} tiveram efeito depressivo sobre o influxo, isso porque o aumento de A_R (Figura 4.1.7.3) foi superior à maior acumulação absoluta de N (Figura 4.3.2).

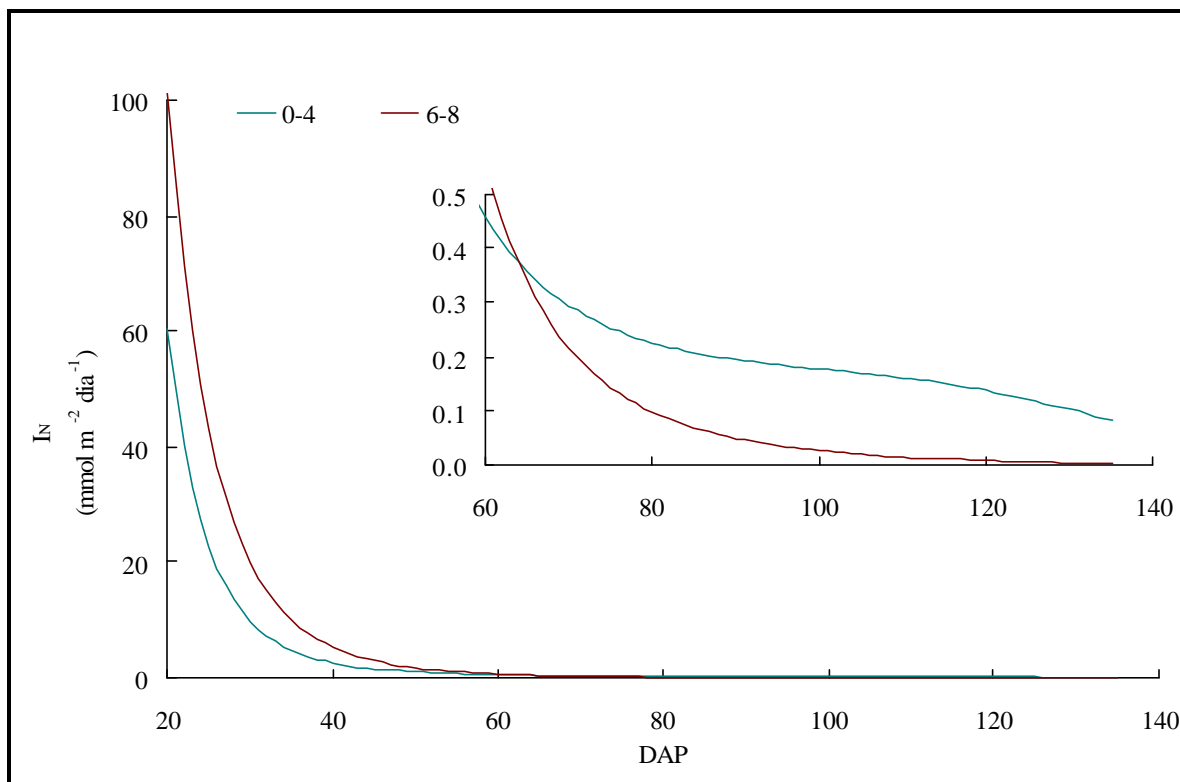


Figura 4.3.6.3. Influxo líquido de N (I_N) para as doses de N 0-4 e 6-8 g N m⁻² entre 20 e 135 DAP.

Groot & Spiertz (1991), sugerem que o melhoramento em si não tem aumentado consideravelmente a capacidade absorptiva da superfície radicular das cultivares, o que parece de uma forma geral confirmado pelos presentes dados. Isso não impede, é claro, a existência de variabilidade genotípica. Da mesma forma que existem cultivares tradicionais com um potencial produtivo alto (em relação às melhoradas), existem aquelas com alta eficiência de absorção e baixa capacidade inerente de produção, uma vez que ambos processos globalmente estão controlados por fatores genéticos independentes (Duncan & Baligar, 1990), tal como evidenciado por Ferraz Jr. *et al* (1996), no exame dos coeficientes de absorção e utilização de N entre cultivares tradicionais e melhoradas.

4.3.7. PARTIÇÃO DO CONTEÚDO DE N

Os padrões de acúmulo das diferentes frações tiveram comportamento semelhante entre as cultivares (Figuras 4.1.7.1 e 4.1.7.2).

Em IAC 4440, as folhas verdes constituíram-se no compartimento principal de acúmulo de N durante os 40-80 DAP, sendo que sincronicamente, havia um incremento contínuo de N nos colmos e bainhas até os 100 DAP (Figura 4.3.7.1).

Na Tabela 4.3.7.1, os valores U_i/U_T ($g\ g^{-1}$), onde 'i' é um dado componente de U_T , são evidenciadas a contribuição de folhas verdes e colmos no acúmulo de N na fitomassa até os 100 DAP. Uma queda linear no conteúdo de N em folhas verdes relaciona-se inversamente com o aumento do conteúdo de N na panícula, já que apenas uma pequena porção de U_{FV} foi descartado pela planta, como constituinte da folha senescente.

Por sua vez, U_C decresceu até os 115 DAP. A partir dessa data observa-se uma tendência á novo aumento do conteúdo desta fração (Tabela 4.3.3.1). Essa tendência concorda com observações de vários autores (Perez *et al*, 1973; Yoshida, 1972; Murata & Matsushima, 1975).

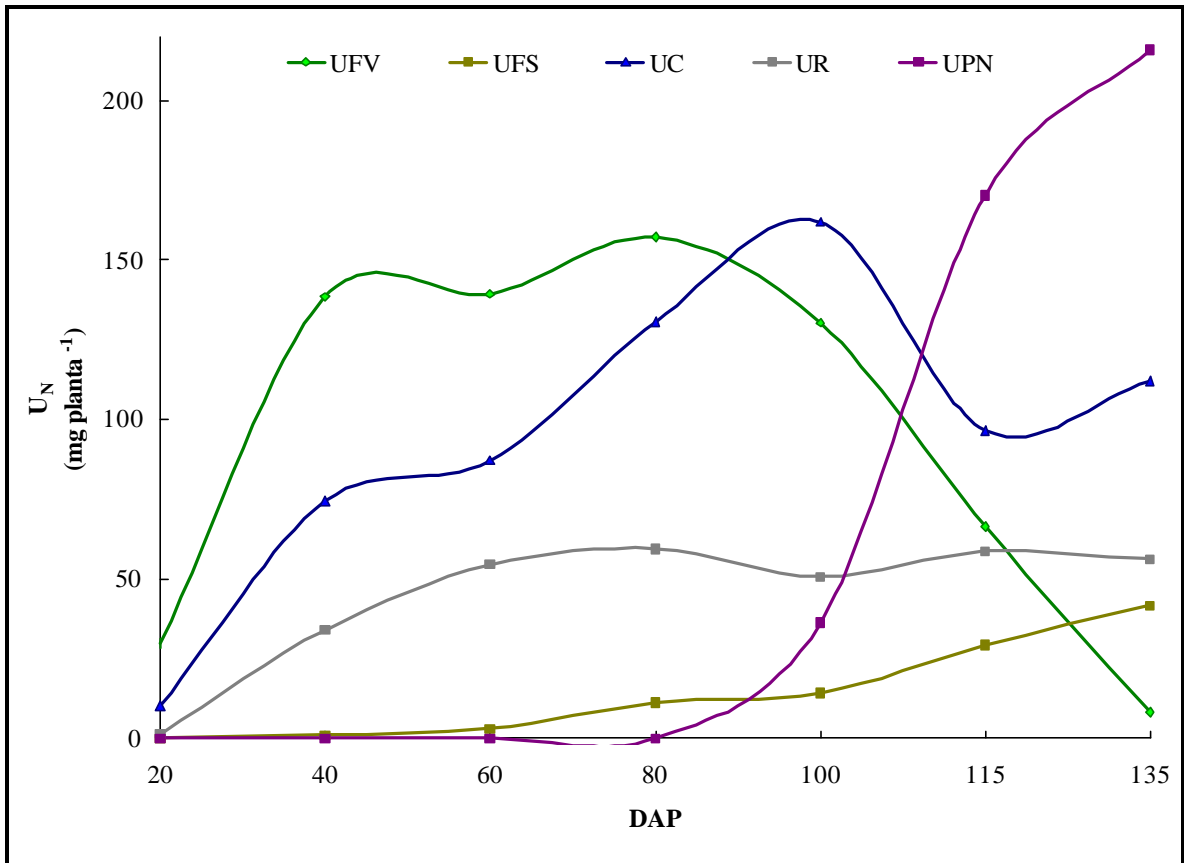


Figura 4.3.7.1. Tendências da variação sazonal do conteúdo de N (U_N) nas diferentes frações da cultivar IAC 4440, entre os 20 e 135 DAP.

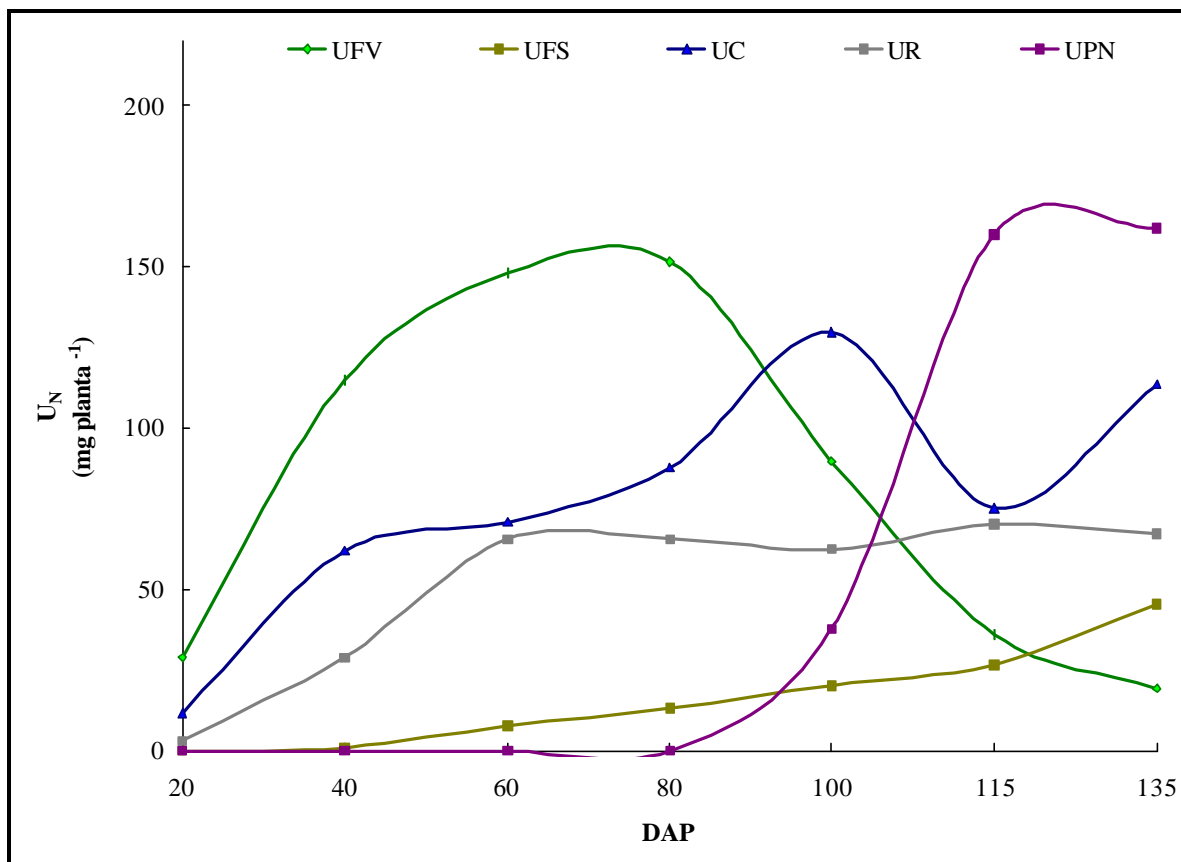


Figura 4.3.7.2. Tendências da variação sazonal do conteúdo de N (U_N) nas diferentes frações da cultivar Comum Branco, entre os 20 e 135 DAP.

Em Comum Branco, a folhas também se constituíram no principal reservatório de N. Durante o período de 40-80 DAP, os mesmos padrões de variação de U_C observados na IAC 4440 até os 100 DAP foram também observados nesta cultivar (Figura 4.3.7.2, Tabela 4.3.7.1).

Tabela 4.3.7.1. Coeficientes de partição U_i / U_T para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco.

DAP	U_T (g)	U_{FV}	U_{FS}	$U_i / U_T^{(1)}$ (g g ⁻¹)			
				U_C	U_{PN}	U_{PA}	U_R
IAC 4440							
20	41.30	0.72	0.00	0.24	0.00	0.96	0.04
40	247.75	0.56	0.00	0.30	0.00	0.86	0.14
60	284.12	0.49	0.01	0.31	0.00	0.81	0.19
80	358.19	0.44	0.03	0.36	0.00	0.83	0.17
100	395.08	0.33	0.04	0.41	0.09	0.87	0.13
115	421.14	0.16	0.07	0.23	0.40	0.86	0.14
135	433.93	0.02	0.10	0.26	0.50	0.88	0.13
Comum Branco							
20	44.09	0.66	0.00	0.27	0.00	0.93	0.07
40	206.45	0.56	0.00	0.30	0.00	0.86	0.14
60	292.17	0.51	0.03	0.24	0.00	0.78	0.23
80	318.33	0.48	0.04	0.28	0.00	0.80	0.21
100	340.28	0.26	0.06	0.38	0.11	0.81	0.18
115	367.98	0.10	0.07	0.20	0.43	0.80	0.19
135	408.21	0.05	0.11	0.28	0.40	0.84	0.16

⁽¹⁾ U_i é o conteúdo da fração respectiva da planta.

Após os 80 DAP, U_{FV} caiu de forma similar em ambas as cultivares, (Tabela 4.3.1.1 e 4.3.7.1 e Figuras 4.3.7.1 e 4.3.7.2). Após os 115 DAP, U_{FV} continuou a cair linearmente na IAC 4440, enquanto que em Comum Branco a variação do conteúdo de N nas folhas verdes foi mais suave (Figuras 4.3.7.1 e 2). Neste período (115-135 DAP), houve um aumento significativo do N acumulado nos colmos de Comum Branco, ao passo que em IAC 4440 esta tendência é muito menos definida e não significativa. Então, aparentemente em Comum Branco houve um bloqueio do fluxo de N do colmo em direção ao grão, mas não das folhas em direção ao colmo. Isso pode ser inferido pelo

aumento de 0,20 para 0,28 da relação U_C/U_T observado nesta cultivar durante a transição grão leitoso - grão maduro (Tabela 4.3.7.1). Quando se calcularam as taxas de acúmulo relativo de N nas panículas para o período pós floração, isto fica evidenciado de forma mais clara.

Entre 100-115 DAP, essas taxas foram de 0,053 para IAC 4440 e 0,0529 mg N mg N⁻¹ dia⁻¹ para Comum Branco, isto é, praticamente igual para ambas as cultivares, ao passo que no período final pré-colheita, esses valores foram de 0,038 (IAC 4440) e 0,0166 (Comum Branco), isto é, o influxo de N ao grão em desenvolvimento na cultivar de sequeiro foi 2,5 vezes menor.

A maior ou menor eficiência de remobilização de N a partir do colmo, é evidenciada pela variação do coeficiente de partição U_{PN}/U_T . Assim, aos 115 DAP esses coeficientes foram de 0,40 e 0,43 para IAC 4440 e Comum Branco. Como consequência disto, esta última cultivar mostrou um coeficiente de partição $N_{panícula}/N_{total}$ 20% superior a Comum Branco por ocasião da colheita (0,5 vs 0,4 g U_{PN}/U_T respectivamente; Tabela 4.3.7.1), ou seja, aos 115 DAP IAC 4440 tinha atingido o mesmo coeficiente de partição que Comum Branco à colheita.

Como visto anteriormente (item 4.3.6) houve um certo I_N em ambas as cultivares entre floração e maturação. Qual o papel desse suprimento radicular tardio sobre o balanço líquido de N neste período é um aspecto que não pode ser facilmente equacionado sem um estudo detalhado da variação das frações nitrogenadas. Independente disso, permanece o fato de que Comum Branco teve um acréscimo de N, base planta inteira 74% maior que IAC 4440 durante o período floração-maturação (Tabela 4.3.7.2). Surge então a questão de como processou-se esse acúmulo, notoriamente localizado, com já

discutido, nos colmos. Deve-se considerar que enquanto o valor de I_N nesta cultivar foi baixo, isto foi devido a diluição do acúmulo de N em uma área radicular significativamente superior à IAC 4440. Como visto no item 4.1.7, essa superioridade de área radicular em Comum Branco pode ter sido devida a menor taxa de senescência radicular e/ou ao desenvolvimento tardio de novas raízes oriundas do perfilhamento pós-floração. Raízes nodais novas possuem alta capacidade absorptiva (Waisel & Eshel, 1991) e portanto podem ter contribuído ao maior acúmulo de N em Comum Branco.

Tabela 4.3.7.2. Acúmulo de N (U) nos diferentes compartimentos das cultivares IAC 4440 e Comum Branco entre a floração e maturação.

	Floração		Maturação		Variação	
	IAC	CB	IAC	CB	IAC	CB
	-----U (mg planta ⁻¹)-----					

U_{FV}	130,33	89,94	8,06	19,49	-122,27	-70,44
U_{FS}	14,14	20,29	41,66	45,69	27,52	25,40
U_C	162,09	129,62	112,15	113,62	-49,94	-16,00
U_R	50,58	62,49	56,13	67,28	5,55	4,79
U_{PN}	36,33	37,93	215,92	162,12	179,59	124,19
U_T	395,08	340,28	433,93	408,21	38,85	67,93

4.4. INTERRELAÇÕES ENTRE VARIAÇÕES SAZONAIS DE MASSA SECA,

CONTEÚDO DE N E PRODUÇÃO DE GRÃOS

No anexo 9 apresentam-se todos os coeficientes de correlação (r) possíveis entre os componentes da massa seca e conteúdo de N para as cultivares estudadas. Em geral, IAC 4440 apresentou valores mais elevados de r (entre 0,80 e 0,98) do que Comum Branco, com exceção da correlação entre W_{PN} e U_{PN} (0,96 vs 0,98). Isto é uma consequência de que entre 115-135 DAP, em IAC 4440, W_{PN} continuou a incrementar exponencialmente, enquanto o acúmulo de N na panícula processou-se de forma curvilínea, definindo uma tendência inversa na evolução de W_{PN} e N-protéico. Já em Comum Branco, a taxa de variação em W_{PN} e U_{PN} teve pendente praticamente nula, pelas razões já discutidas anteriormente. Isso pode ser melhor apreciado na Figura 4.1.1, a qual, de outra forma, evidencia o já discutido previamente (Tabelas 4.1.10.1 e 4.3.7.1). Nessa Tabela estão incluídas as estimativas da TCR para W_{PN} e TAR para U_{PN} mencionadas previamente.

Folhas verdes, compartimento responsável pelo maior acúmulo de N no período pré-floração (Figuras 4.3.7.1 e 4.3.7.2 e Tabela 4.3.1.1), apresentaram os menores valores de r entre a sua massa e o seu conteúdo de N, com significação estatística ($r = 0,80$ e $0,78$ para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente; anexo 9). Isto é de se esperar devido a defasagem entre a taxa de acúmulo de N nas folhas e a taxa de acúmulo de W_F nas mesmas. Altos influxos radiculares de N na fase juvenil de crescimento vegetativo (Figura 4.3.6.1) determinam altos conteúdos de N nas folhas. Esse alto estoque inicial de N é progressivamente diluído numa taxa de acúmulo de matéria seca progressivamente maior. Este padrão constitui um fenômeno comum em

espécies anuais de crescimento rápido (Manzatto, 1987, para híbridos de milho em solução nutritiva; Rossiello, 1987, em cana-de-açúcar; Fernandes & Rossiello, 1995, para outras espécies), e no presente estudo, está evidenciado na discussão anterior.

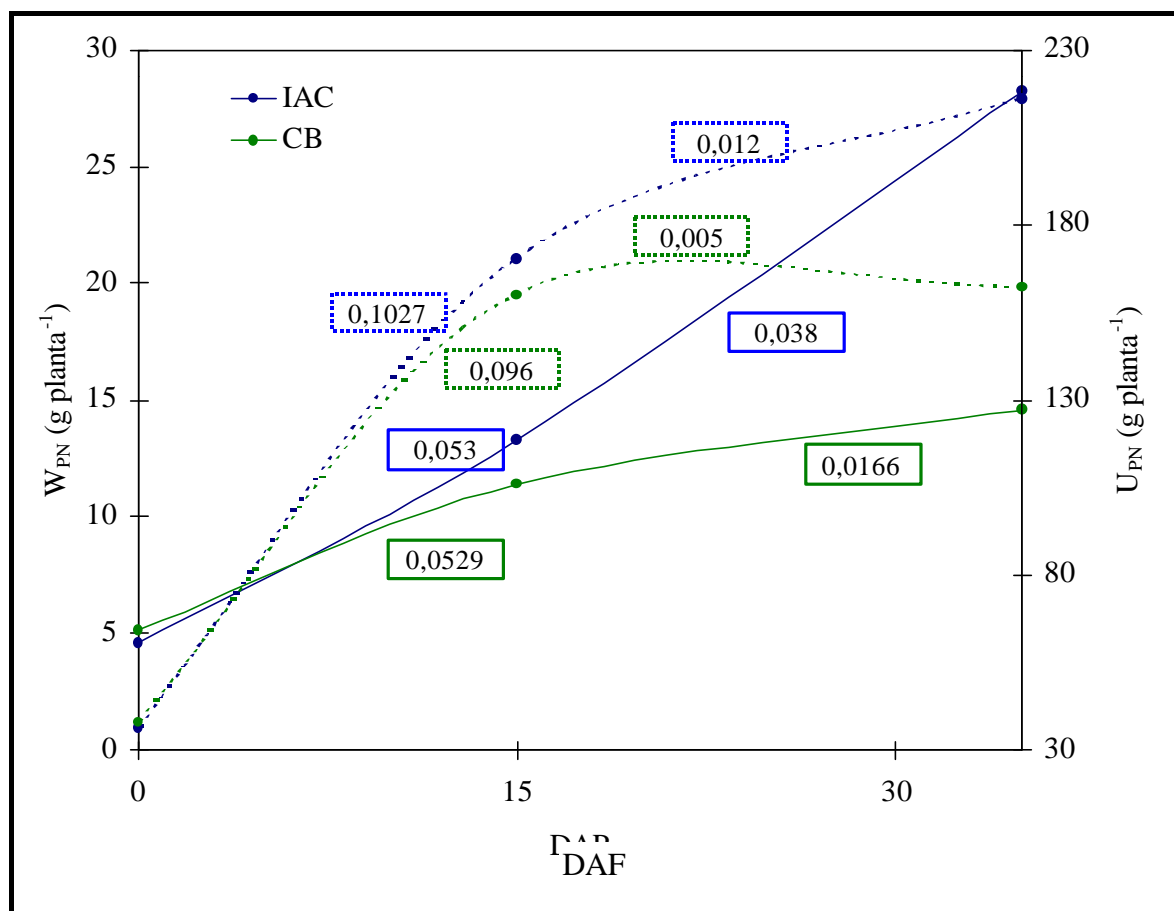


Figura 4.4.1. Relação entre W_{PN} e U_{PN} para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco. Linhas contínuas para W_{PN} e linhas segmentadas para U_{PN} . Os números na figura correspondem as taxas relativas médias de acúmulo de WPN e UPN entre períodos. DAF = Dias Após Floração.

De forma inversa, as folhas senescentes foram as que apresentaram melhor correlação entre sua massa e seu conteúdo, o que é de se esperar já que a diminuição nos teores nitrogenados pela exportação, tendem a acelerar a senescência (Machado *et al*, 1990).

A raiz apresentou excelente correlação ($r \geq 0,96$ para as duas cultivares) entre a variação de sua massa e seu conteúdo de N, devido a grande estabilidade nos teores de N (Tabela 4.3.3.1), o que justifica os altos valores de correlação.

Já os valores correspondentes à W_C e seu conteúdo, resultaram correlacionados em menor grau em ambas as cultivares (0,85 e 0,86 para IAC 4440 e Comum Branco respectivamente). Numa nova apreciação conjunto das figuras 4.1.10.1 e 4.10.10.2 (relativas a W_C), e 4.3.7.1 e 4.3.7.2 (relativas a U_C), verifica-se que entre 60-100 DAP, processou um acúmulo quase exponencial de W_C e seu correspondente U_C . Entretanto esse acúmulo de C e N se processa temporalmente a taxa diferencial entre ambas as cultivares, sendo a associação entre ambas as taxas mais estreita na IAC 4440. Os teores decrescentes de N no colmo (Tabela 4.3.3.1) dão conta desta diluição.

Grootz & Sprentz (1991) observaram que em folhas de trigo um certo conteúdo “residual” de N apresenta, da mesma forma que a atividade da Rubisco, alguma variabilidade genética. Numa simulação, estimaram que um aumento de 1 mg N g^{-1} na fração N-residual (na faixa compreendida entre $7,5\text{-}15 \text{ mg N g}^{-1}$) resultou num decréscimo de 4% da produção de grãos e um aumento correlato de 2,7% no teor de N no grão. Então, um aumento teor de N-residual da folha afetou mais o rendimento de grão do que o acúmulo de N no grão. O N-residual corresponde em grande parte ao N-estrutural

ligado ao apoplasto (proteína da parede celular) e portanto não remobilizável (Groot e Spiertz, 1991; Madore, 1995), e é de se supor que seja a fração determinada em folhas secas ou em alto grau de senescência. A consequência disto é que cultivares com maior índice de colheita de N (ICN , quociente entre U_{PN}/U_{PA}) e maior índice de colheita de grãos (IC), deverão apresentar menor teor de N-residual na palha, e menor teor de proteína no grão. De forma inversa, cultivares com maior teor de N residual, apresentarão maior teor de proteína como uma consequência de uma menor produção de grãos. Isso também pode ser observado nas cultivares estudadas por Ferraz Jr. (1993) onde as cultivares que apresentaram maior IC e ICN eram as que tinham menores teores de proteína nos grãos, e por sua vez menos produtivas.

Os presentes dados enquadram-se parcialmente nesta conceituação. No relativo a retenção de N em folhas senescentes, Comum Branco apresentou na fase de enchimento inicial do grão até grão leitoso teor significativamente menor de N-residual associado a folha senescente (3,4 vs 4,3 mg N g⁻¹ para Comum Branco e IAC 4440 respectivamente). Isso porque, entre 80-100 DAP, Comum Branco teve um repasse de N das folhas para os colmo 2,4 vezes maior que IAC 4440 (53 vs 22 mg N_{FV} planta⁻¹ para Comum Branco e IAC 4440; Tabelas 4.3.1.1 e Figuras 4.1.10.1 e 2 e 4.3.7.1 e 2), associada a uma mais rápida senescência da sua massa foliar.

Do total de N repassado ao colmo, por ocasião da floração, o repasse à panícula em desenvolvimento foi percentualmente similar nas duas cultivares (42 vs 40% para Comum Branco e IAC 4440 respectivamente). Essa quantidade de N repassada foi capaz de sustentar um fluxo de N através da

ráquis e glumas para o endosperma da ordem de $0,10 \text{ mgN mgN}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, que é a taxa média de acúmulo de N para as duas cultivares, nos primeiros 15 DAF (Figura 4.4.1).

Entre 15-35 DAP, como já largamente comentado, essa taxa de influxo de N cai em Comum Branco, associada a quase virtual detenção da taxa de acúmulo (tanto absoluto como relativo) de matéria seca no grão. Em IAC 4440, entretanto, no mesmo período, o influxo de N mantém-se elevado, devido, em grande parte ao suprimento contínuo de N a partir da massa foliar senescente nesse período, e em menor grau à uma provável contribuição da fotossíntese pós-antese, que pode ter contribuído na assimilação do I_N radicular detectado pós-floração. Estas últimas duas fontes de contribuição merecem um melhor exame, posto que podem ter maior amplitude de expressão em outros genótipos melhorados.

Já ao estado de grão leitoso o teor de N no grão é significativamente mais alto na Comum Branco ($14,5$ vs $12,5 \text{ mg N g}^{-1}$), definindo um mais alto teor de proteína bruta por ocasião da colheita, independente de nível de N, que aliás não afetou a expressão desse valor (Tabela 4.3.5.1). Aparentemente, em Comum Branco o N repassado ao grão estimula em maior grau a biossíntese protéica do que a própria biossíntese de carboidratos de reserva.

Este processo de concentração de N-protéico no grão é usualmente explicado pelos custos diferenciais de energia associados à síntese de novo de amido e proteína no grão, a partir de fotossintatos remobilizados da porção vegetativa (Ferraz Jr., 1993). Entretanto, existem evidências mostrando que o suprimento de carboidratos não limita normalmente o desenvolvimento

da espiga (em arroz, Dingkhung *et al*, 1990) e o progresso feito na identificação e seleção de cereais de alta produção de grãos e proteína fazem com que a explicação de competição energética para biossíntese pareça improvável, tal como destacado por Below (1995). Em adição este autor revisa evidências que indicam que o processo de acúmulo de C e N nas espigas parecem atuar independentemente. Outra área de avaliação necessária é a quantificação da respiração de manutenção da panícula, que usualmente é estimulada pelo aumento do teor de N na mesma (Sasahara *et al*, 1990; Silveira & Machado, 1993; Schneir *et al*, 1993), o que demanda um consumo adicional de esqueletos de C. No presente caso, como o N foi aplicado muito precocemente em relação a sua destinação final, não houve efeito de aumento desse percentual na panícula. A situação pode mudar entretanto, com a aplicações localizadas de N durante ou pós-floração.

A discussão anterior sugere que a interrelação entre C e N no grão é mais complexa do que o convencionalmente suposto, e claramente, mais estudos se fazem necessários nessa área. Em particular, não é possível saber com os dados disponíveis se essa maior eficiência ou velocidade de acúmulo de N-protéico no grão em Comum Branco está ligada a uma habilidade genotípica especificamente superior para biossíntese protéica ou a um padrão de partição diferente do N entre ambos os processos de biossíntese, o qual envolve taxas de “turnover”enzimáticas e outros aspectos (Mackown e Vand Sndford, 1988; Sasahara *et al*, 1993; Below, 1995).

Como consequência desse processo de remobilização diferencial de C e N entre as cultivares, Comum Branco teve, por ocasião da colheita, menores índices de colheita de grão e de N, associado a um maior teor

de proteína no grão do que IAC 4440 (Tabela 4.4.1, 4.3.2, 4.1.10.1 e 4.3.7.1).

Comum Branco portanto possui um compartimento produtivo caracterizado por duas características destacadas por Murata (1969): a) limitação de capacidade produtiva caracterizado por baixo número de perfilhos viáveis (tamanho do “yield container”; item 4.2.1), e, b) possivelmente, por um suprimento inadequado de fotoassimilados à panícula em crescimento, que pode ter afetado desde a atividade meristemática floral pré-emergência da mesma, até o período de máximo crescimento do cariopse (Murata & Matsushima, 1975). Este segundo componente foi evidenciado pelo alto percentual de sementes estéreis (>20%) comentado no item 4.2. É bem plausível que o estabelecimento de um padrão de neo-crescimento vegetativo (brotação de novos perfilhos, entre 115 e 120 DAP) tenha determinado uma diversão do fluxo de fotoassimilados, parte significativa do qual ficou retido no colmo (Figura 4.1.10.2), suprimindo nova atividade meristemática para a emergência desses perfilhos tardios. A Figura 4.1.7.2, que mostra a vigorosa rebrota da soca, sugere fortemente que este deve ser o caso. Este seria o comportamento esperado num genótipo não melhorado, e adaptado a condições tropicais. Uma expansão tardia do sistema radicular nestes cultivares (tal como no presente caso; Figura 4.1.7.1) seria benéfica para contornar os períodos secos associados à maturação, permitindo uma rápida rebrota no período pós-verânico.

Tabela 4.4.1. Índice de Colheita de grãos (IC) e Índice de Colheita de N (ICN) para as cultivares IAC 4440 e Comum Branco e doses de N.

N (g m ⁻²)	IC			ICN		
	IAC	CB	\bar{X}	IAC	CB	\bar{X}
	-----W _{PN} /W _{PA} -----			-----U _{PN} / U _{PA} -----		
0	0,46	0,24	0,35	0,56	0,39	0,47
2	0,45	0,28	0,37	0,56	0,49	0,52
4	0,44	0,28	0,36	0,55	0,49	0,52
6	0,47	0,28	0,37	0,60	0,52	0,56
8	0,47	0,26	0,37	0,59	0,49	0,54
\bar{X}	0,46	0,27		0,57	0,48	

O padrão de comportamento produtivo em IAC 4440 reflete o processo de melhoramento a que foi submetida. Trata-se de uma cultivar que pode ser enquadrada no tipo c) de Murata (1969): o suprimento de fotoassimilados e a capacidade produtiva estão bem balanceados, apresentando um alto percentual de grãos viáveis (91,4%). Nesse tipo de cultivar, o repasse do N e carboidratos acumulado na pré-floração é alto, tal como evidenciado pelas Figuras 4.1.10.1 e 2 e 4.3.7.2, e conseqüentemente pouco fotoassimilado permanece na palha. No presente caso, a relação grão:palha na colheita foi de 0,84 para IAC 4440, o que mais do que duplicou o valor desse índice para Comum Branco (0,37). Essas diferenças estão de acordo com os valores apresentados na literatura (Vitti *et al*, 1984). O rendimento de grãos nestes cultivares então está duplamente limitado: não somente a capacidade produtiva mas também o suprimento de fotoassimilados pós-floração podem ser limitantes (Murata & matsushima, 1975). Considerando-se que em arroz, a contribuição da fotossíntese foliar ao rendimento final é muito maior que em

cevada ou trigo (onde a fotossíntese da espiga faz uma contribuição significativa) as práticas de manejo, particularmente a adubação nitrogenada deveriam apontar nesta direção. Os presentes dados indicam que a taxa de assimilação líquida em IAC 4440 podem ser superior a de Comum Branco, quando comparados a mesma área foliar, durante o período de crescimento reprodutivo. Medições diretas de taxas de incorporação de CO₂ e de condutância estomática foliar, são necessários também, para elucidar este aspecto.

Em adição, houve mais A_F neste cultivar, com um máximo aos 20 dias pré-floração (Figura 4.1.6.1). Maior atividade assimilatória pode ser reflexo de uma maior AFE (Tabela 4.1.6.2) pelas razões expostas no item 4.1.6. É verdade que nesta cultivar evidenciou-se também brotação tardia, porém muito mais reduzida (Figura 4.1.7.2). Essa observação concorda com observações de campo (Santos *et al*, 1986) que indicam que esta cultivar possui um muito baixo potencial de produção de soca.

Qual deverá ser o efeito esperado da aplicação de N numa cultivar deste tipo? Para responder a estas questões devem ser considerados dois aspectos: nível de N e época de aplicação (Norman *et al*, 1992). Com relação à resposta ao nível de N, os presentes dados indicam que dentro da faixa 0-8 kg ha⁻¹, os maiores efeitos foram um aumento modesto do número de perfilhos viáveis (<20%) e conseqüentemente no número de sementes totais (Tabela 4.2.2.1). Neste último caso, entretanto o aporte de N aumentou também o número de sementes estéreis (Tabela 4.2.2.1), tal como observado por Murata & Matsushima (1975). Isto é devido a que um aporte excessivo de N na fase vegetativa inicial estabelece demandas múltiplas mutuamente competitivas

ao nível da folha, entre expansão foliar e taxa fotossintética (Dingkuhn *et al*, 1990; Fernandes & Rossiello, 1995), entre aumento da massa foliar e formação da panícula (por volta dos 50-60 DAP) e ainda por alongação dos internódios entre perfilhos (Morita & Yamazaki, 1993). Como a Tabela 4.4.1 mostra, a adição de N praticamente não mudou o IC de grãos em nenhuma das duas cultivares, parecendo improvável que níveis superiores de aplicação possam melhorar este índice (ver Figura 2.2.2). É interessante relembrar aqui o fato de que, não houve para nenhuma das características morfológicas e fisiológicas estudadas, interação entre nível de N e cultivar. Isto é, ambas tiveram o mesmo padrão de resposta e diferenças estatísticas conclusivas somente podem ser tomadas por contraste entre os extremos da faixa de aplicação (0 e 6-8 gN m⁻²). Isso pode ser devido a que os mecanismos de resposta em termos de absorção, transporte, assimilação e redistribuição de N estão rigidamente afixados nos respectivos genótipos.

Sasahara *et al* (1993), observaram falta de efeito da aplicação de N nas taxas de perdas de N a partir de folha bandeira, primeiro internódio, seus respectivos ráquis e glumas, de 76 cultivares de origem japonesa e índica. Esses autores concluíram que as taxas de perdas foram reguladas geneticamente, com especificidade genotípica, e lembraram que o mesmo tipo de especificidade a nível de cultivar foi demonstrado para retranslocação de assimilados em arroz e milho. Esta especificidade genotípica, também está presente na remobilização de N em trigo (Van Sanford & Mackown, 1987).

Poderiam estes padrões se manifestarem de forma diferencial a altos níveis de N, modificando a eficiência de uso da radiação solar, que em última instância controla a produção primária de massa seca de arroz, a um

mesmo nível de IC? A resposta a esta questão é naturalmente especulativa, no contexto dos presentes dados. Contudo, uma inspeção nos dados previamente apresentados na seção de Revisão de Literatura (Tabela 2.1.1) permite a construção de duas curvas de resposta a aplicação de N, para cultivares de sequeiro e irrigadas (Figura 4.4.2). Assumindo que um nível de rendimento relativo maior que 0,90 signifique uma resposta não significativa em termos biológicos (e até econômicos; Van Raij, 1983; Rossiello, 1987), pode ser observado que este valor é atingido com aproximadamente 33 e 58 kg N ha⁻¹ para cultivares de sequeiro e irrigado.

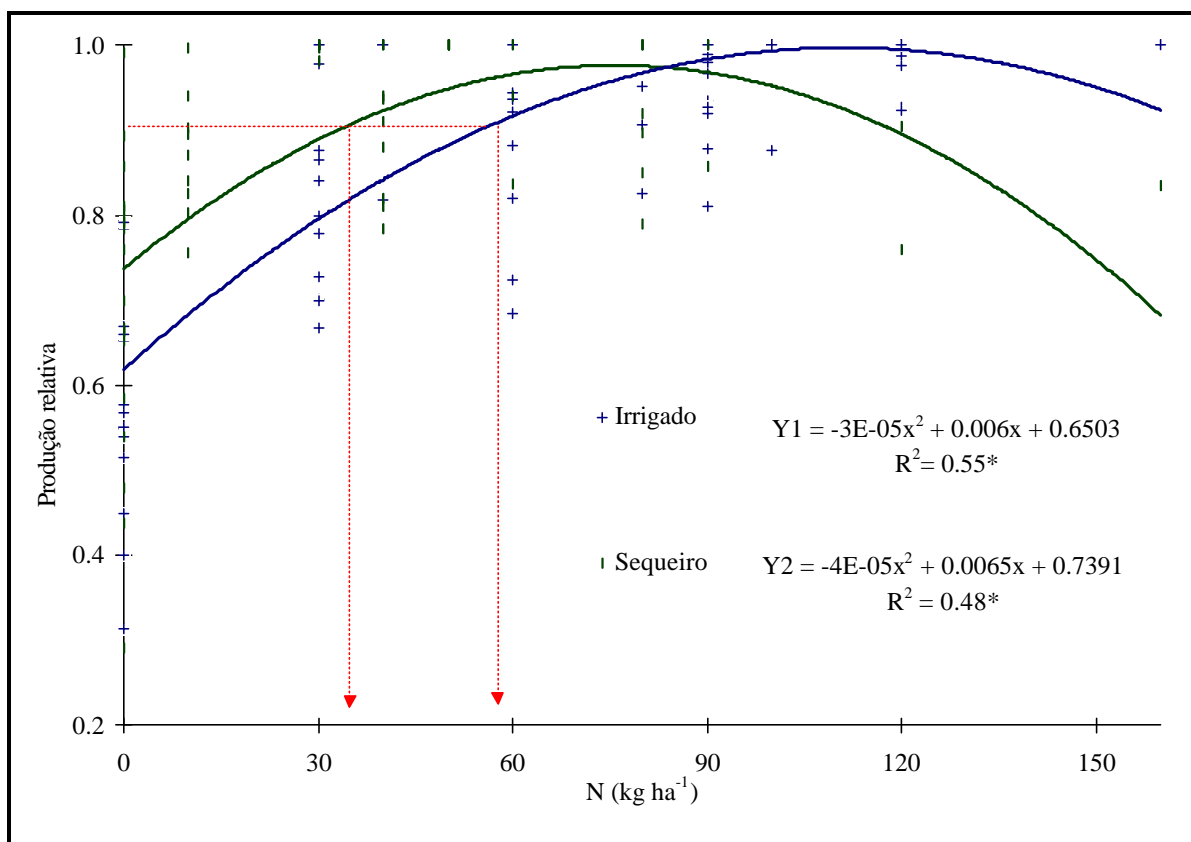


Figura 4.4.2. Produção relativa em função do nível de N para cultivares de arroz de sequeiro e irrigado. A produção relativa (PR) foi calculada para os dados da Tabela 2.1.1. $PR = Y/Y_m$, onde Y=produção à dado nível de N e Y_m =produção máxima. A linha pontilhada indica a $PR=0,9$.

Isto sugere que existe em geral pouca possibilidade de aumentar produtividade por efeito de aplicação de doses mais elevadas de N. A base para este tipo de resposta é a relação hiperbólica entre eficiência de uso de radiação solar ($gW_T MJ^{-1}$) e conteúdo de N foliar, indicando retornos decrescentes, em arroz a partir de valores de 0,8-1,0 g N m⁻² folha (Sinclair & Horie, 1989). Como por outro lado, e pelas razões já discutidas, o padrão de partição para C e N parece estar geneticamente determinado, existe em geral pouca possibilidade de aumentar produtividade por efeito de aplicação de doses mais elevadas de N, tal como a experiência corrente de experimentação agrônômica indica (figura 4.4.2).

O segundo aspecto levantado nesta discussão, isto é, o da época de aplicação de N, é essencialmente um problema de manejo fisiológico. Em culturas de tipo tradicional (como Comum Branco) a aplicação de N visando o estabelecimento da capacidade fotossintética (Below, 1995), está limitada por outra especificidade genotípica, que é o baixo número de perfilhos por planta. A partir de uma comparação entre a produção de perfilhos obtida neste experimento (figura 4.1.9.1) e a mostrada na figura 2.4.1, correspondente ao trabalho de França (1995), pode-se concluir que um suprimento relativamente alto de N (com uma relação $NO_3:NH_4$ fixa) e praticamente contínuo, a partir dos 15 DAP, como foi o caso desse último experimento, não altera

substancialmente o padrão. Os níveis de perfilhamento obtidos neste trabalho, são mais próximos aos obtidos em condições de campo (E. Marchesan, Universidade Federal de Santa Maria, 1995, informação pessoal).

Outra possibilidade de manejo seria a aplicação parcelada do N, como usualmente recomendado (Fageria, 1995; Santos *et al*, 1986). Neste último caso, poderia ser esperado que Comum Branco respondesse com um aumento da retenção de N nos colmos, que provavelmente favoreceria um mais ativo perfilhamento tardio, o que poderia ser aproveitado da produção de grão na soca.

Já nas cultivares melhoradas existe uma margem relativamente maior para o manejo fisiológico. Uma aplicação de N moderada no máximo perfilhamento/iniciação da panícula, pode aumentar o número de perfilhos viáveis, e potencialmente portadores de panículas férteis. Isto pode maximizar a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa através da otimização do IAF. Um aporte, suplementar, fisiologicamente “adequado” de N, poderia ser aplicado em torno de vinte dias pré-antese. Por “nível fisiologicamente adequado”, entende-se aquele que mantenha alto nível de assimilação fotossintética, durante um período maior do restante do ciclo. Níveis de N acima desse valor crítico tendem a ser diluídos em maior área foliar, o que reduz a taxa fotossintética e acelera a taxa de senescência foliar, resultando em um aumento das perdas respiratórias e do consumo de água, particularmente prejudicial sob condições tropicais (Dingkhin *et al*, 1990).

Em culturas melhoradas de ciclo curto e médio, o papel da manutenção de fotossíntese pós floração no enchimento do grão é de menor importância que nas de ciclo longo (Murata & Matsushima, 1975; Groot &

Spiertz, 1991). Portanto, a aplicação de N com essa finalidade pode ser de pouca utilidade em culturas de ciclo médio como IAC 4440. Também, a aplicação de N pré e pós-floração, visando o aumento do teor protéico no grão pode dar resultados mais positivos em culturas com 120-140 dias de ciclo, uma vez que a competição entre o acúmulo de carboidratos e proteína é reduzida pela alta taxa de crescimento da panícula, que obriga a um repasse elevado de N e C num curto período de tempo. Isto significa que é possível aumentar o teor protéico sem afetar grandemente a produção de grãos (Souza, 1995). Então uma aplicação parcelada de N poderia aumentar os percentuais de N nas folhas, favorecendo a manutenção da capacidade fotossintética, um maior número de panículas viáveis (capacidade do dreno) e a manutenção subsequente da atividade funcional do dreno (Below, 1995).

Sasahara *et al* (1993), destaca que os cultivares de arroz portadores de genes para redução de porte (“Semidwarf”) produzem tipos ideais, que no entanto não demonstram um aumento na capacidade da panícula, principalmente no número de espiguetas. Na prática, o balanço entre fotossíntese e taxa de expansão foliar é difícil de ser atingido nas modernas cultivares, devido a que as aplicações de N durante a fase reprodutiva resultam na prática, em sobreprodução de folhagem (isto é, IAF supraótimo). Dingkhin *et al* (1990), destacam que é necessária uma pesquisa genética, fisiológica e agrônômica tendendo a modelar genótipos com uma maior capacidade de acúmulo de fotoassimilados em drenos temporários como bainhas foliares e colmos, de outra forma usadas em excessiva produção de folhas. Isto pode ser conseguido através da redução do número de perfilhos (Schineir *et al*, 1990). De fato, a pesquisa atual no IRRI está revelando que em

termos de economia de C e N, uma arquitetura ideal para o arroz está constituída por plantas de porte baixo, folhas eretas e apenas 2 a 6 perfilhos. Desta maneira, poder-se-ia ter uma quantidade maior de perfilhos viáveis, com maior número de plantas por área (E. Marchezan, 1995, informação pessoal). Outra forma complementar de aumentar o rendimento seria através do melhoramento da estrutura e função da panícula, um caminho que ainda não tem sido explorado (Sasahara *et al*, 1993).

Portanto, os novos genótipos de arroz preconizados pela pesquisa parecem combinar a baixa capacidade de perfilhamento e alta capacidade de acúmulo de fotoassimilados no colmo e bainhas, como evidenciado na cultivar de sequeiro (Comum Branco), com o maior potencial fotossintético e capacidade de remobilização de C e N à panícula, característica de uma cultivar melhorada como IAC 4440.

5. CONCLUSÕES

Em atenção aos objetivos propostos, as principais conclusões obtidas foram agrupadas em dois tópicos.

a) *Sobre padrões de distribuição de massa seca e nitrogênio durante o ciclo das cultivares.*

1. Durante o período anterior à floração:

- Não existiram diferenças em acúmulo de matéria seca total entre as cultivares. Houve maior massa seca alocada em colmos e bainhas, e menor peso de massa de folhas senescentes em IAC 4440. A partição de massa seca em favor de raízes resultou similar em ambas as cultivares;
- IAC 4440 estabeleceu uma superioridade produtiva potencial em função de seu maior número de perfilhos. Como consequência, manteve maior

duração de área foliar fotossinteticamente ativa, resultando em maior taxa de acúmulo diário de matéria seca e área foliar;

- Os padrões de acúmulo de N nas diferentes frações seguiram a mesma tendência que os observados para acúmulo de massa seca, porém a taxa máxima de acúmulo de N, aconteceu em ambas as cultivar antes do que a taxa de máxima de acúmulo de matéria seca. Os teores de N foliares em ambas as cultivares foram similares até a floração. IAC 4440 teve maior área foliar específica no período, sugerindo maior diluição de N foliar;
- Quando comparadas à igualdade de área foliar, a taxa de assimilação líquida foi superior em IAC 4440, o que indica que a sobreprodução de área, prejudicou o potencial fotossintético nesta cultivar, em maior grau que em Comum Branco.

2. Durante o período pós-floração:

Nesta fase o padrão de partição de matéria seca ao grão, o qual foi rigidamente fixado na pré-floração, manifestou-se por:

- Remobilização sustentada de fotoassimilados e N à panícula em IAC 4440, evidenciado pela redução de massa seca e conteúdo de N de colmos e bainhas durante os primeiros 15 dias pós-floração e contribuição adicional de N e C a partir de acentuada senescência foliar no período de maturação. A elucidação da contribuição da fotossíntese e do influxo radicular de N pós-floração é uma matéria que permanece em aberto, merecendo estudo posterior;
- Detenção da remobilização de fotoassimilados e de N às panículas de Comum Branco, após os 15 dias pós-floração, com conseqüente acúmulo

de matéria seca e N em colmos e bainhas foliares. O desenvolvimento de um dreno secundário originado do neo-perfilhamento pós-floração, pode ter subtraído fotossintatos, de outra forma, passíveis de serem aplicados no enchimento da panícula em crescimento;

- O maior peso de grãos por planta em IAC 4440 foi explicado por maior número de panículas e maior número de sementes viáveis. De forma inversa, Comum Branco teve menor produção de grão por planta, em função de menor número de panículas, associado a uma elevada percentagem de sementes estéreis. Consequentemente, IAC 4440 teve maior índice de colheita de grãos e de N em relação à Comum Branco, que em contrapartida, apresentou maior percentagem de proteína bruta.

b) *Sobre padrões de distribuição de massa seca e nitrogênio durante o ciclo das cultivares.*

- Os efeitos decorrentes da aplicação única de N por ocasião do máximo perfilhamento foram diluídos durante o período de crescimento das plantas, de forma que tiveram efeito muito reduzido sobre a dinâmica de retranslocação de C e N pós-floração;
- O efeito de diluição foi responsável pela não significação da interação de praticamente nenhum dos parâmetros primários descritivos de crescimento das cultivares. Também não foi notado efeito do N no desenvolvimento fásico;
- Os maiores níveis de N aplicados, favoreceram um aumento da assimilação líquida devido à um aumento no teor de N foliar. Aos maiores níveis de

aplicação de N, o peso de massa foliar aumentou, sem promoção de área, tal como evidenciado pelo aumento do seu peso específico. Entretanto, o teor de N não reduziu significativamente a senescência foliar;

- A aplicação de N não afetou significativamente a produção, incidindo apenas num ligeiro aumento da percentagem de esterilidade das espiguetas, que contrabalanceou o ganho de uma panícula por planta.

Embora exista um conhecimento razoável sobre os determinantes da produtividade fotossintética em arroz, assim como dos mecanismos que regulam absorção, assimilação e translocação do N pré-floração, o presente trabalho evidenciou a necessidade de um aprofundamento nos seguintes aspectos:

1. Um estudo mais detalhado dos padrões de desenvolvimento radicular. Em particular, uma mais precisa quantificação dos influxos radiculares pós-floração, associados à emissão de novas raízes, induzidas por perfilhamento tardio;
2. Estudos detalhados das taxas de fixação fotossintética de CO₂ e de condutância estomática;
3. Uma melhor quantificação da atividade proteolítica responsável pela remobilização de N foliar e sua variabilidade genotípica;
4. Um conhecimento mais detalhado da magnitude dos influxos de N operativos no sistema: folha bandeira - primeiro internódio - ráquis - gluma - endosperma, e dos fatores que controlam tal influxo;
5. Uma aferição mais precisa do consumo respiratório de esqueletos de

carbono, com finalidade de manutenção e crescimento, especialmente no período de crescimento exponencial da panícula;

6. Maiores estudos sobre atividades enzimáticas biossintéticas no endosperma;
7. A nível de campo, estudos sobre o efeito da arquitetura foliar na eficiência de uso de radiação solar.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, D.L; DE-POLLI, H.; PESSANHA, G.G. & AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. p. 81-106. In: XVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. CEPLAC/SBCS. 1985.
- AMORIN NETO, S.; ANDRADE, W.E. de B. & FERNANDES, G.M.B. EMPASC 105 - Nova cultivar de arroz irrigado para o Estado do Rio de Janeiro. p. 80-81. In: Anais da XX Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. EMBRAPA-CPCT. 1993.
- ANCHENG, L. JIANMING, X. & XIAOE, Y. Effect of nitrogen (NH_4NO_3) supply on absorption of ammonium and nitrate by conventional and hybrid rice during reproductive growth, In: N.J. Barrow (Ed.), Plant nutrition: From genetic engineering to field practice: The Hague: Kluwer Academic Publishers. p.547-540. 1993.

- ARAÚJO, A.P. A análise de variância em experimentos de análise de crescimento vegetal: um estudo de caso. Resumos Expandidos do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. SBFV / UFV. Vol 3, pag. 1311 - 1313. 1995.
- ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; SILVA, E.M.R.; ALMEIDA, D.L. Growth analysis of tomato colonized with arbuscular mycorrhizal fungi. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, v. 20, n. 2, p. 000-000. 1996.
- ARNON, I. Physiological principles of dryland crop production. p. 3-146. In: GUPTA, V.S. (ed). Physiological aspects of dryland farming. Ed. Oxford & IBH publishing. 392 p. 1975.
- BACHA, R.E. & SCHERER, R.M. Aplicação de nitrogênio em várias fases de desenvolvimento de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado no Rio Grande do Sul. In: Anais da 8ª Reunião anual da cultura do arroz. EMBRAPA. Porto Alegre. Pag. 70-83. 1978.
- BAPTISTA, J. de A. Cinética de absorção de NH_4^+ e efluxo de prótons em arroz. UFRRJ, Itaguaí. 140 p. 1995. Tese de Mestrado.
- BARBOSA Fº. M. P. Nutrição e Adubação do Arroz. Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e Fósforo. Piracicaba. 129 pag. 1987. Boletim técnico nº 9.
- BELLOW, F.E. Nitrogen metabolism and crop productivity. p. 275-301. In: PESSARAKLI, M (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker Inc. New York. p. 275-301. 1995.
- BELOW, F.E.; CHRISTENSEN, L.E. REED, A.J; HAGEMAN, R.H. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of

- maize. *Plant Physiology*, v. 68, p. 1186-1190. 1981.
- BERI, V.; MEELU, O.P. & KHIND, C.S. Biomass production, N accumulation, symbiotic effectiveness and mineralization of green manures in relation to yield of wetland rice. *Trop. Agric. Trinidad*. v. 66, n. 1, p. 11-16. 1989.
- BRANCHER, A. Efeitos das adubações orgânica e mineral e calagem na cultura do arroz irrigado e em características químicas de um solo de várzea no Estado do Rio de Janeiro. Itaguaí, UFRRJ. 235 p. 1991. Tese de Mestrado.
- CAMARGO, F. A. de O., ROSSIELLO, R. O. P., ZONTA, E. & SANTOS, G. A. Acúmulo de nutrientes pelo arroz em resposta à incorporação de palha de arroz em um Gleissolo do Estado do Rio de Janeiro. XX RBFSNP / ESALQ / CENA. Piracicaba, SP. Anais do Congresso, pag 314 - 315. 1992.
- CAMARGO, F. A. de O., SANTOS, G. A., ROSSIELLO, R. O. P. & ZONTA, E. Acúmulo de Nutrientes pelo arroz influenciado pela incorporação de palha em gleissolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Vol. 19, nº 03, pag. 243 - 247. 1995.
- CANTARELLA H. & ANDRADE, J.C. O sistema internacional de unidades e a ciência do solo. In: *Boletim Informativo da SBCS*. Vol. 17, nº 03, pag 91-102. 1992.
- CHANG, T.T. & VERGARA, B.S. Varietal diversity and morphoagronomic characteristics of upland rice. *IRRI*. p. 72-90. 1975.
- CLARK, R.B. & DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. *Field Crops Research*, Amsterdam. v. 27, p. 219-240.

1991.

- CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: CEPLAC/SBCS Eds. Simpósio sobre reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. Ilheus. p. 45-76. 1985b.
- CLARKSON, D.T. Factors affecting mineral nutrients acquisition by plants. Ann. Rev. Plant Physiology. Palo Alto, nº 36, p. 77-115. 1985.
- CLARKSON, D.T. The mineral nutrition of higher plants. Annual review of plant physiology, Palo Alto. v. 31, p. 239-298. 1980.
- CLARKSON, D.T. The mineral nutrition of higher plants. Annual Review of Plant Physiology. Palo Alto. v. 31, p. 239-298. 1980.
- COOK, M.G. & EVANS, L.T. Nutrient responses of seedlings of wild and cultivated *Oryza* species. Field Crops Research. n. 6, p. 205-218. 1983.
- CORADIN, L. & FONSECA, J.R. Coleta de germoplasma de arroz no Estado do Maranhão. EMBRAPA-CENARGEN. Documentos 2, Brasília. 1982.
- COUNCE, P.A. Responses and ramifications of rice canopy leaf stratification. Crop Sci. v. 32, p. 779-781. 1992.
- DINGKUHN, M.; SCHNIER, H.F.; DE DATTA, S.K.; DÖRFLING, K. JAVELLANA, C. & PAMPLONA, R. Nitrogen Fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: II. Interactions among canopy properties. Crop Sci. n. 30, p. 1284-1292. 1990.
- DUNCAN, R.R. & BALIGAR, V.C. Genetics breeding and physiological mechanisms of nutrient uptake and use efficiency: An overview. In: BALIGAR, V.C. & DUNCAN, R.R. (eds). Crops enhancers of nutrient use. Academic press INC. Califórnia. p. 3-29. 1990.

- EMBRAPA / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Portfólio de tecnologias da EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação, Brasília. 1995.
- EMBRAPA / Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 1979
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Florianópolis, EPAGRI, 72 pag. 1992.
- EVANS, C.G. The quantitative analysis of plants growth. Oxford. Blackweel. 734 p. 1972.
- EVANS, L.T. Crop physiology some case histories. Cambridge University Press. Cambridge London. 374 p. 1975.
- FAGADE, S.O. & DE DATTA, S.K. Leaf area index, tillering capacity and grain yield of tropical rice as affected by density and nitrogen level. Agronomy Journal. v. 63, n. 3, p. 503-506. 1971.
- FAGERIA, N. K. Adubação e Nutrição Mineral da Cultura de Arroz. Ed. Campus. Rio de Janeiro, 1984. 341 p.
- FAGERIA, N.K. & BARBOSA F^a, M.P. Evaluations of rice cultivars for low levels of soil phosphorus. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. n. 2, p. 142-151. 1982.
- FAGERIA, N.K. & BARBOSA F^o, M.P. Screening rice cultivars for efficient phosphorus absorption. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. n. 12, p. 777-782.
- FAGERIA, N.K. & MORAES, O.P. Evaluations of rice cultivars for utilization

- of calcium and magnesium in the cerrado soils. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. n. 22, p. 667-672. 1987.
- FAGERIA, N.K. Maximizing crop yields. New York. Marcel Dekker. 274 p. 1992.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. & JONES, C.A. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker Inc. New York. 476 p. 1991.
- FAGERIA, N.K.; MORAIS, O.P. BALIGAR, V.C. & WRIGHT, R.J. Response of rice cultivars to phosphorus supply on an Oxisol. *Fertilizer Res.* n. 16, p. 195-206. 1988.
- FAGERIA, N.K.; SANTANA, E.P. & MORAES, O.P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 30, n. 9, p. 1155-1161. 1995.
- FAZIO, P.I.; MATTOS, T. & GUIDONI, A.L. Eficiência econômica da uréia em cultivares de arroz irrigado. *ENCAPA*. 27 p. 1983. (Boletim de pesquisa, n. 4).
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Effects on NH_4^+ and a nitrification inhibition on soil pH and phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.) *Cereal Research Communications*. v. 6, nº 21, p. 183-191. 1987.
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. CRC Press, Inc. p. 111-148. 1995.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P.; DÖBEREINER, J.; NEVES, M.C.P.; PIMENTEL, C. & MIRANDA, R.M. (Ed.). I Simpósio Brasileiro sobre Nitrogênio em Plantas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro / Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, Itaguaí. 365 p. 1993.

- FERNANDES, M.S. Efeitos de fontes e níveis de nitrogênio sobre a absorção e assimilação de N em arroz. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. v. 2, n.1, p. 1-6. 1990.
- FERRAZ JR., A.S. de L. Estudo do teor de proteína e eficiência de uso de nitrogênio em culturas de arroz (*Oryza sativa* L.). Tese de Mestrado. Dpto de Solos. UFRRJ. 1993. 186p.
- FERRAZ JR., A.S. de L., SOUZA, S.R. de S., FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Eficiência de uso de nitrogênio para a produção de grão e proteína por cultivares de arroz tradicionais e melhoradas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 1996. (submetido).
- FINNEY, G.L.; MEYER, J.W.; SMITH, F.W.; FRYER, H.C. Effect of foliar spraying of pawnee wheat with urea solutions on yield-protein content and protein quality. *Agronomy Journal*, v. 49, p. 341-347, 1957.
- FORNASIERI Fº, D. & FORNASIERI, J.L. Manual da Cultura do Arroz. Ed. FUNEP. Jaboticabal, 1993. 221 p.
- FRANÇA, M.G.C. Análise de crescimento e do acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz contrastantes em hábito de crescimento. Itaguaí. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 150 p. 1995a. (Tese de Mestrado)
- FRANÇA, M.G.C.; ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; ZONTA, E.; & RAMOS, F.T. Diferenças ontogenéticas na acumulação e uso de nitrogênio em duas cultivares contrastantes de arroz. Resumos expandidos do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. SBCS. Viçosa, V. 3. p. 1401-1403, 1995b.
- FURLANI, A.M.C. & FURLANI, J.L. Composição e pH de soluções nutritivas

- para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais diversas. Bol. Tec. Nº 121. Instituto Agronômico, Campinas, 1988.
- FURLANI, P.R. & HANNA, R.B. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo. n. 8, p. 205-208, 1984.
- FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C. & AZZINI, L.E. Comportamento diferencial de linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinal, n. 10, p. 51-59.1986.
- FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; AZZINI, L.E.; SCHIMIDT, N.C. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. Bragatina. Vol. 24. nº 8. Pag. 109-115. 1977.
- GRABAU, L.J. Physiological mechanisms of plant senescence. In: PESSARAKLI, M (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker Inc. New York. p. 483-496. 1995.
- GROOT, J.J.R. & SPIERTZ, J.H.J. O papel do nitrogênio no rendimento da produção e qualidade dos cereais. In: PORTER, J.R. & LAWLOR, D.W. (eds). Plant growth: interactions with nutrition and enviroment. p. 177-205. 1991.
- HANADA, J. & YAMASHAKI, K. Roots. p. 133-186. In: MATSUO, T & HOSHIKAWA, K. Science of the rice plant. Volume I. Morphology. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokio. 686 p. 1993.
- HANADA, J. Tillers. In: MATSUO, T & HOSHIKAWA, K. Science of the rice plant. Volume I. Morphology. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokio. p. 222-259. 1993.

- HARGROVE, W.L. (Ed.) Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Special Publication Number 51, Madison 218 p. 1988.
- HUBER, D.M. The role of mineral nutrition in defense. In: HOSSFALL, J.G & COWLING, E.B. Plant disease, advanced treatise. New York Academic Press. P. 381-406. 1980.
- IBGE / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística - Diretoria de Pesquisa - Departamento de Agropecuária. Estimativas da Produção Agrícola. In: Home Page IBGE. <http://www.ibge.gov.br>. 1996.
- INADA, K. Physiological characteristics of rice roots, especially with the viewpoint of plant growth stage and root age. Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. Japan, 16:19-156. 1967.
- ISHIHARA, K.; EBARA, H.; HIRAWARA, T. & OGURA, T. The relationship between environmental factors and behaviour of stomata in the rice plants. VII. The relations between nitrogen content in leaf blades and stomatal aperture. Japan. J. of Crop Science. n. 47, p. 664-73. 1978.
- JENNER, C.F.; UGALDE, T.D. & ASPINALL, D. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. Aust. J. Plant Physiology. nº 18, p. 211-216. 1991.
- KAMACHI, K.; YAMAYA, T.; MAE, T. & OJIMA, K. A role for glutamine synthetase in the remobilization of leaf nitrogen during natural senescence in rice leaves. Plant Physiol. n. 96, p. 411-417. 1991
- LOPES, S.I.G. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para a cultivar IRGA 416. p. 151. In: Anais da XX Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. EMBRAPA-CPCT. 1993.
- LOPES, S.I.G. Efeito do tipo de grânulo de uréia e épocas de aplicação para a

- cultivar IRGA 416. p. 153. In: Anais da XX Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. EMBRAPA-CPCT. 1993.
- LOPES, S.L.G.; VOLKWEISS, S.J. & TEDESCO, M.J. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas. n. 18, p. 273-278. 1994.
- MACHADO, E.C. & SILVEIRA, J.A.G. da S. Absorção de N e crescimento vegetal. In: FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P.; DÖBEREINER, J; NEVES, M.C.P.; PIMENTEL, C. & MIRANDA, R.M. (Ed.). I Simpósio Brasileiro sobre Nitrogênio em Plantas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro / Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, Itaguaí. p. 345-365. 1993.
- MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G. da & 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, n. 1, pag. 63-70. 1990.
- MACKOWN, C.T. & VAN SANFOD, D.A. Nitrogen allocation with altered sink demand in wheat. Crop Sci. v. 28, p. 133-136.1988.
- MACHADO, M.O. Caracterização e adubação do solo. In: Fundamentos para a cultura do arroz irrigado. Fundação Cargil, Campinas. p. 129-179. 1985.
- MADORE, M.A. Carbohydrate synthesis and crop metabolism. In: PESSARAKLI, M (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker Inc. New York. p. 257-273. 1995.
- MAE, T. & OHIRA, K. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants (*Oryza sativa* L.). Plant Cell Physiol. n. 22. p. 1067-1074. 1981.

- MAE, T. & OHIDA, K. The relationship between proteolytic activity and loss of soluble protein in rice leaves from anthesis through senescence. *Soil Sci. Plant Nutr.* v. 30, n. 3, p. 427-434. 1984.
- MAE, T.; MAKINO, A. & OHIDA, K. Changes in the amount of Ribulose biphosphate carboxilase synthesized and degraded during the life span of rice leaf (*Oryza sativa* L.) *Plant and Cell Physiology.* n. 24, p. 1079-1086. 1983.
- MAGALHÃES, P.C., DURÕES, F.O.M. & PAIVA, E. Fisiologia da planta de milho. EMBRAPA-CNPMS. 27 pag. 1995. (Circular Técnica nº 20)
- MAKINO, A.; MAE, T.; OHIRA, K. Changes in photosynthetic capacity in rice leaves from emergence through senescence. Analysis from ribulose-1,5-bisphosphate carboxilase and leaf conductance. *Plant Cell Physiology.* n. 25, p. 511-521. 1984.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do arroz irrigado. ULTRAFÉRTIL. 64 pag. 1978. Boletim técnico.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação de arroz de sequeiro, 3ª eds. São Paulo. Ultrafertil, 1981. 40 p.
- MANZATTO, C.V. Acumulação de matéria seca e nutrientes em quatro híbridos de milho (*Zea mays*L.). Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 157 p. 1987. (Tese de Mestrado).
- MARTINS, A.A.E.; GHEYI, H.R. & FAGERIA, N.K. Efeitos da temperatura no crescimento, componentes de produção e rendimento de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* SBCS. nº 5, p. 42-46. 1981.
- MATSUO, T & HOSHIKAWA, K. Science of the rice plant. Volume I.

- Morphology. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokio. 686 p. 1993.
- MEMGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, 4^a ed. 655 p. 1987.
- MOKWUNYE, A.U. & HAMMOND, L.L., Myths and science of fertilizer use in the tropics. In: SANCHEZ and LOGAN (ed). Myths and science of soils of the tropics. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Madison. pag. 121-134. 1992
- MOLL, R.H., KAMPRATH, E.J. & JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors wich contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J., Madison, v.74, p.562-564, 1982.
- MURATA, Y. & MATSUSHIMA, S. Rice. In: Crop Phisiology: some case histories. EVANS L. T. (Ed.). Cambridge University Press. p. 73-99. 1975.
- MURATA, Y. Physiological responses to nitrogen in plantas. In: EASTIN, J.D. HASKINS, F.A. SULLIVAN, C.Y. VAN BAVEL, C.H.M (ed.). Physiological aspects of crop yield. p. 235-263, 1969.
- NAGAI, T. & HIROTA, K. Cultivated rice varieties from the viewpoint of root characteristics. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan. n. 27, p. 217-220. 1958.
- NELSON, D.W. & SOMMER, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal, Madison, 65: 109-112, 1973.
- NETER, J. & WASSERMAN, W. Aplied linear statistical models. Homewood. Richard D. Irwin, 842 p. 1974.
- NORMAM, R.J.; GUINDO, D.; WELLS, B.R. & WILSON Jr., C.E. Seasonal accumulation and partitioning of Nitrogen-15 in rice. Soil Sci. Soc. Am.

- n. 56, p. 1521-1527. 1992.
- NORMAN, J.M. & ARKEBAUER, T.J. Predicting canopy light-use efficiency from leaf characteristics. p. 125-144. In: HANKS, J & RITCHIE, J.T. Modeling plant and soil systems. 545 p. 1991.
- NYE, P.H. Soil properties controlling the supply of nutrients the root surface. In: Soil root interface. London, Academic Press. p. 39-49. 1979.
- OKAJIMA, H. Estudios on the physiological function of the root system em the rice plant viewed from the nitrogen nutrition. Tohoku Univ. Inst. Agric. Res. Bull. n. 12, p. 1-146. 1960.
- OLIVEIRA, A.B. & TEIXEIRA, M.G. Arroz (*Oriza sativa* L.) in: DE-POLLI, H. (Coordenador). Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Rio de Janeiro, Ed. Universidade Rural. Itaguaí, 1988. 179 p.
- OLMOS, J.J.L. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, v. 28, p. 171-180. 1976
- PEÑARRUBIA L. & MORENO, J. Senescence in plants and crops. In: PESSARAKLI, M (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker Inc. New York. p. 461-482. 1995.
- PEREIRA, J.P.C. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio em solos do Estado do Rio de Janeiro. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 88 pag. 1993. (Tese de Mestrado)
- PEREZ, C.M.; CAGAMPANG, G.B. ESMAMA, B.V. MONSERRATE, R.U. & JULIANO, B.O. Protein metabolism in leaves and developing grains of rices differing in grain protein content. *Plant Physiology*. n. 51, p. 537-542. 1973.

- PESSARAKLI, M. Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker Inc. New York. 1004 pag. 1995.
- PINHEIRO, B. da S. & GUIMARÃES, E.P. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro: I. Níveis limitantes. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 1990. Vol. 25, nº 6, p. 863-872.
- PINHEIRO, B. da S.; STEINMETZ, S.; STONE L.F. & GUIMARÃES, E.P. Tipo de planta, regime hídrico e produtividade de arroz de sequeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília. 1985. Vol. 20, nº 1, p. 87-95.
- PORTER, J.R. & LAWLOR, D.W. (eds). Plant growth: interactions with nutrition and environment. 284 p. 1991.
- PRABHU, A.S. Sistema de produção de arroz-de-sequeiro visando ao controle de brusone. CNPAF/EMBRAPA. Goiânia. 15 pag. 1980. Circular Técnica nº 1.
- PURSEGLOVE, J.W. Tropical crops: monocotyledons. Longman, London. 1985.
- RAIJ, B. (Coord). Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. IAC/SAESP. Campinas, 107 pag. Boletim Técnico nº 100.
- RAMALHO, M.; SANTOS, J.B. dos & BRASIL FILHO, C. Genética na agropecuária. Globo / FAEPE. Lavras. 359 p. 1989.
- REED, C.M.; BELLOW, F.E.; HAGEMAN R.H. Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize (*Zea mays* L.) I. Variation between genotypes. Plant Physiology, n. 66 p. 164-170. 1980.
- REZENDE, M. Veranículo e sua inter-relação com o sistema solo/água/planta/atmosfera nos cerrados. In: O Cerrado e o

- Desenvolvimento Sustentado. XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 1995. (Palestra).
- RITCHIE, J.T. & NESMITH, D.S. Temperature and crop development. p. 5-30. In: HANKS, J & RITCHIE, J.T. Modeling plant and soil systems. 545 p. 1991.
- ROSSIELLO, R.O.P. Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Sacharum* spp, cv. NA 56-79) em resposta à adubação nitrogenada em Cambissolo. Piracicaba, ESALQ/USP. 172 p. 1987. (Tese de Doutorado).
- ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO C.V. & FERNANDES, M.S. Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. Pes. Agropec. Bras. v. 30, n.5. pag. 633-638. 1993.
- RUSSELL, G.; JARVIS, P.G. & MONTEITH. Absorption of radiation by canopies and stand growth. p. 21-40. In: RUSSELL, G, MARSHALL, B. & JARVIS, P.G. Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge University Press. 178 p. 1989.
- SANTOS, A.B. dos; CUTRIM, V. Dos A. & CASTRO, E.M. de. Comportamento de linhagens de arroz irrigado no aproveitamento da soca. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 21, n. 6, p. 673-675, 1986.
- SANTOS, A.B. dos; PRABHU, A.S.; AQUINO, A.R.L. de & CARVALHO, J.R.P. de. Épocas, modos de aplicação e níveis de nitrogênio sobre Brusone e produção de arroz de sequeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 21, n. 7, p. 697-707. 1986.
- SASAHARA, T.; SATOH, S.; ODAKA, K. & ABE, T. Senescence

- parameters of organs constituting the panicle, first internode, and flag leaf in rice. *Crop Sci.* v. 33, p. 503-509. 1993.
- SCHIMITH, M.R. & EDWARDS, G.E. Photosynthetic capacity and nitrogen use efficiency of maize, wheat, and rice: A comparison between C₃ and C₄ photosynthesis. *J. Exp. Bot.* n. 32, p. 459-466.
- SCHNIER, H.F.; DINGKUHN, M.; De DATTA, S.K.; MENGEL, K. & FARONILLO, J.E. Nitrogen Fertilization of direct-seeded flooded vs. Transplanted rice: I. Nitrogen uptake. Photosynthesis, growth and yield. *Crop Science.* n. 30, p. 1276-1284. 1990.
- SERRANO, L.; PARDOS, J.A.; PUGNAISE, F.I. & DOMINGO, F. Absorption of radiation, photosynthesis and biomass production in plants. p. 243-256. In: PESSARAKLI, M. *Handbook of plant and crop physiology.* Marcel Dekker Inc. New York. 1004 p. 1995.
- SILVEIRA, J.A.G. da & MACHADO, E.C. Mobilização de nitrogênio e de carboidratos durante o desenvolvimento de panículas de duas cultivares de arroz. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal.* v. 2, n. 2, p. 37-46. 1990.
- SILVEIRA, J.A.G. da. Carbono e Nitrogênio: partição e produtividade. p. 305-354. In: *Seminário de Biotecnologia Agrícola, Piracicaba, Anais.* CROCOMO, O. J. & SILVEIRA, J.A.G. da (Editores). FEALQ, Piracicaba. 1987.
- SINCLAIR, T.R. & HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science.* v.29:90-98. 1989.
- SOARES, S.F.; FORNASIERI FILHO, D. & SALGADO, J.S. Épocas de semeadura de cultivares de arroz irrigado por inundação. *Pesquisa*

- Agropecuária Brasileira, Brasília. v. 30, n. 8, p. 1061-1065. 1995.
- SOUZA, S.R. Efeitos da aplicação foliar de nitrogênio pós-antese sobre as enzimas de assimilação de N e acúmulo de proteína em grãos de arroz. Itaguaí: UFRRJ. 152 p. 1995. (Tese de doutorado).
- SOUZA, S.R. Teor e qualidade das proteínas do arroz com aplicação foliar e no solo de URAN. Itaguaí: UFRRJ. 98 p. 1991. (Tese de Mestrado).
- SOUZA, S.R.; STARK, E.M.L.M. & FERNANDES, M.S. Teores e qualidade das proteínas do arroz em função de aplicação suplementar de N. Pes. Agropec. Bras. v. 28, n.5. pag. 575-583. 1993.
- STEWART, G.R. The comparative ecophysiology of plant nitrogen metabolism. In: PORTER, J.R. & LAWLOR, D.W. (eds). Plant growth: interactions with nutrition and environment. p. 81-98. 1991.
- STONS, L.F.; OLIVEIRA, A.B. & STENINMERTZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 14, n. 3, p. 294-301. 1979.
- SWANK, J.C.; BELOW, F.E.; LAMBERT, R.J.; HAGEMAN, R.H. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. Plant Physiology. n. 23, p. 437-64. 1972.
- TAKEDA, T & MURATA, H. Studies on CO₂ exchange in crop plants: IV. Roles played by the various parts of the photosynthetic organs of rice plant in producing grains during the ripening period. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan. v. 24, p. 1820-184.
- THOM, W.O.; MILLER, T.C. & BOWMAN, D.H. Foliar fertilization of rice after midseason. Agronomy journal, v. 37, p. 411-412, 1981.
- USBERTI Fº, J. A. (Coord). IAC 4440: novo cultivar de arroz irrigado para o

- Estado de São Paulo. IAC, 1986. Boletim Técnico nº 107. 10 p.
- VAN KEULEN, H.; GOUDRIAAN, J. & SELIGMAN, N.G. Modelling the effects of nitrogen on canopy development and crop growth. p. 83-104. In: RUSSELL, G, MARSHALL, B. & JARVIS, P.G. Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge University Press. 178 p. 1989.
- VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, Piracicaba. 142 p. 1983.
- VAN SANFOD, D.A. & MACKOWN, C.T. Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat. *Crop Sci.* v. 27, p. 295-300. 1987.
- VITTI, G.V.; MALAVOLTA, E. & COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: Anais do Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. EMBRAPA-DEP. 624 p. 1984.
- VOSS, M.A. & ZINI, E. Formas e épocas de aplicação de uréia em arroz irrigado 1992/93. p. 163. In: Anais da XX Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. EMBRAPA-CPCT. 1993.
- WADA, G.; SHOJI, S.; MAE, T. Relationship between nitrogen absorption and growth and yield of rice plant. *Japan Agriculture Research Quarterly*, Tokio. n. 20, p. 135-144. 1986.
- WAISEL, Y., ESCHEL, A. & KAFKAFI, U (Ed). *Plant roots. The hidden half.* Marcel Dekker, Inc. New York. 948 p. 1991.
- WELLS, B.R.; HUEY, B.A.; NORMAN, R.J. & HELMS, R.S. Rice. p. 15-19. In: BENNETT, W.F. *Nutrient Deficiencies e toxicities in crop plants.* APS Press. St. Paul, Minnesota. 202 p. 1993.

- YONEYAMA, T. Absorption and assimilation of nitrogen by rice plant. JARQ. v.20, p. 121-126. 1986.
- YONEYANA, T. Absorption and assimilation of nitrogen by rice plants. A review on ^{15}N study in Japan. IARQ. v. 20, n. 2, p. 121-126. 1986.
- YOSHIDA S. & CORONEL, V. Nitrogen nutrition, leaf resistance, and leaf photosynthetic rate of the rice plant. Japan Sco. Soil Sci. Plant Nutr. n. 22, p. 207-211. 1976.
- YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. Annual Review of plant physiology. Palo Alto, vol. 23. pag. 437-467. 1972.
- ZIMMERMANN, F.J.P. Efeito da heterogeneidade da variância e distribuição de probabilidade dos dados sobre o poder e tamanho do teste F. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, vol. 22. Pag. 1209-1213. 1987.
- ZONTA, E., CAMARGO, F. A. de O., ROSSIELLO, R. O. P., & SANTOS, G. A.. Efeito da incorporação de palha sobre a cultura do arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado. Anais da XXI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Petrolina, PE. Agosto, p. 129-131. 1994.
- ZONTA, E.; ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; FRANÇA, M.G.C. & PESSOA, F.P. Acumulação e distribuição de fitomassa em duas cultivares de arroz sob diferentes níveis de nitrogênio no solo. Resumos expandidos do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. SBCS. Viçosa,. V. 3. p. 1404-1406. 1995.

7. GLOSSÁRIO

Utilizou-se neste texto, as unidades propostas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Cantarella & Andrade, 1992), com pequenas alterações quando necessárias. As grandezas mensuradas (área-A; massa-W, conteúdo-U...) são sempre representadas por símbolos contendo letras iniciais maiúsculas acompanhadas do subscrito da respectiva fração (foliar-F, folha verde-FV, total-T ...).

Simbologia	Parâmetro	Unidade
A_F	Área Foliar	$m^2 \text{ planta}^{-1}$
A_{FE}	Área Foliar Específica	$m^2 A_F g^{-1} W_{FV}$
A_R	Área Radicular	$m^2 \text{ planta}^{-1}$
B	Coefficiente de Bartlett	---
U	Conteúdo de N	$mg \text{ N planta}^{-1}$

(continua)

U_{FV}	Conteúdo de N na folha	mg N planta ⁻¹
U_{FS}	Conteúdo de N na folha senescente	mg N planta ⁻¹
U_{PN}	Conteúdo de N na panícula	mg N planta ⁻¹
U_{PA}	Conteúdo de N na parte aérea	mg N planta ⁻¹
U_R	Conteúdo de N na raiz	mg N planta ⁻¹
U_C	Conteúdo de N no colmo + bainha	mg N planta ⁻¹
U_G	Conteúdo de N por grão	mg N grão ⁻¹
U_T	Conteúdo de N total	mg N planta ⁻¹
DAP	Dias Após Plantio	dias
DAF	Dias Após a Floração	dias
IC	Índice de Colheita	g W_{PN} g ⁻¹ W_{PA}
In	Influxo líquido de N	mmol N m ⁻² dia ⁻¹
W_{MSV}	Massa média das sementes viáveis	g semente ⁻¹
W_{MPN}	Massa média por panícula	g panícula ⁻¹
W_C	Massa seca de Colmo + bainha	g planta ⁻¹
W_{FV}	Massa seca de folha	g planta ⁻¹
W_{FS}	Massa seca de folha senescente	g planta ⁻¹
W_{PN}	Massa seca de panícula	g planta ⁻¹
W_{PA}	Massa seca de parte aérea	g planta ⁻¹
W_R	Massa seca de raiz	g planta ⁻¹
W_{SE}	Massa seca de sementes estéreis	g planta ⁻¹
W_{SV}	Massa seca de sementes viáveis	g planta ⁻¹
W_T	Massa seca total	g planta ⁻¹
N_{PN}^o	Número de panículas	panículas planta ⁻¹

(continua)

N°_P	Número de perfilhos	perfilhos Planta ⁻¹
N°_{SE}	Número de sementes estéreis	sementes planta ⁻¹
N°_{SV}	Número de sementes viáveis	sementes planta ⁻¹
N°_{SPN}	Número médio de sementes por panícula	sementes panícula ⁻¹
N°_{SEPN}	Número médio de sementes estéreis por panícula	sementes panícula ⁻¹
N°_{SVPN}	Número médio de sementes viáveis por panícula	sementes panícula ⁻¹
$\%_{SE}$	Percentagem de esterilidade	%
R_R	Raio radicular	mm
TAL	Taxa de assimilação líquida	g m ² dia ⁻¹
TCA	Taxa de Crescimento Absoluto	g dia ⁻¹
TCA_{WF}	Taxa de Crescimento Absoluto de W_F	g W_F dia ⁻¹
TEA_F	Taxa de Expansão de AF	m ² dia ⁻¹
I_N	Influxo de Nitrogênio	mmol N m ⁻² dia ⁻¹
T	Tempo	dia
T_{FV}	Teor de N na folha	mg N g ⁻¹
T_{FS}	Teor de N na folha senescente	mg N g ⁻¹
T_{PN}	Teor de N na panícula	mg N g ⁻¹
T_{PA}	Teor de N na parte aérea	mg N g ⁻¹
T_R	Teor de N na raiz	mg N g ⁻¹
T_C	Teor de N no colmo + bainha	mg N g ⁻¹
T_T	Teor de N total	mg N g ⁻¹

ANEXOS

Estão contidos nestes anexos o resultado da Análise de Variância para os parâmetros estudados.

ANEXO 1. Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados, significância e coeficiente de variação para o período de 60 a 135 DAP.

Fonte de Variação	GL	W _{FV}	W _{FS} ⁽¹⁾	W _C ⁽¹⁾	W _R ⁽¹⁾	W _{PA} ⁽¹⁾	W _T ⁽¹⁾	Ra:Pa ⁽¹⁾
Total	149							
Dose N	4	10,55 **	0,06 *	0,12 **	0,02 ns	0,16 **	0,09 **	0,26 **
Cultivar	1	0,84 ns	1,77 **	0,05 ns	0,66 **	0,20 **	0,04 *	1,57 **
DAP	4	226,48 **	32,55 **	5,64 **	0,14 **	5,98 **	3,27 **	7,24 **
Dose X Cultivar	4	0,88 ns	0,03 ns	0,04 ns	0,01 ns	0,02 ns	0,01 ns	0,06 ns
Dose X DAP	16	2,35 **	0,08 **	0,02 ns	0,03 ns	0,01 ns	0,01 ns	0,04 ns
Cultivar X DAP	4	11,26 **	0,54 **	0,17 **	0,00 ns	0,03 *	0,02 *	0,03 ns
Dose X Cultivar X DAP	16	0,67 ns	0,02 ns	0,02 ns	0,05 ns	0,01 ns	0,01 ns	0,06 ns
Resíduo	100	0,85	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04
CV (%)		15,4	4,3	2,6	3,5	1,7	1,3	20,6

Continua

Fonte de Variação	GL	A _F ⁽¹⁾	A _R ⁽¹⁾	AFE	N _P ⁽¹⁾	Ht ⁽¹⁾	Hcol ⁽¹⁾
Total	149						
Dose N	4	0,08 ns	0,07 *	2477 *	0,07 **	0,004 ns	0,01 ns
Cultivar	1	0,48 *	0,11 *	23718 **	20,35 **	5,882 **	10,50 **
DAP	4	15,49 **	0,89 **	17133 **	1,10 **	0,462 **	7,28 **
Dose X Cultivar	4	0,04 ns	0,11 **	352 ns	0,00 ns	0,002 ns	0,01 ns
Dose X DAP	16	0,07 ns	0,05 **	528 ns	0,03 ns	0,004 ns	0,02 **
Cultivar X DAP	4	0,60 **	0,14 **	9732 **	0,38 **	0,073 **	0,10 **
Dose X Cultivar X DAP	16	0,05 ns	0,05 **	201 ns	0,01 ns	0,002 ns	0,00 ns
Resíduo	100	0,04	0,02	765	0,02	0,003	0,01
CV (%)		7,0	1,7	13,0	2,8	0,8	1,1

Continua

Fonte de Variação	GL	T _{FV} ⁽¹⁾	T _{FS} ⁽¹⁾	T _C ⁽¹⁾	T _R ⁽¹⁾	U _F ⁽¹⁾	U _{FS} ⁽¹⁾	U _C ⁽¹⁾	U _R ⁽¹⁾	U _T
Total	149									
Dose N	4	0,03 **	0,08 *	0,09 **	0,22 **	0,30 **	0,25 **	0,38 **	0,14 **	34246 **
Cultivar	1	0,54 **	0,13 *	1,31 **	0,06 ns	0,00 ns	2,89 **	1,90 **	1,10 **	38243 **
DAP	4	5,59 **	2,70 **	2,81 **	0,08 **	33,97 **	21,69 **	1,77 **	0,08 *	72933 **
Dose X Cultivar	4	0,01 ns	0,03 ns	0,00 ns	0,05 *	0,06 ns	0,09 ns	0,06 ns	0,09 **	1844 ns
Dose X DAP	16	0,02 **	0,04 ns	0,04 **	0,03 ns	0,15 **	0,11 ns	0,10 **	0,08 **	3139 **
Cultivar X DAP	4	0,34 **	0,40 **	0,03 ns	0,25 ns	2,58 **	1,36 **	0,11 *	0,03 ns	4613 **
Dose X Cultivar X DAP	16	0,01 ns	0,03 ns	0,01 ns	0,03 *	0,04 ns	0,06 ns	0,04 ns	0,07 **	1459 ns
Resíduo	100	0,01	0,03	0,02	0,02	0,05	0,07	0,04	0,02	1040
CV (%)		3,1	11,4	9,3	8,4	5,4	9,4	4,2	3,6	9,2

⁽¹⁾ Dados Ln transformados

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

^{ns} Não Significativo

Anexo 2. Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados, significância e coeficiente de variação para os parâmetros de produção.

Fonte de Variação	GL	W _{PN}	W _{SV}	W _{SE}	W _{MPN}	W _{MSV}
Total	29					
Dose	4	5 ns	2 ns	0,08 ns	0,15 ns	0,06 ns
Cultivar	1	1392 **	1431 **	0,32 ns	0,00 ns	0,29 **
Cultivar X Dose	4	3 ns	4 ns	0,08 ns	0,13 ns	0,01 ns
Resíduo	20	5	6	0,08	0,12	0,03
CV (%)		10,8	11,7	45,4	14,4	20,3

Continua

Fonte de Variação	GL	N ^o _{PN}	N ^o _{SV}	N ^o _{SE}	% _{SE}	IC	N ^o _{SPN}	N ^o _{SVPN}	N ^o _{SEPN}
Total	29								
Dose	4	4 *	9E+4 *	2706 ns	35 ns	0,000 ns	423 ns	347 ns	15 ns
Cultivar	1	238 **	4E+6 **	9416 ns	4070 **	0,258 **	708 ns	4621 **	1712 **
Cultivar X Dose	4	1 ns	3E+4 ns	1828 ns	106 ns	0,001 ns	324 ns	254 ns	44 ns
Resíduo	20	1	3E+4	2742	176	0,001	615	461	85
CV (%)		13,0	21,8	42,0	43,5	10,6	23,9	24,6	55,3

Continua

Fonte de Variação	GL	T _{PN}	U _G	U _{PN}
Total	29			
Dose	4	1,5 ns	0,002 ns	1868 *
Cultivar	1	91,4 **	0,181 **	21711 **
Cultivar X Dose	4	0,4 ns	0,000 ns	80 ns
Resíduo	20	0,7	0,001	466
CV (%)		8,9	9,0	11,4

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

^{ns} Não Significativo

ANEXO 3. Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados, significância e coeficiente de variação para o período de 20 a 40 DAP.

Fonte de Variação	GL	$W_{FV}^{(1)}$	$W_{FS}^{(1)}$	$W_C^{(1)}$	$W_R^{(1)}$	$W_{PA}^{(1)}$	$W_T^{(1)}$	Ra:Pa ⁽¹⁾
Total	11							
Cultivar	1	0,00 ns	0,05 ns	0,03 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,02 ns	0,00 ns
DAP	1	8,22 **	5,29 **	11,71 **	29,16 **	9,74 **	12,62 **	5,19 **
Cultivar X DAP	1	0,03 ns	0,05 ns	0,16 **	1,05 **	0,07 *	0,17 **	0,57 **
Resíduo	8	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03
CV (%)		3,2	15,8	5,1	6,1	2,9	3,7	5,5

continua

Fonte de Variação	GL	A _F ⁽¹⁾	A _R ⁽¹⁾	AFE ⁽¹⁾	NP ⁽¹⁾	Ht ⁽¹⁾	Hcol ⁽¹⁾
Total	11						
Cultivar	1	0,06 *	0,00 ns	0,070 **	2,065 **	0,115 **	0,201 **
DAP	1	5,33 **	28,35 **	0,310 **	13,484 **	1,126 **	1,612 **
Cultivar X DAP	1	0,01 ns	0,62 **	0,005 ns	0,012 ns	0,005 ns	0,017 *
Resíduo	8	0,01	0,03	0,002	0,004	0,001	0,002
CV (%)		1,0	2,3	0,5	1,8	0,5	0,9

continua

Fonte de Variação	GL	T _{FV}	T _{FS}	T _C	T _R	UF ⁽¹⁾	U _{FS} ⁽¹⁾	U _C ⁽¹⁾	U _R ⁽¹⁾	U _T ⁽¹⁾
Total	11									
Cultivar	1	123 **	31 *	22 **	112 ns	0,04 *	0,00 ns	0,00 ns	0,26 *	0,01 ns
DAP	1	334 **	1527 **	73 **	237 ns	6,38 **	13,52 **	9,92 **	21,43 **	8,33 **
Cultivar X DAP	1	4 ns	31 *	8 *	1 ns	0,02 ns	0,00 ns	0,09 *	0,60 **	0,05 *
Resíduo	8	2	5	1	53	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01
CV (%)		2,8	20,7	2,9	36,9	1,8	12,9	3,2	10,1	1,8

⁽¹⁾ Dados Ln transformados

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

^{ns} Não Significativo

Anexo 4. Valores interativos de DAP × dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) na folha verde (T_{FV} e U_{FV} respectivamente).

(a) N (g m ⁻²)	DAP						Média
	60	80	100	115	135		
	T _{FV} (mg g ⁻¹) ⁽¹⁾						
0	16,61 A c	16,11 A a	15,22 A a	11,23 B a	6,84 C a	13,20 c	
2	17,44 A bc	16,63 AB a	14,83 B a	11,70 C a	6,71 D a	13,46 bc	
4	19,06 A ab	17,28 A a	14,97 B a	11,34 C a	6,31 D a	13,79 abc	
6	20,76 A a	17,64 B a	15,86 B a	12,06 C a	6,45 D a	14,55 a	
8	20,74 A a	17,97 B a	16,27 B a	10,91 C a	6,32 D a	14,44 ab	
Médias	18,92 A	17,13 B	15,43 C	11,45 D	6,52 E		

(b) N (g m ⁻²)	DAP						Média
	60	80	100	115	135		
	U _{FV} (mg planta ⁻¹) ⁽¹⁾						
0	104,38 A b	122,26 A b	92,79 A b	44,88 B a	13,64 C a	75,59 b	
2	116,41 AB b	148,93 A ab	105,75 B ab	51,32 C a	14,64 D a	87,41 ab	
4	139,67 AB ab	146,01 A ab	100,16 B ab	48,85 C a	15,61 D a	90,06 ab	
6	180,19 A a	174,41 A ab	111,35 B ab	62,68 C a	11,81 D a	108,09 a	
8	177,78 A a	180,28 A a	140,63 A a	48,06 B a	13,18 C a	111,99 a	
Média	143,69 A	154,38 A	110,13 B	51,16 C	13,78 D		

⁽¹⁾ Os valores originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P_{0,05}). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas contrastam entre doses de N.

Anexo 5. Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) na folha senescente (T_{FS} e U_{FS} respectivamente).

(a) N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
	T_{FS} (mg g ⁻¹) ⁽¹⁾					
0	6,19 A a	4,97 A a	3,04 B a	3,26 B a	5,01 A a	4,49 b
2	6,73 A a	4,87 B a	2,99 C a	3,64 C a	4,93 A a	4,63 ab
4	6,97 A a	5,39 A a	3,20 B a	3,94 B a	5,16 A a	4,93 ab
6	7,24 A a	4,38 BC a	3,10 D a	4,05 CD a	5,38 B a	4,83 ab
8	7,79 A a	5,39 B a	3,21 C a	4,47 B a	4,61 B a	5,09 a
Médias	6,98 A	5,00 B	3,11 D	3,87 C	5,02 B	

(b) N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
	U_{FS} (mg planta ⁻¹) ⁽¹⁾					
0	5,93 D a	10,77 C b	15,53 B a	20,95 B b	43,73 A a	19,38 b
2	5,17 D a	9,70 C b	17,03 B a	24,45 B ab	38,66 A a	19,00 b
4	5,35 D a	14,41 C ab	17,32 C a	26,53 B ab	43,37 A a	21,40 ab
6	4,82 E a	10,44 D ab	16,95 C a	32,10 B a	51,08 A a	23,08 ab
8	5,40 E a	15,66 B a	19,27 B a	35,31 A a	41,55 A a	23,44 a
Média	5,33 E	12,20 D	17,22 C	27,87 B	43,68 A	

⁽¹⁾ Os valores originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas contrastam entre doses de N.

Anexo 6. Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) no colmo + bainha (T_C e U_C respectivamente).

(a) N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
	T_C (mg g ⁻¹) ⁽¹⁾					
0	4,76 A c	4,38 A a	2,96 B a	2,37 C a	5,02 A a	3,90 b
2	5,12 A bc	4,58 AB a	3,18 C a	2,42 D a	4,18 B b	3,90 b
4	5,73 A abc	4,58 B a	3,25 C a	2,57 D a	4,29 B ab	4,08 ab
6	6,19 A ab	4,64 B a	3,52 C a	2,67 D a	4,05 BC b	4,22 ab
8	6,40 A a	5,14 B a	3,57 C a	2,81 D a	4,42 BC ab	4,47 a
Médias	5,64 A	4,66 B	3,30 C	2,57 D	4,39 B	

(b) N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
	U_C (mg planta ⁻¹) ⁽¹⁾					
0	53,20 C b	95,58 B a	119,71 AB b	68,12 C b	135,74 B a	94,47 c
2	72,58 C ab	106,90 AB a	127,43 A ab	77,56 BC ab	105,66 AB a	98,03 c
4	80,32 B a	100,69 B a	143,91 A ab	90,12 B ab	106,20 AB a	104,25 bc
6	92,12 B a	119,39 B a	167,59 A a	100,13 B a	101,01 B a	116,05 ab
8	96,72 B a	123,47 B a	170,63 A a	93,74 B ab	115,82 B a	120,08 a
Média	78,99 C	109,20 B	145,86 A	85,93 C	112,89 B	

⁽¹⁾ Os valores originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas contrastam entre doses de N.

Anexo 7. Valores interativos de DAP \times dose de N, para teores (a) e conteúdo de N (b) na raiz (T_R e U_R respectivamente).

(a) N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
----- T_R (mg g ⁻¹) ⁽¹⁾ -----						

0	4,37 B b	4,55 AB a	4,64 AB b	5,60 A a	4,69 AB b	4,77 c
2	5,29 AB ab	4,74 B a	5,06 A b	5,62 AB a	6,13 A a	5,37 b
4	5,60 A a	4,84 A a	5,40 A ab	4,97 A a	6,02 A a	5,36 b
6	5,23 A ab	5,40 A a	5,49 A ab	6,15 A a	5,84 A a	5,62 ab
8	5,54 A a	5,71 A a	6,42 A a	5,73 A a	6,16 A a	5,91 a
Médias	5,20 AB	5,05 B	5,40 AB	5,61 A	5,77 A	

(b) N (g m ⁻²)	DAP					Média
	60	80	100	115	135	
----- U_R (mg planta ⁻¹) ⁽¹⁾ -----						

0	51,80 B b	54,31 B c	52,52 B ab	72,29 A a	51,85 B b	56,55 c
2	57,37 AB ab	55,33 AB bc	50,72 A b	69,14 A a	61,83 AB a	58,88 bc
4	67,06 A a	55,11 A bc	57,59 A ab	58,90 A a	67,18 A a	61,17 ab
6	59,78 A ab	69,52 A ab	56,41 A ab	66,77 A a	62,47 A a	62,99 ab
8	64,66 AB a	78,14 A a	65,43 AB a	55,24 B a	65,20 AB a	65,74 a
Média	60,13 AB	62,48 AB	56,53 B	64,47 A	61,71 AB	

⁽¹⁾ Os valores originais foram ln transformados antes da análise estatística.

(Aa) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas contrastam entre doses de N.

Anexo 8. Valores interativos de DAP × dose de N, para conteúdo de N total (U_T).

(b) N (g m ⁻²)	----- DAP -----										
	60		80		100		115		135		Média
	----- U_T (mg planta ⁻¹) -----										
0	215,32 C	d	282,92 B	b	324,55 B	c	382,07 A	a	417,35 A	a	324,44 b
2	251,53 C	cd	320,86 B	b	331,60 B	bc	401,69 A	a	397,24 A	a	340,58 b
4	292,40 C	bc	316,22 BC	b	359,65 B	bc	414,84 A	a	413,51 A	a	359,32 b
6	336,92 C	ab	373,76 BC	a	382,96 BC	b	418,95 AB	a	439,43 A	a	390,40 a
8	344,57 B	a	397,56 A	a	439,63 A	a	407,30 A	a	437,83 A	a	405,37 a
Média	288,15 D		338,26 C		367,68 B		404,97 A		421,07 A		

(Aa) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P_{0,05}$). Letras maiúsculas contrastam entre DAP e letras minúsculas contrastam entre doses de N

Anexo 9. Matriz de correlação (r) entre massa seca total e seus componentes e o conteúdo total de N e seus componentes, para as duas cultivares ⁽¹⁾.

VARIAVEL	U _T	U _{FV}	U _{FS}	U _C	U _{PN}	U _{PA}	U _R	W _T	W _{FV}	W _{FS}	W _C	W _{PN}	W _{PA}	W _R
U _T	1	0.12	0.75	0.86		1.00	0.93	0.92	0.44	0.78	0.82		0.90	0.86
U _{FV}	0.05	1	-0.56	0.43		0.07	0.33	-0.11	0.80	-0.52	0.13		-0.17	0.27
U _{FS}	0.81	-0.49	1	0.43		0.78	0.56	0.83	-0.16	0.98	0.57		0.85	0.54
U _C	0.87	0.12	0.70	1		0.85	0.82	0.80	0.70	0.51	0.85		0.78	0.79
U _{PN}												0.96		
U _{PA}	1.00	0.00	0.84	0.88		1	0.91	0.93	0.40	0.81	0.82		0.91	0.83
U _R	0.96	0.23	0.67	0.79		0.93	1	0.80	0.64	0.56	0.71		0.75	0.96
W _T	0.90	-0.16	0.82	0.86		0.89	0.86	1	0.38	0.88	0.92		1.00	0.83
W _{FV}	0.52	0.78	0.03	0.50		0.46	0.71	0.43	1	-0.10	0.58		0.31	0.70
W _{FS}	0.81	-0.51	0.94	0.72		0.83	0.68	0.92	0.06	1	0.68		0.91	0.55
W _C	0.80	-0.14	0.71	0.86		0.80	0.76	0.97	0.41	0.86	1		0.92	0.77
W _{PN}					0.98									
W _{PA}	0.87	-0.24	0.84	0.85		0.87	0.80	0.99	0.34	0.94	0.98		1	0.77
W _R	0.88	0.24	0.62	0.73		0.84	0.97	0.85	0.77	0.64	0.76		0.79	1

⁽¹⁾ IAC 4440 e Comum Branco

⁽²⁾ A significância da correlação obedece os seguintes valores:

Se: $r > 0,67 \Rightarrow P_{0,05}$

$r > 0,82 \Rightarrow P_{0,01}$

$r > 0,93 \Rightarrow P_{0,001}$