

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**EFEITOS DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO E ÁGUA NA  
FOTOSÍNTESE, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO MILHO, EM  
DIFERENTES SISTEMAS DE CULTURA**

Solange França  
Engenheira Agrônoma, Mestre (UFRGS)

Tese apresentada como um dos  
requisitos à obtenção do Grau de  
Doutor em Fitotecnia,  
Área de Concentração Agrometeorologia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Fevereiro de 2003



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus queridos avós, em especial meu querido vózinho Gabriel Ribas França (*in memórian*) e minha querida vózinha Dorzir Buenavides França, por sempre desejarem o meu bem e pedirem para Deus me iluminar e Nossa Senhora Aparecida me proteger.

Aos meus familiares (pais, irmãos, sobrinhas e tias), pelo amor dedicado; pelo apoio, compreensão e estímulo em todos os momentos; por estarem sempre próximos; por compartilharem de alegrias e problemas; pelos conselhos recebidos. Ao meu pai Gelso Buenavides França pelos primeiros ensinamentos agrônômicos. À minha mãe Rosita Araujo Souto pelo seu companheirismo. À minha irmã Rose e ao meu cunhado Braga, pela presença constante e carinho compartilhado. Às minhas afilhadas, Gabriela e Natália pelos muitos beijos e abraços, por ser minhas companheiras, por me proporcionarem muitas alegrias e por compreenderem minha ausência.

Ao Prof. Homero Bergamaschi, pela oportunidade de realização do curso, pela orientação e pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Luís Mauro G. Rosa, pela orientação, pelo tempo dedicado, pelo auxílio durante todo o curso e pela amizade.

Ao João Ito Bergonci, pela orientação e apoio na execução do trabalho.

Ao João Mielniczuk, por proporcionar horas de valioso de convívio... por com muita sabedoria, simplicidade, humanidade e dedicação possibilitar o entendimento do sistema agrícola de uma forma mais harmônica. Por incentivar entre seus orientados, os vínculos de amizade, companheirismo e trabalho em equipe. Por estar aberto a interdisciplinaridade no seu sentido real, realizada com pessoas e conteúdos.

À Denise C. Fontana, por ser um exemplo muito positivo. Uma grande mulher... amiga, sensível e humana. Uma excelente profissional... competente, eficiente e dedicada. Uma pesquisadora iluminada.

Aos colegas do Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia e do Dep. de Solos, em especial, à Flávia Fernandes, Francisco Mandelli, Janice Leivas, Jéferson Diekof, Manoel Toledo, Pedro Pereira, Ricardo Mello, grandes amigos em todos os momentos; companheiros de trabalho e de diversão. Também aos colegas Carmona, Cleusa, Fabíola, Fabiane, Genei, Gilberto, Júlio, Schimitt, Thomé, pelo convívio agradável durante o curso.

As amigas Adriana, Jucimara, Margarete e Marlove, pela parceria, pelas longas conversas e pela disposição em ajudar em todos os momentos.

Aos funcionários da UFRGS, em especial à Marisa (Secretária do Programa de Pós-Graduação), ao Rogério (Secretário do DPFA), ao Adão (Laboratorista do Solos), ao Celso, Carlos e Alcino (Funcionários da EEA/UFRGS) e ao Marcos (Segurança da Agronomia), agradeço por serem pessoas agradáveis e competentes em suas funções.

Enfim, agradeço à Deus, grande responsável pela minha existência, e guia de meus caminhos. A Nossa Senhora Aparecida, por sempre me iluminar e me proteger.

# EFEITOS DA DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO E ÁGUA NA FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO MILHO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTURA<sup>1</sup>

Autor: Solange França

Orientador: Prof. Homero Bergamaschi

Co-orientadores: Prof. Luís M. G. Rosa e Prof. João Ito Bergonci

## SINOPSE

Considerando que o milho não responde somente ao nitrogênio (N) mineral aplicado, mas também ao N total no solo, ao sistema de cultura que antecede a semeadura, à relação C/N das espécies precedentes e ao tipo de preparo do solo, faz-se necessário quantificar as respostas da cultura, em aspectos relacionados à fotossíntese, ao crescimento e à produção, baseando-se na quantidade de N disponível. Neste enfoque, foram conduzidos experimentos de campo para quantificar o N disponível ao milho em função de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e doses de N mineral. Avaliou-se o efeito de diferentes níveis de N disponível sobre o rendimento de grãos, a produção de matéria seca aérea (MS), o índice de área foliar (IAF), o teor de N na planta, o teor de N foliar, o teor de clorofila e a taxa fotossintética do milho. Avaliou-se, também, a interação entre diferentes níveis de N e água sobre o teor de clorofila, a condutância estomática, o potencial de água na folha e a taxa fotossintética do milho. As avaliações foram feitas em sistemas de plantio direto e de preparo convencional, associados aos sistemas de cultura A/M – aveia/milho, V/M – vica/milho e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi, com doses entre 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e em tratamentos com e sem irrigação. Os tratamentos com A/M apresentaram menor quantidade de N disponível (entre 27 e 123 kg ha<sup>-1</sup>) e aqueles com leguminosas (V/M e A+V/M+C) tiveram quantidades superiores (entre 50 e 147 kg ha<sup>-1</sup>). A disponibilidade de N influenciou o IAF, o teor de N na planta, a MS e o rendimento de grãos, com valores inferiores nos tratamentos com menor quantidade de N disponível. As menores taxas de fotossíntese ocorreram nos tratamentos com menores teores de clorofila total, comprovando a dependência da fotossíntese ao teor de clorofila, e de ambos ao teor de N disponível. Condições de restrição hídrica demonstraram maior influência sobre a taxa de fotossíntese e a condutância foliar, do que a disponibilidade de N.

---

<sup>1</sup>Tese de doutorado em Fitotecnia, área de concentração Agrometeorologia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (170 p.), fevereiro, 2003.

# **NITROGEN AND WATER AVAILABILITY EFFECTS ON PHOTOSYNTHESIS, GROWTH, AND YIELD OF MAIZE UNDER DIFFERENT CROPPING SYSTEMS<sup>1</sup>**

Author: Solange França

Advisor: Prof. Homero Bergamaschi

Co-advisors: Prof. Luís M. G. Rosa and Prof. João Ito Bergonci

## **ABSTRACT**

Maize growth and productivity responds not only to the applied mineral nitrogen (N), but also to the total soil N, winter soil cover, crops N and their C/N ratio and the soil tillage method. This makes necessary the quantification of the crop responses (e.g. photosynthesis, growth, and yield) as a function of the amount of nitrogen available to the crop. Field experiments were performed in order to: (a) quantify the amount of available N as a function of the cropping system used (tilled and no tilled), winter cropping, and rates of mineral N applied; (b) evaluate the effects of different levels of available N on grain yield, dry matter yield, leaf area index, leaf and total plant N, leaf chlorophyll content, and photosynthesis; (c) evaluate the effects of different levels of N and water availability on maize photosynthesis. The experiments were carried out on field plot cultivated with maize in a tilled and no tilled cropping system, with different winter cover crops (oat/maize – O/M, vicia/maize – V/M), or in a combination of oat + vicia/maize + cowpea – O+V/M+C), and rates of N varying from 0 to 180 kg ha<sup>-1</sup>, with and without irrigation. The O/M treatment resulted in the lowest amount of available N to the crop (varying from 27 to 123 kg ha<sup>-1</sup>) and the presence of legume plants (V/M and O+V/M+C) resulted in its largest amounts (varying from 50 to 147 kg ha<sup>-1</sup>). Nitrogen availability had a direct effect on plant total N, leaf area index, dry matter and grain yield. Low rates of photosynthesis were correlated to low leaf chlorophyll concentration, and both were directly correlated to nitrogen availability. Water availability showed a stronger response on photosynthesis and leaf conductance than nitrogen availability.

---

<sup>1</sup>Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (170p). February, 2001.

## SUMÁRIO

	Página
1. CAPÍTULO I – Introdução geral .....	01
1.1. DISPONIBILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO.....	02
1.2. IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO.....	07
1.3. RENDIMENTO DE GRÃOS, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA AÉREA E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM FUNÇÃO DO NITROGÊNIO.....	09
1.4. PROCESSO DE FOTOSSÍNTESE.....	11
1.4.1. A fotossíntese e o nitrogênio.....	13
1.4.2. A fotossíntese e a água.....	15
1.5. HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	16
2. CAPÍTULO II – Estimativa da disponibilidade de nitrogênio à cultura do milho, em diferentes sistemas de preparo de solo, de cultura e de doses de nitrogênio mineral.....	18
2.1. RESUMO.....	18
2.2. INTRODUÇÃO.....	19
2.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
2.5. CONCLUSÕES.....	35
3. CAPÍTULO III – Efeitos de níveis de nitrogênio disponível sobre o crescimento, rendimento e teor de nitrogênio na cultura do milho.....	37
3.1. RESUMO.....	37
3.2. INTRODUÇÃO.....	38
3.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.4.1. Rendimento de grãos.....	43
3.4.2. Teor de nitrogênio na folha índice.....	48
3.4.3. Nitrogênio absorvido pelo milho.....	53
3.4.4. Teor de nitrogênio na planta.....	55
3.4.5. Matéria seca aérea.....	61
3.4.6. Índice de área foliar.....	67
3.5. CONCLUSÕES.....	73

4. CAPÍTULO IV – Teor de nitrogênio, teor de clorofila e taxa de fotossíntese em função do nitrogênio disponível ao milho.....	74
4.1. RESUMO.....	74
4.2. INTRODUÇÃO.....	75
4.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	77
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
4.4.1 Teor de nitrogênio foliar.....	81
4.4.2. Teor de clorofila total.....	86
4.4.3. Taxa fotossintética líquida.....	95
4.5. CONCLUSÕES.....	101
5. CAPÍTULO V – Respostas fotossintéticas do milho relacionadas a diferentes disponibilidades de nitrogênio e água.....	103
5.1. RESUMO.....	103
5.2. INTRODUÇÃO.....	104
5.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	106
5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	110
5.4.1. Disponibilidade hídrica durante o período experimental.....	110
5.4.2. Taxa fotossintética líquida e condutância foliar.....	112
5.4.3. Taxa fotossintética líquida e teor de clorofila total na folha..	117
5.4.4. Relação entre a taxa fotossintética líquida e a condutância foliar com o potencial da água na folha.....	122
5.5. CONCLUSÕES.....	127
6. CAPÍTULO VI – Conclusões gerais.....	129
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
8. APÊNDICES.....	141



## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Nitrogênio disponível ao milho em função de diferentes sistemas de cultura, doses de N mineral e sistemas de preparo de solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	28
2. Nitrogênio disponível e absorvido pelo milho em função de diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	32
3. Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de milho sob três sistemas de cultura e quatro doses de N mineral. Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	46
4. Teor de N na folha índice (%) sob três sistemas de cultura e quatro doses de N mineral. Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	50
5. Teor de N na planta (%) de milho sob três sistemas de cultura, quatro doses de N mineral e em cinco épocas (DAE). Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/0.....	59
6. Matéria seca aérea (MS) de milho sob três sistemas de cultura, quatro doses de N mineral e em cinco épocas (DAE). Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	65
7. Índice de área foliar (IAF) de milho sob três sistemas de cultura e quatro doses de N mineral. Média de cinco épocas, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	70
8. Índice de área foliar (IAF) de milho sob quatro doses de N mineral em cinco épocas. Média de três sistemas de cultura, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	71
9. Teor de N foliar (%) em milho sob três sistemas de cultura, quatro doses de N mineral e quatro épocas (DAE). Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	85

10. Teor de clorofila total na folha de milho em diferentes sistemas de cultura e sob sistemas de plantio direto e convencional. Média de duas doses de N mineral, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	90
11. Teor de clorofila total na folha de milho em duas doses de N mineral e sob sistema de plantio direto e preparo convencional. Média de dois sistemas de cultura, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	91
12. Teor de clorofila total na folha de milho em três sistemas de cultura e sob quatro doses de N mineral. Média de quatro épocas, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	92
13. Teor de clorofila total na folha de milho sob quatro doses de N mineral e em quatro épocas. Média de três sistemas de cultura, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	93
14. Taxa de fotossíntese de milho sob dois sistemas de cultura. Média de dois sistemas de preparo, duas doses de N mineral, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	97
15. Taxa de fotossíntese de milho sob duas doses de N mineral. Média de dois sistemas de cultura, dois sistemas de preparo, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	97
16. Taxa de fotossíntese de milho em quatro doses de N mineral. Média de três sistemas de cultura, duas épocas, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	100
17. Taxa fotossintética líquida em milho sob diferentes níveis de água, em três épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	114
18. Condutância foliar em milho sob diferentes níveis de água, em seis épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	115
19. Condutância foliar em milho sob diferentes níveis de nitrogênio, em seis épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	116
20. Teor de clorofila total em milho sob diferentes níveis de água em duas épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	121
21. Teor de clorofila total em milho sob diferentes níveis de nitrogênio, em duas épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	121
22. Potencial da água na folha em milho sob diferentes níveis de água, em cinco épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	124

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Representação do delineamento experimental, com a distribuição dos tratamentos avaliados (em destaque). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	24
2. Representação do delineamento experimental, com a distribuição dos tratamentos avaliados (em destaque). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	25
3. Relação entre o N absorvido e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), no estágio de polinização (65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	33
4. Relação entre o rendimento de grãos e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	44
5. Relação entre o teor de N na folha índice e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), incluindo todas as épocas de avaliação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	49
6. Relação entre o rendimento de grãos de milho e o teor de N na folha índice em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	52
7. Relação entre o N absorvido e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	54

8. Relação entre o rendimento de grãos e o N absorvido pelo milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 65 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 55
9. Relação entre o teor de N na planta e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 74 DAE (c); 82 DAE (d) e 99 DAE (e). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 56
10. Relação entre a matéria seca aérea (MS) e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 74 DAE (c); 82 DAE (d) e 99 DAE (e). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 62
11. Relação entre o índice de área foliar (IAF) e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 74 DAE (c); 82 DAE (d) e 99 DAE (e). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 68
12. Relação entre o teor de N foliar e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 82
13. Relação entre o teor de clorofila total e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho e V/M = Vica/Milho), sistemas de preparo de solo (PD = Plantio Direto e PC = Preparo Convencional) e doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aos 60 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 87
14. Relação entre o teor de clorofila total e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 88
15. Relação entre o teor de clorofila total e o teor de N foliar de milho em diferentes doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), ao longo do ciclo (52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d)). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 94

16. Relação entre a taxa fotossintética e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho e V/M = Vica/Milho), sistemas de preparo de solo (PD = Plantio Direto e PC = Preparo Convencional) e doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aos 60 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 96
17. Relação entre a taxa fotossintética e o teor de clorofila total de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho e V/M = Vica/Milho), sistemas de preparo de solo (PD = Plantio Direto e PC = Preparo Convencional) e doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aos 60 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 98
18. Relação entre a taxa fotossintética e o N disponível para o milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 99
19. Representação do delineamento experimental, com a distribuição dos tratamentos avaliados (em destaque). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 107
20. Precipitações pluviais e irrigações ocorridas nos tratamentos I4 e I0 a partir da emergência do milho. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 111
21. Taxa fotossintética líquida e condutância foliar de milho em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 113
22. Taxa fotossintética líquida em função da condutância foliar para o vapor d'água em milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (38 DAE, 52 DAE e 65 DAE). EEA/ UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 118
23. Teor de clorofila total em milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 119
24. Taxa fotossintética líquida em função do teor de clorofila na folha de milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 120

25. Taxa fotossintética líquida em função do potencial de água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 122
26. Condutância foliar em função do potencial de água na folha de milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (a = 52 DAE e 65 DAE; b = 74 DAE, 84 DAE, 93 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 125

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Rendimento de grãos de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	142
2. Análise de variância do rendimento de grãos de milho (kg ha <sup>-1</sup> ) em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	142
3. Teor de N na folha índice de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	143
4. Análise de variância do teor de N na folha índice (%) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	143
5. Teor de N na planta de milho em cinco estádios (DAE = dias após emergência), diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	144
6. Análise de variância do teor de N na planta (%) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	145
7. Matéria seca aérea (MS) de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	146

8. Análise de variância da matéria seca aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 147
9. Índice de área foliar (IAF) de milho em diferentes sistemas de cultura (AM = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 148
10. Análise de variância do índice de área foliar (IAF) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 149
11. Teor de N na folha de milho em quatro estádios (DAE = dias após emergência), diferentes sistemas de cultura (AM = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 150
12. Análise de variância do teor de N foliar (%) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 151
13. Teor de clorofila total e taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura, doses de N mineral e sistemas de preparo de solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 152
14. Teor de clorofila total de milho em quatro estádios (DAE = dias após emergência), diferentes sistemas de cultura (AM = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+ Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 152
15. Análise de variância do teor de clorofila total de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho e vica/milho), doses de N mineral (0 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e sistemas de preparo de solo (plantio direto e convencional). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000..... 153
16. Análise de variância do teor de clorofila total na folha de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01..... 154



17. Análise de variância da taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho e vica/milho), doses de N mineral (0 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ) e sistemas de preparo de solo (plantio direto e convencional). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	155
18. Taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	155
19. Análise de variância da taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha <sup>-1</sup> ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.....	156
20. Precipitação pluvial observada no período no período experimental e média climatológica do período 1970 a 1989, EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	157
21. Balanço hídrico diário da cultura do milho para o tratamento irrigado (I4), para o período de 09 de novembro de 1999 a 16 de fevereiro de 2000. Eldorado do Sul, RS.....	158
22. Balanço hídrico diário da cultura do milho para o tratamento não irrigado (I0), para o período de 09 de novembro de 1999 a 16 de fevereiro de 2000. Eldorado do Sul, RS.....	160
23. Análise de variância para taxa fotossintética de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha <sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha <sup>-1</sup> ), aos 38, 52 e 65 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	162
24. Análise de variância para condutância foliar de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha <sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha <sup>-1</sup> ), aos 38, 52, 65, 74, 84, 93 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	163
25. Análise de variância para teor de clorofila total de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha <sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha <sup>-1</sup> ), aos 52 e 65 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	164

26. Análise de variância para potencial de água na folha de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha <sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha <sup>-1</sup> ), aos 52, 65, 74, 84, 93 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.....	165
27. Fotossíntese em função da condutância foliar em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha <sup>-1</sup> , N0 - 40 Kg ha <sup>-1</sup> ), em três dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	166
28. Fotossíntese em função do teor de clorofila na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha <sup>-1</sup> , N0 - 40 Kg ha <sup>-1</sup> ), em dois dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	167
29. Fotossíntese em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha <sup>-1</sup> , N0 - 40 Kg ha <sup>-1</sup> ), em dois dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	168
30. Condutância foliar em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha <sup>-1</sup> , N0 - 40 Kg ha <sup>-1</sup> ), em dois dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	169
31. Condutância foliar em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha <sup>-1</sup> , N0 - 40 Kg ha <sup>-1</sup> ), em três dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.....	170

## **CAPÍTULO I**

### **Introdução geral**

A agricultura deve, cada vez mais, tornar-se racional e produtiva, em decorrência das questões ambientais e econômicas, priorizando a melhoria e a manutenção do meio ambiente, a redução do uso indiscriminado de fertilizantes e o uso eficiente da água.

Dentre os nutrientes necessários à produção agrícola, o nitrogênio (N) merece destaque devido à sua influência na produção das culturas. No entanto, deve-se buscar o aumento do rendimento não apenas com a aplicação deste nutriente via adubação nitrogenada mineral, mas com cultivo de espécies fixadoras de N antecedendo a cultura comercial, especialmente no caso de gramíneas, como o milho.

As condições hídricas também influenciam a eficiência de uso de insumos, como o nitrogênio, sendo que, através de uma adequada combinação de água versus nitrogênio depende o desenvolvimento e o rendimento da cultura. Por ser o milho uma cultura muito sensível ao déficit hídrico, principalmente quando este ocorre no período crítico de pré-floração, floração e enchimento de grãos, um planejamento eficiente do uso da água deve ser buscado, de acordo

com a necessidade da cultura, visando o uso racional da água e aumento do rendimento e qualidade do produto.

Os sistemas de manejo usados na exploração agrícola dos solos também afetam a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada do solo para a atmosfera; por isso, deve-se buscar uma adequação dos mesmos visando a redução da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera pela agricultura. Considerando a área de 1 ha, Bayer (1996) estimou que o sistema aveia/milho (A/M), associado ao preparo convencional (PC), fixa via fotossíntese anualmente 3,2 t de CO<sub>2</sub> e libera, através da decomposição da matéria orgânica do solo, aproximadamente, 5,3 t de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Isso representa uma liberação líquida de 2,1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No sistema aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) e plantio direto (PD), a fixação anual total de CO<sub>2</sub> atmosférico foi de 5,83 t ha<sup>-1</sup>, e a liberação de 4,04 t ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> do solo, resultando numa fixação líquida anual de 1,79 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. A diferença no balanço de fixação-liberação de CO<sub>2</sub>, entre os sistemas PC – A/M e PD – A+V/M+C é de 3,89 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o que evidencia a importância da adequação dos sistemas de manejo.

### **1.1. Disponibilização de nitrogênio**

A principal característica do ciclo do nitrogênio, operando em todo o ecossistema, é a interação entre as atividades de organismos autotróficos e heterotróficos. Através da fotossíntese, os vegetais transformam a energia solar em biomassa. Quando incorporados ao solo, os resíduos vegetais são utilizados como fonte de carbono e energia pelos microorganismos heterotróficos, ocorrendo a transformação de N-orgânico para formas inorgânicas que são absorvidas pelas plantas (Camargo et al., 1999).

A fonte primária de nitrogênio para o solo é a atmosfera, pois cerca de 78% dos gases atmosféricos são constituídos por  $N_2$ . No entanto, para as plantas cultivadas não fixadoras de N, a principal fonte deste elemento é o solo. Neste, somente 5% está na forma mineral, a qual é diretamente disponível para as plantas e em torno de 95% do N está na forma orgânica, onde uma fração do mesmo é mineralizada anualmente através da atividade microbiana. Segundo Amado & Mielniczuk (2000), o N mineralizado do solo raramente é suficiente para atender à necessidade da cultura do milho, além de ser lentamente liberado durante o ano. Apesar disto, em um manejo sustentável, a quantidade de N disponível pelo solo deve ser considerada, a fim de permitir ajustes na quantidade de N a ser completada com outras fontes.

A maior parte do N é absorvido pelas plantas na forma de  $NO_3^-$ , embora a maioria das culturas também possa absorver o  $NH_4^+$ . No solo o N torna-se disponível para as plantas após a liberação deste da fase sólida, através do processo de mineralização do N contido na matéria orgânica (MO), e posteriormente deslocado até a superfície das raízes para ser absorvido. Este transporte de íons no solo pode ser atribuído, basicamente, a dois mecanismos: a difusão, em resposta a um gradiente de concentração, e a convecção devido ao fluxo de massa da solução do solo. A maioria do movimento do N ocorre como  $NO_3^-$  no fluxo convectivo da água para as raízes em resposta à transpiração das plantas. Uma vez que a atração entre  $NO_3^-$  e colóides do solo é insignificante, este íon encontra-se totalmente na solução do solo e é prontamente transportado para as raízes das plantas por fluxo de massa. Em contraste, a atração entre  $NH_4^+$  e colóides do solo é significativa e seu movimento com a água do solo é muito menor. Quando o potencial de absorção das plantas excede o suprimento

por fluxo de massa, a concentração de N na zona radicular é reduzida, começando, então, o processo de difusão (Hauck, 1984).

A curva de absorção de N pelo milho é do tipo sigmoidal, com valores elevados durante o início do período vegetativo, podendo absorver 3 a 4 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> durante o máximo crescimento (Keeney, 1982). Para Fornasier Filho (1992), a absorção de N ocorre durante todo o seu ciclo vegetativo, sendo pequena nos primeiros 30 dias, atingindo a máxima acumulação no florescimento. Segundo Muzilii & Oliveira (1992), a maior demanda de N pelo milho ocorre cerca de duas a três semanas antes do florescimento e, após este período, a sua aplicação é menos eficiente. No entanto, a ocorrência de deficiência de N em plantas com estatura em torno de 20 cm reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga, podendo afetar o rendimento de grãos (Schreiber et al., 1988). De acordo com Fancelli et al. (2002), a utilização de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura permite que a adubação de cobertura possa ser efetuada até o estágio de 8 folhas. Porém, na ausência de nitrogênio na semeadura, os valores absolutos de produtividade demonstram que a cobertura deverá ser efetuada até o estágio correspondente a 4 a 6 folhas. Ainda, para Amado et al. (2000) a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> imediatamente após a semeadura do milho em sucessão à aveia, na média dos sistemas de preparo, aumentou em 250% a quantidade de N absorvido e em 166% a produção de MS do milho, evidenciando a importância da fertilização nitrogenada na base neste sistema.

O manejo do N em sistemas agrícolas deve considerar os riscos ambientais envolvidos, uma vez que este nutriente está sujeito a elevadas perdas por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização. Desta forma, o manejo ideal da adubação nitrogenada pode ser definido como sendo aquele que permite

satisfazer à necessidade da cultura, com o mínimo de risco ambiental. Para tanto, é importante que a estimativa da quantidade de N a aplicar nas culturas seja a mais exata possível, minimizando tanto a ocorrência de excessos que, além de prejudicar a qualidade ambiental, oneram o produtor quanto a déficits que comprometem o rendimento projetado (Amado et al., 2002).

Para a maioria das regiões agrícolas do País, os solos não permitem um suprimento de N suficiente para garantir a plena demanda das culturas, o que é, na maioria das vezes, contornado com a adição de fertilizantes (Alves et al., 2000). Uma alternativa para se reduzir à necessidade de adubação nitrogenada é a inclusão de espécies leguminosas nos esquemas de rotação, aproveitando o potencial dessas espécies em fixar  $N_2$  atmosférico via simbiose com a bactéria *Rhizobium* sp., reduzindo assim as quantidades de N a utilizar nas culturas comerciais de verão (Ceretta et al., 1994; Teixeira et al., 1994).

Para otimizar o uso de leguminosas é necessário identificar as espécies mais adaptáveis à região e adequá-las à melhor forma de manejo. Além disso, é preciso determinar o montante de N adicionado ao sistema e verificar a capacidade de substituição da fertilização nitrogenada mineral (Ceretta et al., 1994).

A contribuição dos sistemas de cultura em N para o milho depende de quatro fatores principais: capacidade de adicionar  $N_2$  atmosférico ao solo; capacidade de reciclar N através da biomassa, especialmente no período intermediário aos cultivos de milho; taxa de mineralização de resíduos culturais e da matéria orgânica (húmus) e grau de sincronismo do período de maior mineralização dos resíduos com a demanda de N pelo milho (Teixeira et al., 1994).

Segundo Heinrichs et al. (2001), a aveia e a ervilhaca são as principais culturas de cobertura de solo utilizadas durante o inverno na região sul do Brasil. O cultivo consorciado dessas duas espécies pode potencialmente resultar numa fitomassa com relação C/N mais equilibrada do que aquela proveniente das culturas solteiras, bem como proporcionar resíduos culturais que atuem, simultaneamente, na proteção do solo contra agentes erosivos e no suprimento de N ao milho. Os resultados de seu trabalho evidenciam que, do ponto de vista de fornecimento de N ao milho, para um rendimento próximo a  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de grãos, a demanda da cultura pode ser atendida pela ervilhaca como cultura pura ou pela consorciação desta com no máximo 10% de aveia. O consórcio que apresentou melhor equilíbrio entre produção de fitomassa, proteção do solo pelos resíduos culturais, fornecimento de N ao milho e maior produtividade para o milho foi estabelecida com 90% de sementes de ervilhaca ( $72 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e 10% de aveia ( $8 \text{ kg ha}^{-1}$ ), com relação C/N de 18,6. Essa afirmação baseia-se no fato de que tanto a produção de matéria seca do milho como o rendimento de grãos não diferiram daquelas em que foram aplicados  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de N como uréia.

De acordo com Freitas et al. (1996), o efeito dos sistemas de cultura foi dependente da aplicação ou não de N no milho. Quando aplicado N, os sistemas de cultura não afetaram o rendimento de milho. Sem a aplicação de N, o rendimento do milho foi maior quando cultivado após aveia+trevo em relação à aveia, chegando esta diferença a  $2 \text{ t ha}^{-1}$ . A introdução do trevo juntamente com a aveia, como cultura de cobertura no tratamento sem N, proporcionou aproximadamente 80% do rendimento de grãos de milho obtido no tratamento com aveia e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Nestas condições, pequenas aplicações complementares de N seriam suficientes para atingir os máximos rendimentos,



representando menor necessidade de capital para a aquisição de adubos nitrogenados e maior lucro para o agricultor.

A magnitude de substituição da adubação nitrogenada mineral do milho pelas leguminosas de inverno depende de diversos fatores, dentre os quais pode-se destacar a quantidade de N acumulado pelas leguminosas, a velocidade com que o nutriente é liberado dos resíduos culturais, a disponibilidade de N do solo, o potencial de rendimento do milho e o nível tecnológico empregado (Aita et al., 2001).

A equivalência em fertilizante nitrogenado estimada para a ervilhaca, com base na curva de resposta de rendimento do milho em sucessão à aveia a doses de N, foi avaliada em  $55 \text{ kg ha}^{-1}$ . Para a consorciação aveia+ervilhaca, a equivalência em fertilizante nitrogenado foi estimada em  $38 \text{ kg ha}^{-1}$  (Amado et al., 2000). Resultados obtidos por Pons et al. (1983), indicam que a aplicação de  $55 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no milho, após ervilhaca, seriam suficientes para atingir o máximo retorno econômico, enquanto que, para milho após aveia, seriam necessários  $105 \text{ kg ha}^{-1}$ , tornando o lucro menor neste sistema.

## **1.2. Importância do nitrogênio**

O nitrogênio situa-se entre os nutrientes mais importantes no crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Entre os elementos principais, ele é o quarto elemento em termos de quantidade na fitomassa, após o carbono, o oxigênio e hidrogênio (Larcher, 2000). Embora componha pequena percentagem do peso seco da planta (1 a 5% nas gramíneas  $C_4$ ), ele é indispensável, sendo que a inadequada nutrição de N afeta praticamente todos os aspectos do crescimento e do metabolismo da planta (Jones, 1985).

O nitrogênio utilizável pelas plantas é aquele que passa por processos de fixação do N atmosférico e/ou oxidação de íons nitrito, resultando, respectivamente, nas formas de nitrato e amônio, as quais são absorvidas pelos vegetais. Dentro da célula vegetal o N é transferido na forma de amônio para compostos carbonados, indo, desta forma, fazer parte de aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, clorofilas e coenzimas (Godwin & Jones, 1991). Além disso, é elemento essencial para a utilização de carboidratos, estimulante do desenvolvimento e atividade radicular e estimulante da absorção de outros nutrientes (Olson & Kurtz, 1982). Dessa forma, o N é necessário durante o desenvolvimento das plantas para manter o crescimento, já que ele é um constituinte dos componentes estruturais e não-estruturais das células das plantas.

O metabolismo do nitrogênio, por sua vez, além de estar intimamente relacionado com as reações da fotossíntese e metabolismo de carboidratos, depende de vários fatores como absorção, transporte e distribuição dentro da planta e das células, bem como da assimilação bioquímica, fatores estes cuja eficiência, isoladamente ou no conjunto, controlam a produção. O N desempenha papel fundamental na manutenção da atividade metabólica da folha, como também na dos grãos que, em conjunto, determinam o estabelecimento, a formação inicial e o ritmo de enchimento dos grãos (Cazetta et al., 1999).

Entre o fornecimento de N e o aumento de biomassa há uma estreita relação, que pode ser expressa através da eficiência do uso do N na produção. A energia e a estrutura molecular para a incorporação do N são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, o qual, por sua vez, depende da fotossíntese. Fechando um ciclo de interdependência metabólica, a fotossíntese depende de

compostos contendo N (por exemplo, clorofila). Dessa forma, o crescimento em matéria seca da planta é limitado, sobretudo, pela oferta de N. Sob um suprimento insuficiente em N, o carboidrato excedente é estocado na forma de amido e substâncias graxas ou desviado para a síntese de lignina (metabolismo secundário). Sob elevada deficiência de N, a planta apresenta uma menor estatura, as células assumem um menor tamanho em seus tecidos e as paredes celulares tornam-se espessas (esclerose por deficiência de N ou peinomorfismo). Além disso, geralmente, o processo reprodutivo e a senescência são antecipados em plantas anuais (Larcher, 2000).

Para o crescimento de plantas em condições de campo, o decréscimo na produção de biomassa, em resposta à deficiência de N, pode ser resultado de uma redução na quantidade de radiação interceptada pelo dossel, de um decréscimo na eficiência de utilização da radiação interceptada para produzir matéria seca ou da combinação de ambos os fatores. O suprimento inadequado de N pode inibir o desenvolvimento, levando à redução da interceptação da radiação solar, um decréscimo na atividade fotossintética foliar e, portanto, à menor eficiência de uso da radiação (Moss, 1984; Muchow, 1990; Sinclair & Gardner, 1998).

### **1.3. Rendimento de grãos, produção de matéria seca aérea e índice de área foliar em função do nitrogênio**

O nitrogênio é um dos nutrientes que proporciona maior aumento na produção de grãos da cultura do milho, pois é constituinte de moléculas de citocromos, além de sua função como integrante da molécula de clorofila (Büll, 1993; Costa et al., 2002). Em experimentos realizados por Muchow (1988) e Wolf

et al. (1988) foi demonstrado que a adubação nitrogenada aumentou o número de grãos por espiga e a produtividade da cultura, sendo que o fornecimento de nitrogênio promoveu aumentos nos conteúdos foliares de clorofila e de N na cultura do milho.

Ao promover grandes aumentos no rendimento de grãos, no caso do milho, o N mineral contribui diretamente no aporte de C e N via resíduos, uma vez que os dados existentes mostram uma estreita relação entre as produtividades de grãos e matéria seca de resíduos (Freitas et al., 1996; Amado, 1997; Fernandes, 1998). Os trabalhos destes autores evidenciam maior efeito do N mineral no rendimento de grãos e aporte de resíduos quando o sistema de cultura contém somente gramíneas, no caso uma sucessão aveia no inverno e milho no verão, sendo o adubo nitrogenado a principal fonte de N externo. A resposta adicional do milho ao N mineral é menor em sistemas com leguminosas, pois o N adicionado por estas permite ao milho, sem N mineral, partir de um patamar mais elevado de rendimento de grãos e matéria seca de resíduos, quando comparado aos sistemas com a ausência destas espécies.

Segundo Moss (1984) a suplementação do nitrogênio pode afetar o crescimento e a produtividade das plantas pela alteração da área foliar, assim como sua capacidade fotossintética. De acordo com Andreeva et al. (1998), a eficiência fotossintética de utilização do N tem um papel fundamental na regulação da relação fonte-dreno, a qual mantém o balanço proporcional entre matéria seca aérea e radicular, metabolismos integrados e crescimento da planta, determinando sua produtividade.

Tanto a deficiência hídrica como a nutrição mineral insuficiente ou desbalanceada provocam diminuição na produção. Não compete somente ao

ganho de CO<sub>2</sub> o incremento de biomassa, mas também ao controle hormonal da partição dos assimilados e ao padrão específico de crescimento da planta. Estes processos envolvidos na produção de matéria seca são influenciados na mesma direção que as trocas de CO<sub>2</sub> pelos fatores ambientais, mas não na mesma intensidade. Por exemplo, o crescimento da folha é limitado mais cedo e de forma mais intensa do que as trocas do CO<sub>2</sub> sob crescente deficiência hídrica e, sobretudo, sob crescente deficiência mineral (Larcher, 2000).

A importância da determinação da área foliar das culturas agrícolas é explicada pela estreita correlação entre esta e as taxas fotossintéticas e a transpiração das plantas, uma vez que reflete a capacidade da planta em interceptar a radiação e efetuar trocas gasosas com o ambiente, constituindo-se assim em importante indicativo da produtividade das culturas (Guimarães et al., 2002). A perda de área foliar afeta os componentes do rendimento em decorrência das alterações provocadas na atividade fisiológica (fonte-demanda) das plantas, refletindo finalmente na produtividade da cultura (Moura, 1999). Em plantas com 33% de folhas não houve acúmulo de aminoácidos livres no grão, indicando que quatro folhas por planta foram suficientes para fazer com que o metabolismo do nitrogênio tivesse continuidade, embora o comprometimento da área fotossintética tenha influenciado significativamente o crescimento da planta e o rendimento de grãos (Silva et al., 2002).

#### **1.4. Processo de fotossíntese**

A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas transformam a energia da radiação solar em carboidratos, que vão servir para a produção de matéria vegetal. A energia dos fótons é captada por pigmentos e transferida para uma

cadeia protéica (cadeia transportadora de elétrons), para a formação de ATP e NADPH. Os compostos ATP e NADPH são utilizados no ciclo de Benson-Calvin para fixar o  $\text{CO}_2$  através de inúmeras etapas de carboxilação, assim como na regeneração de substratos como a RuBP (ribulose-1,5-bifosfato) e o PEP (fosfoenolpiruvato), substratos das enzimas de carboxilação Rubisco (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase) e PEP-case (fosfoenolpiruvato carboxilase), respectivamente. A energia acumulada durante o processo bioquímico da fotossíntese poderá ser utilizada para a realização de trabalho nos mais diversos processos fisiológicos ou ser estocada, para utilização futura, na forma de compostos orgânicos (Lawlor, 1987).

As plantas podem ser classificadas fotossinteticamente em três diferentes rotas metabólicas:  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  e CAM. Nas plantas com mecanismo  $\text{C}_4$  ou ciclo de Kortschak-Hatch-Slack, a reação inicial de carboxilação resulta em um oxaloacetato, um ácido orgânico com quatro carbonos, produzido pela reação catalisada pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase, localizada nas células do mesofilo. O oxaloacetato é transformado em malato ou aspartato, migrando em seguida para a bainha perivascular, onde é descarboxilado, liberando  $\text{CO}_2$  e um ácido orgânico de três carbonos, que retorna ao mesofilo para a regeneração do substrato da carboxilação primária. A rota  $\text{C}_4$  é, fundamentalmente, um mecanismo de concentração de  $\text{CO}_2$  na bainha perivascular, disponibilizando uma alta concentração deste substrato para a enzima Rubisco, aumentando, assim, a eficiência do ciclo de Benson-Calvin (Pimentel, 1998). Na rota  $\text{C}_3$ , a reação inicial de carboxilação, onde o  $\text{CO}_2$  é fixado ao substrato RuBP, resulta em dois ácidos fosfoglicéricos (PGA) de três carbonos (ciclo de Benson-Calvin). Portanto, essa

rota tem como primeiro produto estável um ácido orgânico com três carbonos, sendo a reação inicial catalisada pela enzima Rubisco.

A performance fotossintética da folha depende de três propriedades. Primeiramente, da captação de luz, que é relacionada principalmente com o conteúdo de pigmentos da folha, determinando o potencial fotossintético em baixa irradiância. Em segundo lugar, a taxa com que NADPH e ATP podem ser produzidos, dependendo da capacidade de transporte de elétrons ou fotofosforilação. Em terceiro lugar, da capacidade de utilização da ribulose-1,5-bifosfato (RuBP) pela Rubisco, podendo limitar a taxa fotossintética (Evans, 1989). O suprimento hídrico, a quantidade de luz, a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, a disponibilidade de nutrientes e a temperatura ambiente influenciam, maximizando ou inibindo os diversos passos do processo fotossintético (Long, 1991; Gifford, 1992; Tyree & Alexander, 1993; Larcher, 2000).

#### **1.4.1. A fotossíntese e o nitrogênio**

O fato do nitrogênio ser um elemento importante, especialmente para a Rubisco e para a biossíntese de clorofila, faz com que situações limitantes desse mineral resultem em redução na taxa fotossintética (Wong, 1979; Strzalka & Ketner, 1997). A variação no teor de N da folha tem sido identificada como um determinante da capacidade fotossintética líquida (Gulmon & Chu, 1981; Field & Mooney, 1986), sendo que a dependência da capacidade fotossintética líquida em relação ao N foliar é grande nas comunidades em que o N é o nutriente mais limitante (Reich & Schoettle, 1988).

A maior parte do nitrogênio da folha é investida no ciclo de redução das pentoses (PCR) e em proteínas constituintes do tilacóide, sendo direcionada ao

aparato fotossintético. O conteúdo de clorofila e de Rubisco elevam-se proporcionalmente com o aumento de nitrogênio na folha. Há, também, evidências que indicam uma proporcionalidade entre a parcela máxima de CO<sub>2</sub> assimilada por unidade de área foliar e o montante de nitrogênio por unidade de área foliar (Evans, 1989; Mae, 1997).

Em geral, o nitrogênio envolvido na fotossíntese pode ser dividido em duas partes. A primeira seria a proteína solúvel, dominada pela enzima Rubisco, anidrase carbônica, enzimas dos cloroplastos do ciclo de Benson-Calvin, enzimas respiratórias das mitocôndrias, peroxissomos e ribossomos, que complementam a proteína solúvel da folha. A segunda parte é constituída pela proteína das membranas dos tilacóides, que contém complexos de proteínas, pigmentos e componentes da cadeia de transporte de elétrons. A divisão em proteína solúvel e dos tilacóides torna-se conveniente, uma vez que representa as reações bioquímicas e fotoquímicas da fotossíntese. A maior parte do nitrogênio dos tilacóides (60 a 85%) é encontrada na proteína dos pigmentos e complexos do centro de reação, enquanto que a Rubisco pode conter até 30% do nitrogênio total da folha (Evans, 1989a; Evans, 1989b).

Situações de suprimento inadequado de N podem levar a um decréscimo na atividade fotossintética foliar e diminuição da eficiência de uso da radiação. Podem, ainda, provocar diminuição do período de crescimento vegetativo, à medida que o N é rapidamente transferido do tecido vegetativo às sementes em crescimento e diminuir o índice de colheita, pois o N requerido para o contínuo crescimento dos grãos não está disponível (Novoa & Loomis, 1981; Sinclair & Gardner, 1998).



### **1.4.2. A fotossíntese e a água**

O déficit hídrico pode reduzir a fotossíntese de três maneiras: (1) pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar; (2) pela redução da difusão do CO<sub>2</sub> dentro da folha e (3) pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO<sub>2</sub> que neles penetra (Jones, 1985).

Juntamente com o dióxido de carbono, a água é substância necessária para a fotossíntese. Contudo, não é a pequena quantidade de água utilizada na fotossíntese como reagente que a torna um fator limitante significativo, mas sim a grande quantidade necessária para manter a hidratação do protoplasma. Com o déficit hídrico, a atividade fotossintética declina paralelamente à diminuição do volume celular, conjuntamente com o declínio da turgescência (Larcher, 2000).

Durante condições de estresse hídrico, a atividade fotossintética decresce principalmente devido ao fechamento dos estômatos. Segundo Allen et al. (1989), a resistência estomática está condicionada à disponibilidade de água no solo, à luminosidade e às demandas hídricas determinada pelas condições ambientais. Na medida em que o estresse progride, alterações bioquímicas podem limitar a atividade fotossintética mais diretamente, resultando em danos oxidativos nas células.

Muitos estudos têm indicado que reduções na condutância estomática são as principais causas do decréscimo da fotossíntese, em resposta ao decréscimo do potencial da água da planta. Entretanto, em estresses hídricos prolongados, a capacidade dos componentes fotossintéticos (absorção da luz, atividade de carboxilase e comportamento estomático) tende a ser modificada em paralelo (Jones, 1992). Quando os estômatos fecham em resposta ao decréscimo no potencial da água da folha, a fotossíntese diminui principalmente como

resultado da baixa disponibilidade de CO<sub>2</sub> para o aparelho fotossintético (Radin & Ackerson, 1982).

### **1.5. Hipóteses e objetivos**

As hipóteses deste trabalho foram:

1. Diferentes sistemas de cultura determinam a disponibilidade de nitrogênio para o milho, influenciando o rendimento de grãos e de matéria seca, a área foliar da cultura e o teor de N na planta;
2. Indicadores fisiológicos como teor de clorofila e nitrogênio nas folhas influenciam a taxa de fotossíntese do milho, que está relacionada à disponibilidade de nitrogênio no solo;
3. A disponibilidade hídrica influencia o teor de clorofila, o potencial da água na folha, a condutância foliar e a taxa fotossintética do milho e interage com diferentes níveis de nitrogênio.

A presente tese foi dividida em capítulos, onde o Capítulo I é constituído de uma introdução geral, apresentando uma revisão sobre o tema abordado. No Capítulo II, buscou-se quantificar a disponibilidade de N ao milho em função de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e doses de N mineral. No Capítulo III, analisou-se a hipótese 1, com objetivo de avaliar o efeito dos diferentes níveis de nitrogênio disponível ao milho, sobre o rendimento de grãos, produção de matéria seca, teor de N na planta e índice de área foliar. No Capítulo IV, foi testada a hipótese 2, avaliando o efeito dos diferentes níveis de nitrogênio disponível ao milho sobre o teor de clorofila, teor de N foliar e taxa fotossintética do milho, e também, estabelecendo relações entre a fotossíntese e indicadores fisiológicos. No Capítulo V, testou-se a hipótese 3, com

objetivo de avaliar o efeito de diferentes níveis de nitrogênio e água aplicados no milho, sobre o teor de clorofila, potencial da água na folha, condutância foliar e taxa fotossintética da cultura, bem como descrever as respostas fotossintéticas sob influência destas variáveis. Finalmente, no Capítulo VI são apresentadas as conclusões gerais do trabalho.

## **CAPÍTULO II**

### **Estimativa da disponibilidade de nitrogênio à cultura do milho, em diferentes sistemas de preparo de solo, de cultura e de doses de nitrogênio mineral**

#### **2.1. RESUMO**

O uso de fertilização mineral e de leguminosas são as principais alternativas para fornecimento de nitrogênio (N) ao milho. A estimativa de N disponível deve ser considerada, a fim de permitir ajustes na sua quantidade, a ser complementada com outras fontes. O objetivo deste trabalho foi quantificar o N disponível ao milho em função de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e doses de N mineral, e o N absorvido no estágio de polinização. No primeiro ano, foram realizadas avaliações no sistema de plantio direto (D) e de preparo convencional (C), nos dois sistemas de cultura A/M – aveia/milho e V/M – vica/milho, nas doses de 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. No segundo ano, foram realizadas avaliações somente no plantio direto, nos tratamentos dos sistemas de cultura A/M, V/M e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi, nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Os tratamentos com a presença de gramínea (A/M) foram os que apresentaram menor quantidade de N disponível e de N absorvido, variando entre 27 e 123 kg

ha<sup>-1</sup>, e entre 29 e 162 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Nos tratamentos com a presença de leguminosa (V/M e A+V/M+C) a quantidade de N disponível variou entre 50 e 147 kg ha<sup>-1</sup>, e de N absorvido entre 43 e 245 kg ha<sup>-1</sup>. Esta superioridade pode ser explicada por uma maior quantidade de N total no solo, de N na fitomassa e pela relação C/N menor. O N disponível ao milho apresentou diferenças em função dos sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e doses de N mineral, comprovando a necessidade de considerar na recomendação de adubação nitrogenada, não apenas a dose de N mineral aplicada, mas, também, as espécies que antecederam o cultivo do milho. Os sistemas de produção de milho envolvendo leguminosas disponibilizam maiores quantidades de N em relação ao sistema com gramíneas, podendo substituir parcial ou totalmente a adubação nitrogenada, dependendo da expectativa de rendimento.

## 2.2. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes requeridos em grande quantidade pelas plantas e, especialmente para as gramíneas, com freqüência suprido em quantidade insuficiente pelo solo. Assim, a utilização de outras fontes faz-se necessária, para atender à demanda de culturas exigentes, como o milho. O uso de fertilização mineral e de leguminosas são as principais alternativas para fornecimento, em larga escala, de nitrogênio a culturas exigentes deste nutriente (Amado & Mielniczuk, 2000).

Amado (1997) analisou o efeito de plantas de cobertura de inverno sobre a receita líquida da cultura do milho. O autor determinou um prejuízo de R\$ 113 ha<sup>-1</sup>, quando em sucessão à aveia preta, sem aplicação de N. Por sua vez, somente o cultivo de vica antecederando ao milho (vica/milho), sem aplicação de N,

possibilitou uma receita líquida de R\$ 154 ha<sup>-1</sup>, equivalendo a 41% da receita líquida máxima obtida no sistema aveia/milho com N. A receita líquida máxima com a aplicação de N foi de R\$ 376 ha<sup>-1</sup>, no sistema aveia/milho, e de R\$ 429 ha<sup>-1</sup>, no sistema vicia/milho. Com o uso de plantas de cobertura de inverno na cultura do milho, o sistema aveia/milho proporcionou um aumento da receita líquida da cultura do milho de R\$ 7,97 ha<sup>-1</sup> para cada R\$ 1,00 investido em N (na faixa de 0 a 90 kg ha<sup>-1</sup>).

As leguminosas destacam-se entre as espécies empregadas como cobertura ou adubação verde, podendo aumentar o rendimento das culturas que as sucedem pela redução da erosão, conservação de água, reciclagem de nutrientes e melhoria das características físicas do solo. Entretanto, essa resposta em curto prazo sobre o rendimento se deve à capacidade de fixar simbioticamente o N atmosférico e incorporá-lo à sua fitomassa. Com a decomposição de seus resíduos, o N poderá ser liberado e, assim, parte dele vir a ser absorvido pelo cultivo em sucessão (Martin e Touchton, 1983). O balanço de N do solo também pode ser afetado pela diminuição das perdas. Mesmo sem haver fixação de N, grande quantidade desse elemento é incorporada à biomassa da cobertura, evitando sua lixiviação. Esse efeito não se restringe às leguminosas, o que explica, em parte, a tendência de aumento dos rendimento de milho em sucessão a gramíneas de inverno (Ebelhar et al., 1984; Teixeira et al., 1994).

Segundo Aita et al. (1994), as leguminosas de inverno são hábeis em fixar N atmosférico e supri-lo à cultura do milho em sucessão, permitindo a obtenção de rendimentos de grãos de milho semelhantes àqueles de onde foi aplicado N mineral e superior aos tratamentos com aveia-preta e pousio hibernal

+ fósforo e potássio. Conforme estes autores a quantidade de N acumulado pela parte aérea da ervilhaca comum foi de  $81 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto na aveia preta foi de  $42 \text{ kg ha}^{-1}$ . A única espécie de inverno em que não houve resposta à aplicação de N ao milho foi a ervilhaca comum, equivalendo-se a uma aplicação de 90 e  $106 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma mineral, em relação aos tratamentos pousio hiberna e aveia preta, respectivamente. Para Sá (1995), a faixa de resposta à adubação mineral de N do milho, quando semeado após leguminosa, situa-se em torno de 20 a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  e, após aveia preta, entre 40 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , devido a não adição e também à alta relação C/N da palha de aveia.

A maioria dos benefícios das leguminosas no aumento do rendimento das culturas econômicas tem sido atribuída ao incremento da disponibilidade de N. Embora grande quantidade de N possa existir na parte aérea das culturas de cobertura, a real quantidade de N que será aproveitada pela cultura em sucessão irá depender do sincronismo entre a decomposição da fitomassa e a taxa de demanda da cultura econômica. Portanto, a estimativa das quantidades de N disponibilizadas pelas leguminosas é fundamental para que a quantidade de N a ser completada via fertilizante mineral seja determinada, seguindo critérios de produtividade, retorno econômico e preservação ambiental (Amado et al., 2000).

A inclusão de outros atributos, além do teor de matéria orgânica, que tenham influência sobre a disponibilidade de N, como o sistema de preparo e a cultura de cobertura antecedente, pode permitir o aprimoramento da recomendação de adubação nitrogenada. Dentre as informações requeridas para otimizar essa recomendação, incluem-se: (a) a estimativa do potencial de mineralização do N do solo; (b) a quantidade de N mineralizado ou imobilizado pela cultura de cobertura; (c) o requerimento do N pela cultura, para atingir um

rendimento projetado; (d) a expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes (solo, cultura de cobertura e fertilizante mineral) (Amado, 1997).

O objetivo deste trabalho foi quantificar o N disponível ao milho em função de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e doses de N mineral, e o N absorvido no estágio de polinização.

### **2.3. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido em um experimento de longa duração intitulado “Preparos de Solo e Cobertura Vegetal como Alternativa de Conservação do Solo”, implantado em 1985, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS, na região climática da Depressão Central, com coordenadas 30°05'22”S e 51°39'08”W, a uma altitude de 46 m.

O clima da região é subtropical úmido de verão quente do tipo fundamental “Cfa”, conforme a classificação climática de Köeppen. A precipitação média anual fica ao redor de 1.440 mm, com média mensal de 120 mm, sendo que durante o período de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho (novembro a fevereiro) é de 425 mm. A temperatura média anual é de 19,0°C. A evapotranspiração potencial média anual e média da estação de crescimento da cultura, calculada pelo método de Penman, é de 1.234 e 582 mm, respectivamente (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O solo dos experimentos, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos é um Argissolo Vermelho Distrófico (PVd) (Embrapa, 1999), anteriormente denominado Podzólico Vermelho-escuro (Paleudult na



Classificação Americana e Acrisol pela Legenda da FAO), representativo desta região do Rio Grande do Sul.

O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo os métodos de preparo de solo as parcelas principais (15 x 20 m), os sistemas de cultura as sub-parcelas (5 x 20 m) e as doses de N aplicadas em faixas nos sub-blocos. No primeiro ano (safra 1999/2000) as doses de N foram aplicadas em faixas de 45 x 10 m e, no segundo ano (safra em 2000/2001) em faixas de 45 x 5 m.

No primeiro ano, foram realizadas avaliações nas parcelas principais do sistema de plantio direto (D), que mantém os resíduos do sistema da cultura anterior à semeadura do milho totalmente sobre o solo, manejados com a passagem de um rolo-faca, e do sistema de preparo convencional (C), com incorporação total dos resíduos das culturas de inverno, através de lavra e gradagem. Nas sub-parcelas os tratamentos avaliados foram constituídos dos sistemas de cultura A/M – aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) e V/M – vica (*Vicia sativa*)/milho, nas doses de 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (Figura 1). A implantação da aveia e vica (ou ervilhaca) ocorreu em abril, e do milho em outubro, utilizando o híbrido Pioneer 3069, e espaçamento entre linhas de 0,70 m e uma população de 60.000 plantas por hectare. As doses de N mineral constituíram os sub-blocos, onde a aplicação a lanço ao lado da linha de milho, foi de um terço do N mineral quando o milho apresentava quatro folhas expandidas e dois terços com oito folhas expandidas. A adubação de base utilizada foi de 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

No segundo ano, as avaliações foram realizadas nas parcelas principais do sistema de plantio direto (D). Nas sub-parcelas os tratamentos

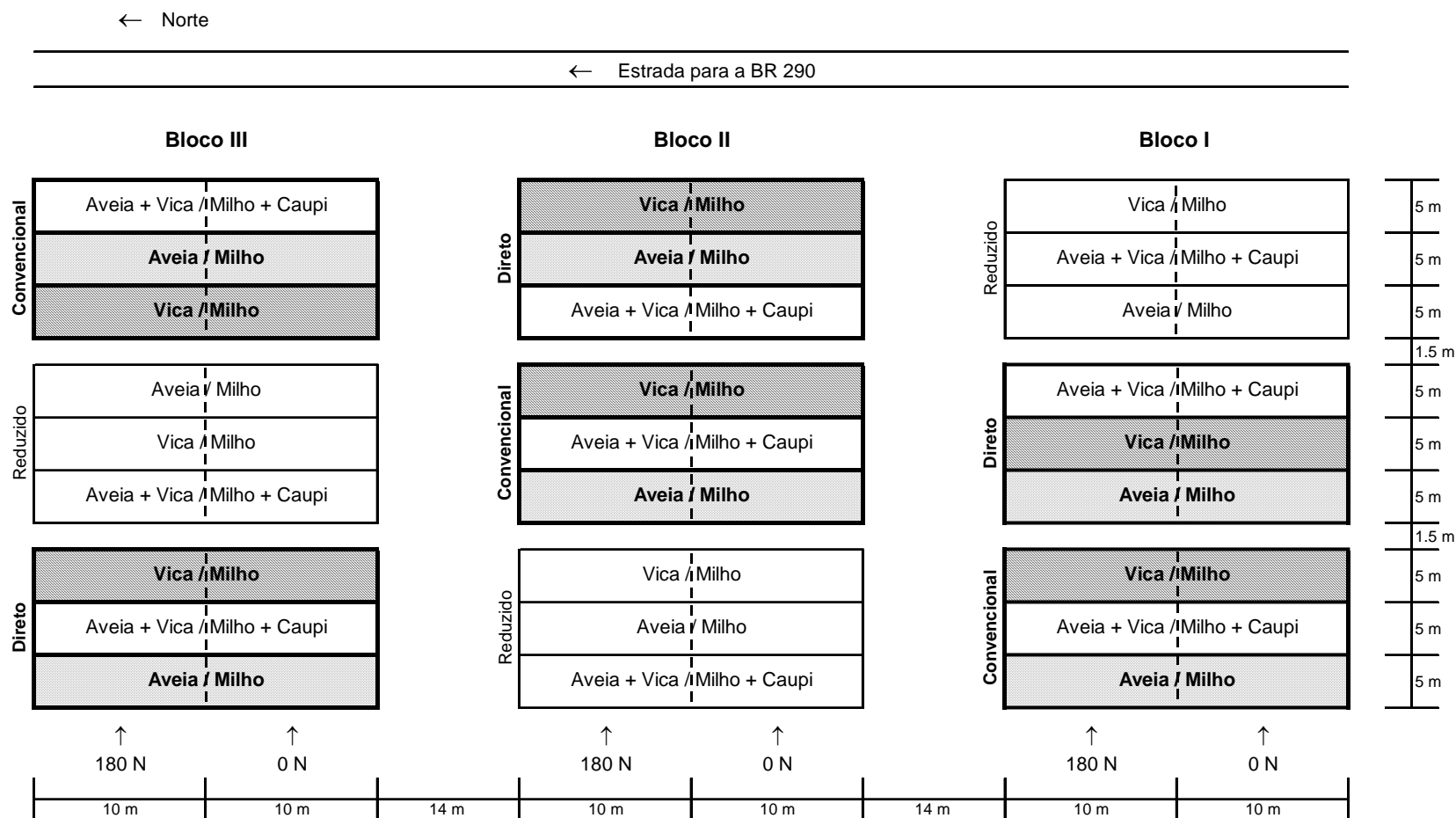


FIGURA 1. Representação do delineamento experimental, com a distribuição dos tratamentos avaliados (em destaque). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.



avaliados foram constituídos dos sistemas de cultura A/M – aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*), V/M – vica (*Vicia sativa*)/milho e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi (*Vigna unguiculata*), nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (Figura 2). A implantação da aveia e vica ocorreu em abril e do milho em outubro, utilizando o híbrido 32R21, com espaçamento entre linhas de 0,90 m e uma população de 69.000 plantas por hectare. As doses de N mineral constituíram os sub-blocos, onde a aplicação a lanço ao lado da linha de milho, foi de um terço do N quando o milho apresentava quatro folhas expandidas e dois terços com oito folhas expandidas. A adubação de base utilizada foi de 250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 5-20-20.

A estimativa do N disponível para o milho em sistemas de cultura foi baseada na equação de Amado (1997), representando a média dos últimos dois anos:

$$\text{N disponível} = \text{Nt solo} \times k_1 + (5,066 + k_2 \times \text{N fitomassa} - 0,242 \times \text{Rel C/N}) + k_3 \times \text{Dose N fertilizante} \quad (1)$$

onde  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  são os coeficientes de eficiência do N total (Nt) contido no solo, resíduos e aplicado como fertilizante, respectivamente. Segundo o autor  $k_1$  assume o valor de 0,021 no preparo convencional e de 0,011 no plantio direto,  $k_2$  é igual a 0,1334 e  $k_3$  é igual a 0,50. Utilizou-se o Nt do solo e o N na fitomassa determinado na média dos 13 anos de duração do experimento por Lovato (2001) e a relação C/N determinada por Amado (1997).

No segundo ano, realizou-se a determinação da produção de matéria seca aérea (MS) e quantidade de N absorvido pelo milho aos 65 dias após a emergência (DAE), estágio de polinização ou de floração plena, em três plantas por repetição, de cada um dos três sistemas de cultura e nas quatro doses de N.

A determinação do teor de N na planta foi realizada a partir da análise de tecido vegetal, utilizando o método de Kjeldahl, descrito em Tedesco et al. (1995). Posteriormente, a quantidade de N absorvido na planta foram obtida multiplicando-se a matéria seca aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo teor de N na planta.

## 2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de nitrogênio (N) disponível ao milho, em função de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e doses de N mineral do primeiro ano de avaliação, são apresentados na Tabela 1. Observa-se que o teor de N disponível no sistema de preparo convencional (C) foi superior ao plantio direto (D). Esta variação pode ser atribuída ao coeficiente de mineralização ( $k_1$ ) do N total do solo, que é de 0,021 no preparo convencional e de 0,011 para o plantio direto. O preparo convencional estimula a mineralização do N do solo, enquanto o plantio direto conserva um ambiente menos oxidativo e, portanto, com menor taxa de mineralização do N do solo (Amado, 1997; Amado & Mielniczuk, 2000). Para Franzluebbbers (1999) o aumento da disponibilidade de N para a planta ocorre devido à destruição de agregados do solo pela mecanização, estimulando a mineralização do N orgânico do solo. Apesar da maior velocidade de decomposição de resíduos no preparo convencional do que no plantio direto, ambos sistemas apresentam potencial de sincronismo da liberação de N dos resíduos com a demanda do milho (Amado et al., 2000).

Os tratamentos com a presença de leguminosa (V/M) apresentaram maior quantidade de N disponível, em relação aos tratamentos com a presença de gramínea (A/M). O tratamento aveia/milho em plantio direto, na dose de 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N (A/M 0 D), apresentou a menor quantidade de N disponível ( $27 \text{ kg ha}^{-1}$

de N), enquanto no tratamento vica/milho (V/M 0 D) esta quantidade aumentou para 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Esta variação pode ser atribuída aos acréscimos de N total e N da fitomassa nos tratamentos com leguminosas. Em média, esta variação foi de 23 kg ha<sup>-1</sup> no sistema de plantio direto, e de 28 kg ha<sup>-1</sup> no sistema de plantio convencional (Tabela 1).

TABELA 1. Nitrogênio disponível ao milho em função de diferentes sistemas de cultura, doses de N mineral e sistemas de preparo de solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Tratamentos	N total no solo <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	N fitomassa <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Relação C/N <sup>2</sup>	N fertilizante (kg ha <sup>-1</sup> )	N disponível <sup>3</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )
A/M 0 D	2551	37	47	0	27
A/M 0 C	2197	40	50	0	42
V/M 0 D	3001	114	14	0	50
V/M 0 C	2501	133	15	0	69
A/M 180 D	3025	42	47	180	123
A/M 180 C	2632	42	50	180	141
V/M 180 D	3553	110	14	180	145
V/M 180 C	3002	131	15	180	169

<sup>1</sup> Lovato (2001); <sup>2</sup> Amado (1997)

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho

Doses de N mineral: 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>

Sistemas de preparo de solo: D = Plantio Direto, C = Preparo Convencional

<sup>3</sup> Obtido pela equação desenvolvida por Amado (1997): N disponível = Nt solo x k<sub>1</sub> + (5,066 + k<sub>2</sub> x N fitomassa - 0,242 x Rel C/N) + k<sub>3</sub> x Dose N fertilizante

As variações na quantidade de N disponível apresentadas na Tabela 1 podem ser explicadas pelo N total do solo, N da fitomassa, relação C/N dos sistemas de cultura e quantidade de N mineral aplicado para cada tratamento. A combinação de todas estas variáveis é que condiciona a quantidade de N disponível. De maneira geral, a relação C/N do tratamento com aveia é maior do que no tratamento com vica. O tratamento com aveia (A/M), no preparo convencional (C) e na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N (0) apresentou a menor quantidade de

N total do solo. A menor quantidade de N da fitomassa ocorreu no tratamento com aveia (A/M), no plantio direto (D) e na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N (0).

Avaliando o N total do solo nos tratamentos com e sem adição de N mineral no milho no décimo terceiro ano de condução deste experimento, Lovato (2001) verificou que o N mineral adicionado foi suficiente para manter ou melhorar as reservas de N total do solo na camada de 0 a 17,5 cm, com exceção do sistema de cultura aveia/milho, quando associado ao preparo convencional, que apresentou uma leve diminuição (80 kg ha<sup>-1</sup> em 13 anos) em relação à quantidade no início do experimento.

A adição de N através da fitomassa deve considerar a espécie. No caso da aveia, esta adição limita-se à reciclagem de N e reflete o potencial de suprimento de N do solo durante a estação de crescimento desta cultura, estimado em 30 kg ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, nos sistemas com consorciação de aveia com leguminosas, além do efeito de reciclagem, ocorre aporte de N oriundo da fixação simbiótica do N<sub>2</sub> atmosférico pelas leguminosas (Amado et al. 2000).

A relação C/N do tratamento com gramínea apresentou valores entre 47 e 50 e para o tratamento com leguminosa a mesma relação ficou entre 14 e 15. Como a relação C/N dos materiais em decomposição indica qual o destino imediato do N dos resíduos orgânicos, no caso das leguminosas ocorre rápida liberação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, enquanto nas gramíneas ocorre uma imobilização temporária do N pelos microorganismos, para ser absorvido pelas plantas posteriormente. Segundo Amado (1997) e Amado et al. (2000), a velocidade de liberação do N dos resíduos, em ambos sistemas de preparo, foi inversamente proporcional à relação C/N.

Embora grande quantidade de N possa existir na parte aérea das culturas de cobertura, a real quantidade de N que será aproveitada pela cultura em sucessão irá depender do sincronismo entre a decomposição da fitomassa e a taxa de demanda da cultura econômica. Portanto, a estimativa da quantidade de N disponibilizada pelas leguminosas é fundamental para que a quantidade de N a ser completada via fertilizante mineral seja determinada, seguindo critérios de produtividade, retorno econômico e preservação ambiental. Sob o prisma da agricultura sustentável, o desafio no manejo do N consiste em aumentar a quantidade de N absorvido pelas culturas e diminuir, ao mesmo tempo, a quantidade de N perdido do sistema solo-planta (Amado et al., 2000).

A aplicação de adubação nitrogenada em cobertura promoveu acréscimos no N disponível. A estimativa da quantidade de N da adubação mineral disponível ao milho foi obtida pelo produto entre o coeficiente de adubação nitrogenada e a dose de N mineral aplicado, sendo o mesmo de 50%. Considerou-se este valor com base nos resultados deste experimento (Amado, 1997; Amado & Mielniczuk, 2000), onde não foi possível constatar o efeito estatístico de sistemas de preparo e culturas sobre a eficiência da adubação nitrogenada utilizada. No entanto, este coeficiente depende das condições de manejo, clima, solo, cultura e outros, devendo a estimativa ser feita em condições regionais, além de considerar variações de ano para ano.

No segundo ano de avaliação, visando caracterizar a resposta dos parâmetros analisados em níveis intermediários de nitrogênio disponível ao milho, optou-se por trabalhar com quatro doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N), ao invés de duas doses, como no ano anterior (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N). Além disso, buscando uma nova combinação de disponibilidade de N, incluiu-se o



tratamento aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C), pois, devido à consorciação de gramínea e leguminosa, o mesmo proporciona maior quantidade de N disponível e relação C/N intermediária entre gramínea e leguminosa. Porém, entre os preparos de solo (plantio direto e preparo convencional), optou-se em realizar avaliações somente no sistema de plantio direto.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de N disponível e N absorvido pelo milho aos 65 DAE (floração plena, período de máxima absorção) em diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral. Observa-se que os tratamentos com a presença de gramínea (A/M) foram os que apresentaram a menor quantidade de N disponível e absorvido, variando entre 27 e 123 kg ha<sup>-1</sup>, e entre 29 e 214 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A magnitude destes valores pode ser atribuída à menor quantidade de N total no solo e N na fitomassa, e à maior relação C/N. Nos tratamentos com a presença de leguminosa (V/M) a quantidade de N disponível variou entre 50 e 145 kg ha<sup>-1</sup>, e ocorreram os maiores valores de N absorvido, ficando na faixa entre 75 e 245 kg ha<sup>-1</sup>. Mas, os tratamentos com a consorciação de gramíneas e leguminosas (A+V/M+C) apresentaram as maiores quantidades de N disponível, variando entre 55 e 147 kg ha<sup>-1</sup>, e o N absorvido variou entre 43 e 224 kg ha<sup>-1</sup>. Esta superioridade nos tratamentos com a presença de leguminosa pode ser explicada por uma maior quantidade de N total no solo, de N na fitomassa e pela relação C/N menor em relação ao sistema puro de gramíneas.

O tratamento que apresentou a menor quantidade de N disponível foi aveia/milho na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N (A/M 0), correspondendo a 27 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. O tratamento com gramínea, na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (A/M 60), apresentou valor semelhante aos tratamentos com leguminosas, na dose 0 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> de N (V/M 0 e A+V/M+C 0), com valores entre 50 e 57 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. As diferenças entre o tratamento com gramínea na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (A/M 120) em comparação ao com consorciação na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (A+V/M+C 60) foi de 8 kg ha<sup>-1</sup> N disponível, também na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (AM 180) em comparação com a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (A+V/M+C 120) foi de 6 kg ha<sup>-1</sup> N disponível. Os tratamentos com presença de leguminosa, na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (V/M 180 e A+V/M+C 180), foram os que apresentaram as maiores quantidades de N disponível, estando esta entre 145 e 147 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. A diferença entre estes tratamentos e aqueles com gramínea, na mesma dose de N (A/M 180), foi de 24 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível.

TABELA 2. Nitrogênio disponível e absorvido pelo milho em função de diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

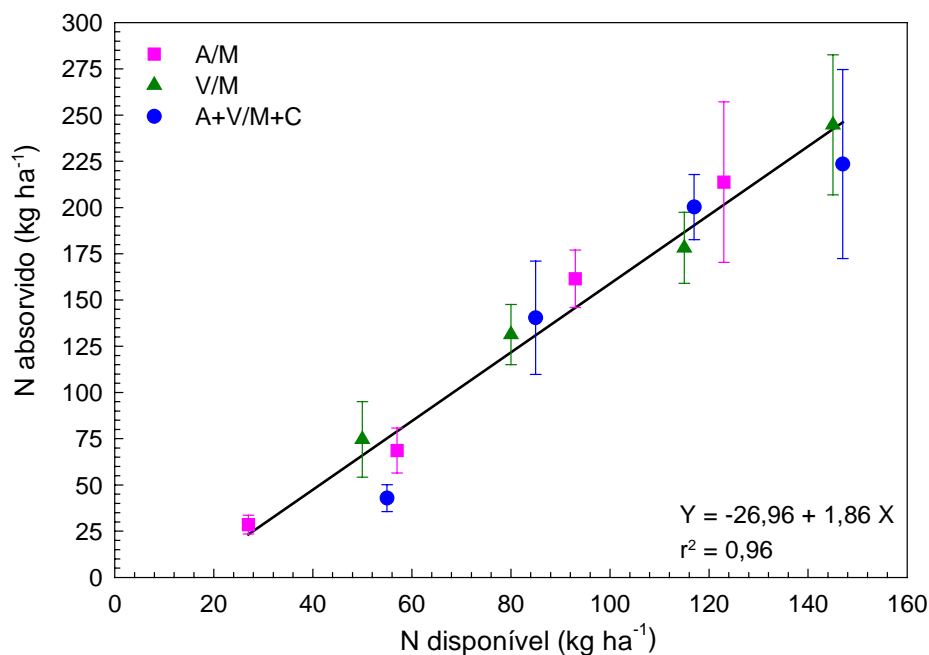
Tratamentos	N total no solo <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	N fitomassa <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Relação C/N <sup>2</sup>	N fertilizante (kg ha <sup>-1</sup> )	N disponível <sup>3</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	N absorvido (kg ha <sup>-1</sup> )
A/M 0	2551	37	47	0	27	29
A/M 60	2551	37	47	60	57	69
A/M 120	3025	42	47	120	93	162
A/M 180	3025	42	47	180	123	214
V/M 0	3001	114	14	0	50	75
V/M 60	3001	114	14	60	80	131
V/M 120	3553	110	14	120	115	178
V/M 180	3553	110	14	180	145	245
A+V/M+C 0	3265	156	30	0	55	43
A+V/M+C 60	3265	156	30	60	85	140
A+V/M+C 120	3719	134	30	120	117	200
A+V/M+C 180	3719	134	30	180	147	224

<sup>1</sup> Lovato (2001); <sup>2</sup> Amado (1997)

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi  
Doses de N mineral: 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>3</sup> Obtido pela equação desenvolvida por Amado (1997): N disponível = Nt solo x k<sub>1</sub> + (5,066 + k<sub>2</sub> x N fitomassa - 0,242 x Rel C/N) + k<sub>3</sub> x Dose N fertilizante

O N absorvido pela parte aérea do milho no estágio de polinização (65 DAE), que corresponde ao período de máxima absorção apresentou alta dependência em relação ao N disponível ( $r^2 = 0,92$ ) conforme se comprova através da análise de regressão apresentada na Figura 3. O N absorvido (Y) em função do N disponível (X) pode ser estimado pela equação  $Y = -26,96 + 1,86 X$ . A forte relação existente entre o N disponível estimado e o N absorvido pelo milho, indica que o modelo de estimação do N disponível adotado, apesar de simples, demonstra ser de utilidade e com relativa segurança, como foi relatado por Fernandes (1998). No entanto, em seu trabalho, com avaliação realizada no período de floração, a inclinação da reta foi aproximadamente igual a 1,



demonstrando que para cada kg de N disponível estimado ocorre a absorção de 1 kg de N na fitomassa.

FIGURA 3. Relação entre o N absorvido e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), no estágio de polinização (65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

As variações na quantidade de N disponível, apresentadas na Tabela 2, podem ser atribuídas aos mesmos fatores caracterizados na Tabela 1. Observa-se que a relação C/N nos tratamentos com aveia foi maior do que nos tratamentos com vica, e a consorciação apresentou uma relação C/N intermediária e mais equilibrada. Os tratamentos com aveia (A/M) apresentaram a menor quantidade de N total no solo e de N na fitomassa, seguidos dos tratamentos com vica (V/M), sendo que os tratamentos com aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) apresentaram a maior quantidade. A dose de N mineral aplicada nos anos que precederam esta pesquisa influenciou na quantidade de N total no solo e de N na fitomassa, pois as menores quantidades foram encontradas nos tratamentos com dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto que as maiores quantidades ocorreram na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para Lovato (2001) os maiores acúmulos de N total do solo foram obtidos nos sistemas de cultura V/M e A+V/M+C associados ao plantio direto, que aumentaram suas respectivas reservas de N total do solo em 921 e 1087 kg ha<sup>-1</sup>, durante 13 anos, em relação ao sistema A/M associado ao preparo convencional.

Segundo Amado et al. (2000), quando a aveia é utilizada isoladamente, apresenta elevada produção de matéria seca, mas a quantidade de N na fitomassa desta gramínea é inferior a 50% daquela verificada na vica ou na consorciação. Desta maneira, a relação C/N da biomassa da aveia foi superior a 45, valor este que sugere potencial para imobilização de N durante o processo de decomposição de resíduos. Por outro lado, a vica apresentou menor produção de matéria seca e maior quantidade de N na fitomassa entre as espécies avaliadas. Com isto, a relação C/N desta leguminosa resultou em valores inferiores a 15,

sugerindo potencial para rápida mineralização do N dos resíduos. A consorciação de aveia+vica apresentou características interessantes, produzindo uma quantidade de matéria seca tão elevada quanto aquela obtida com o cultivo da aveia isolada e uma acumulação de N na fitomassa semelhante àquela da vica isolada. No entanto, a relação C/N da consorciação aproximou-se de 25, valor este considerado como equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização.

Para Amado et al. (1999) nos sistemas com consorciação de aveia com leguminosas, além do efeito da reciclagem, ocorreu aporte de N oriundo da fixação simbiótica do  $N_2$  atmosférico. Este aporte foi a principal fonte de adição de N ao solo, onde o sistema A+V/M+C adicionou e, ou, reciclou  $842 \text{ kg ha}^{-1}$  a mais do que o sistema A/M, durante o período de nove anos.

A associação de preparos conservacionistas com culturas de cobertura é importante estratégia de melhoria da qualidade do solo. Quando leguminosas são utilizadas, verifica-se incremento na disponibilidade de N para a primeira cultura em sucessão (efeito imediato). Todavia, o uso de leguminosas por vários anos pode se refletir no incremento da capacidade do solo em suprir N (efeito residual) (Amado et al., 1999).

## **2.5. CONCLUSÕES**

O nitrogênio disponível ao milho apresenta diferenças entre sistemas de preparo do solo, sistemas de cultura e doses de N mineral.

Os sistemas de cultura que incluem leguminosas disponibilizam maiores quantidades de N para o milho, em comparação a sistemas com

gramíneas, podendo substituir parcial ou totalmente a adubação nitrogenada mineral, dependendo da expectativa de rendimento desejada.

O sistema de preparo convencional disponibiliza maior quantidade de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) que o sistema de plantio direto.

Nos sistemas de cultura V/M e A+V/M+C ocorrem as maiores absorções de N em relação ao sistema A/M.

Os sistemas de cultura V/M e A+V/M+C são equivalentes em relação ao N disponível ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e diferem do sistema A/M que disponibiliza menor quantidade de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

## **CAPÍTULO III**

### **Efeitos de níveis de nitrogênio disponível sobre o crescimento, rendimento e teor de nitrogênio na cultura do milho**

#### **3.1. RESUMO**

Por ser o nitrogênio o nutriente que mais freqüentemente limita o desenvolvimento e a produção do milho, há necessidade de conhecer sua disponibilidade para entender as respostas da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de N disponível ao milho sobre o rendimento de grãos, a produção de matéria seca aérea (MS), índice de área foliar (IAF) e o teor de N na planta. As avaliações foram feitas em tratamentos constituídos por sistemas de cultura A/M – aveia/milho, V/M – vica/milho e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi, nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. O rendimento de grãos, o teor de N na folha índice, o teor de N na planta, a MS e o IAF do milho apresentaram alta dependência ao teor de N disponível. Rendimentos em torno de 1.400 kg ha<sup>-1</sup> foram obtidos com 30 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, sendo que na faixa de 8.000 kg ha<sup>-1</sup> foram necessários em torno de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. Acréscimos no N disponível ao milho também proporcionam o aumento do teor de N na planta, embora ocorra redução do mesmo com o transcorrer do ciclo da cultura. As diferenças da MS aos 52 DAE

entre os níveis de disponibilidade de N foram menos acentuadas, variando de 1.004 kg ha<sup>-1</sup> com 27 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível a 3.710 kg ha<sup>-1</sup> com 147 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. Já aos 82 DAE, ocorreu a maior diferenciação com variação de 5.000 a 28.000 kg ha<sup>-1</sup> de MS. O IAF máximo foi de 4,41, com disponibilidade de 147 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 65 DAE. Posteriormente, o IAF diminuiu, devido ao processo natural de senescência das folhas. Ao analisar os resultados do IAF, MS, teor de N na planta e rendimento de grãos, observou-se que os tratamentos com menor IAF também foram os que apresentaram menor produção de MS, teor de N na planta e rendimento de grãos, sendo que os mesmos foram diretamente influenciados pelo N disponível.

### **3.2. INTRODUÇÃO**

Os principais fatores associados ao potencial de rendimento das culturas são: quantidade de radiação incidente, eficiência de interceptação da radiação, conversão da radiação interceptada em biomassa vegetal e distribuição eficiente dos fotoassimilados a estruturas de interesse (Andrade et al., 1995).

A quantidade de biomassa produzida pelas culturas pode ser definida através da maneira pela qual são capazes de interceptar a radiação solar e pela sua eficiência na transformação desta energia em matéria seca (Thomas & Fukai, 1995). A eficiência com que o dossel foliar da cultura, crescendo a campo, intercepta e usa a radiação solar é, geralmente, fator limitante da fotossíntese e da produção de matéria seca.

A disponibilidade de nitrogênio pode afetar o crescimento vegetal tanto através da taxa de expansão foliar como pela taxa de assimilação (Tolley-Henry & Raper, 1986). Segundo Mae (1997), a nutrição com nitrogênio eleva não apenas o



total de área foliar por área de solo ocupado (IAF), como o montante de nitrogênio por unidade de área foliar. Entretanto, em condições onde há limitação na disponibilidade de nitrogênio, este recurso terá um maior direcionamento ou para a produção de nova área foliar ou para o aumento da capacidade fotossintética por unidade de área, com investimento de um em detrimento do outro (Sage & Pearcy, 1987).

A ausência de nitrogênio ou o emprego de baixas doses desse elemento, mesmo em solos considerados férteis, resultam em prejuízos significativos no índice de área foliar e no tamanho da espiga de milho, com conseqüente reflexo na produtividade da cultura. Por outro lado, de forma geral, o aporte de nitrogênio no início da cultura (até a sexta folha) proporciona maior número de grãos por espiga e maior aparato fotossintético, culminando na manifestação do potencial genético da planta (Fancelli et al., 2002).

Por ser o nitrogênio o nutriente que mais freqüentemente limita o rendimento do milho, em anos nos quais as condições meteorológicas são favoráveis à cultura, a quantidade de N requerida para maximizar o rendimento de grãos pode alcançar valores superiores a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . Quantidade tão elevada dificilmente será suprida somente pelo solo, havendo necessidade de utilizar outras fontes suplementares desse nutriente. Entre estas, destaca-se a utilização, isolada ou combinada, de adubos minerais, leguminosas e adubos orgânicos (Amado et al., 2002).

Para Amado et al. (1999) embora haja efeito positivo do uso de leguminosas no aumento da disponibilidade de N do solo (efeito residual estimado em 19% de incremento no rendimento no sistema A+V/M+C em relação A/M), os resíduos de leguminosas cultivados imediatamente antes da cultura econômica

(efeito imediato estimado em 46,5% de incremento no sistema V/M em relação a A/M) representam a mais importante fonte de fornecimento de N ao milho

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de N disponível ao milho sobre o rendimento de grãos, a produção de matéria seca aérea, o teor de N na planta e o índice de área foliar.

### 3.3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS, no mesmo experimento caracterizado no Capítulo II.

O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo os métodos de preparo de solo as parcelas principais (15 x 20 m), os sistemas de cultura as sub-parcelas (5 x 20 m) e as doses de N aplicadas em faixas nos sub-blocos (45 x 5 m) (Figura 2).

As avaliações foram realizadas no período de novembro de 2000 a janeiro de 2001, no sistema de plantio direto. Os tratamentos avaliados foram constituídos por sistemas de cultura A/M – aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*), V/M – vica (*Vicia sativa*)/milho e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi (*Vigna unguiculata*), nas doses 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Foram realizadas cinco amostragens para avaliação do índice de área foliar e de matéria seca aérea. As determinações foram feitas aos 52, 65, 74, 82 e 99 dias após a emergência (DAE), correspondendo aos estádios 3 (doze folhas completamente expandidas), 5 (período de polinização), 6 (grãos com aspecto leitoso), 7 (grãos com aspecto pastoso) e 9 (grãos completamente dentados) da escala proposta por Hanway (1963), respectivamente.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da medição da área foliar verde, feita em planímetro ótico, modelo LI 3000 (Licor, Lincon, EUA), em três plantas por repetição, de cada um dos três sistemas de cultura e nas quatro doses de N, totalizando 36 plantas por amostragem.

O IAF de cada amostra foi determinado através da equação:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (2)$$

sendo IAF o índice de área foliar, AF a área foliar verde da amostra (m<sup>2</sup>) e S a área do terreno ocupada pela amostra (m<sup>2</sup>).

Para a determinação da massa de matéria seca aérea (MS) foram utilizadas as mesmas plantas em que se determinou o IAF. O material foi colocado em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de aproximadamente 70°C até atingir peso constante. Estas mesmas amostras serviram para a determinação do teor de N na planta, realizada a partir da análise de tecido vegetal, utilizando o método de Kjeldahl, descrito em Tedesco et al. (1995). Posteriormente, as quantidades de N absorvido na planta foram obtidas multiplicando-se a matéria seca aérea (kg ha<sup>-1</sup>) pelo teor de N na planta.

No estágio de pleno florescimento, caracterizado pela emissão dos estigmas do milho e de polinização (65 DAE, estágio 5), foram coletadas quatro plantas e quatro folhas índice (primeira inferior e oposta à espiga principal) na área útil de cada subparcela, para determinar o teor de N e o rendimento da fitomassa aérea.

O rendimento de grãos foi avaliado mediante a colheita manual em área central de 6,3 m<sup>2</sup> por parcela. As espigas foram debulhadas mecanicamente e os grãos foram pesados e subamostrados, para determinação da umidade. Os resultados foram corrigidos para 13% de umidade.

A estimativa do N disponível para o milho em sistemas de cultura foi baseada em metodologia desenvolvida por Amado (1997), utilizando a equação 1, apresentada no Capítulo II.

Visando atenuar o efeito do déficit hídrico durante o ciclo do milho, foram aplicadas irrigações suplementares durante todo o ciclo, quando a precipitação era insuficiente para atender à demanda hídrica da cultura, utilizando-se um sistema de irrigação por aspersão.

Para a realização da análise de variância (ANOVA) utilizou-se o software estatístico SAS (System Analysis Statistic). Os dados obtidos do teor de N na planta, matéria seca aérea e índice de área foliar foram analisados utilizando medidas repetidas, com delineamento em faixas repetido ao longo do tempo (épocas - DAE). Algumas variáveis apresentaram problemas de heterogeneidade de variância, sendo utilizado o método de mínimos quadrados para se obter a homogeneidade pretendida, onde a ponderação utilizada foi o inverso da variância. Realizou-se análise de variância entre e dentro das variáveis, posteriormente aplicou-se teste de comparações múltiplas, e utilizou-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Realizou-se também análise de regressão entre rendimento de grãos, teor de N na folha índice, teor de N na planta, MS e IAF em relação ao N disponível e rendimento de grãos em relação ao teor de N na folha índice. Os resultados foram analisados pela análise de variância, seguindo metodologia dos modelos lineares (SAS, Carry, N.C.) (Freud et al., 1986).

### 3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1. Rendimento de grãos

O rendimento de grãos apresentou variações em função do N disponível. O menor rendimento ocorreu com 27 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, no tratamento que corresponde ao sistema de cultura aveia/milho, na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (A/M 0), sendo este de 1.425 kg ha<sup>-1</sup>, que corresponde a 50% do rendimento do sistema de cultura com presença de leguminosa, para a mesma dose de N mineral. Com 55 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, tratamentos dos sistemas de cultura aveia+vica/milho+caupi e vica/milho (sistemas com a presença de leguminosa), na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (A+V/M+C 0 e V/M 0), os rendimentos foram de 2.872 e 3.437 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes rendimentos foram semelhantes ao do sistema de cultura aveia/milho (com gramínea), na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (A/M 60), com 57 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, que foi de 3.618 kg ha<sup>-1</sup>. Esta superioridade dos rendimentos de grãos nos sistemas de cultura com a presença de leguminosas se mantiveram, independentemente da dose de N mineral. Os maiores rendimentos de grãos foram obtidos com 117 e 147 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, tratamentos nos sistemas de cultura aveia+vica/milho+caupi, nas doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, respectivamente (A+V/M+C 120 e A+V/M+C 180), com 145 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível no tratamento vica/milho, na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (V/M 180), e com 123 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível no tratamento aveia/milho, na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (A/M 180), com rendimentos entre 7.780 e 8.924 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3 e Apêndice 1).

O rendimento de grãos de milho apresentou alta dependência em relação ao N disponível, conforme se comprova através da análise de regressão

apresentada na Figura 4. Rendimentos em torno de 1.400 kg ha<sup>-1</sup> foram obtidos com 30 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível (tratamento A/M 0) e entre 2.800 e 3.600 kg ha<sup>-1</sup>, com disponibilidade aproximada de 55 kg ha<sup>-1</sup> de N (tratamentos V/M 0, A+V/M+C 0 e AM 60). Rendimentos em torno de 6.000 kg ha<sup>-1</sup> foram alcançados com aproximadamente 85 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível (tratamentos V/M 60, A+V/M+C 60 e A/M 120). No entanto, para se obter rendimentos de grãos na faixa de 8.000 kg ha<sup>-1</sup>, é necessário que seja disponível ao milho em torno de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que é conseguido nos sistemas de cultura com leguminosa, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (tratamentos V/M 120 e A+V/M+C 120), ou sistema de cultura com gramínea na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (tratamento A/M 180).

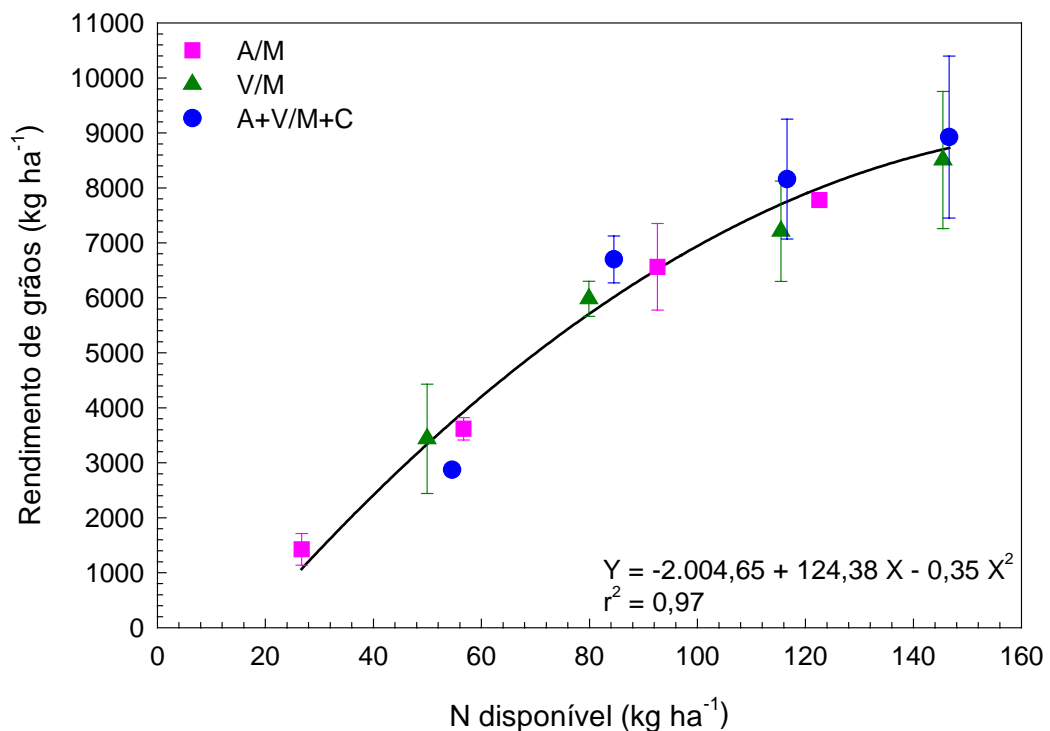


FIGURA 4. Relação entre o rendimento de grãos e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

A dependência do rendimento de grãos ao N disponível também foi demonstrada por Fernandes (1998), que salientou a amplitude de resposta em rendimento de grãos nos tratamentos sem a aplicação de N mineral, especialmente nos sistemas de cultura com leguminosas, em manter um suprimento de N capaz de permitir a obtenção de até 5.560 kg ha<sup>-1</sup> no sistema lablab/milho.

Em avaliações neste mesmo experimento, Lovato (2001) observou que o rendimento de milho no sistema de cultura aveia/milho (AM), independente da adubação nitrogenada, apresentou os menores rendimentos. No entanto, a presença de leguminosas, nos tratamentos sem N mineral, vica/milho (V/M 0) e aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C 0) proporcionou aumentos de rendimento do milho. Com a aplicação de N mineral, observou-se aumento de rendimento em todos os sistemas de cultura, sendo este aumento maior no sistema AM, considerando que os sistemas de cultura V/M 0 e A+V/M+C 0 adicionaram N via fixação simbiótica e, portanto, apresentaram rendimentos superiores em relação ao A/M 0.

Para Teixeira et al. (1994), os sistemas de cultura determinaram diferenças significativas no rendimento de milho nas parcelas sem N. Quando foram aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, não houve diferença significativa no rendimento de milho entre os sistemas de cultura, indicando que o efeito observado sem aplicação de N foi devido à maior ou menor capacidade dos sistemas em suprir N ao milho. Os sistemas de cultura supriram N ao milho em quantidade que, mesmo sem adubação nitrogenada, foi suficiente para produzir 25 a 106% do rendimento máximo obtido com aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, em solo descoberto e após siratro, respectivamente.

O rendimento de grãos apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura versus doses de N mineral (Apêndice 2). Para a comparação entre sistemas de cultura as médias são apresentadas na Tabela 3, onde nas doses 0, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o rendimento de grãos não diferiu entre os sistemas de cultura. Na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o sistema de cultura A/M se mostrou inferior, o sistema de cultura A+V/M+C se mostrou superior, enquanto que o sistema de cultura V/M se mostrou como intermediário, sem diferir dos demais. Portanto, somente na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral os sistemas de cultura com a presença de leguminosas (V/M e A+V/M+C) teve influência sobre o rendimento de grãos, alcançando rendimento em torno de 6.000 kg ha<sup>-1</sup>, ao invés dos 3.600 kg ha<sup>-1</sup> obtidos no sistema de cultura com gramíneas (A/M). Nas demais doses de N mineral aplicadas, mesmo não apresentando diferenças significativas, os tratamentos com a presença de gramínea (A/M) foram sempre inferiores aos demais, comprovando os benefícios do uso de leguminosas.

TABELA 3. Rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) de milho sob três sistemas de cultura e quatro doses de N mineral. Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )		
	A/M	V/M	A+V/M+C
180	7.780 ± 33 <sup>A a</sup>	8.507 ± 721 <sup>A a</sup>	8.924 ± 850 <sup>A a</sup>
120	6.565 ± 456 <sup>A a</sup>	7.212 ± 527 <sup>A a</sup>	8.158 ± 629 <sup>A a</sup>
60	3.618 ± 117 <sup>B a</sup>	5.982 ± 183 <sup>AB ab</sup>	6.699 ± 247 <sup>A b</sup>
0	1.425 ± 167 <sup>B a</sup>	3.437 ± 574 <sup>B a</sup>	2.872 ± 60 <sup>B a</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi

Resultados similares, neste mesmo projeto, foram obtidos por Amado et al. (2000), onde o efeito de sistemas de cultura no rendimento do milho foi anulado pela utilização da dose mais elevada de N mineral (180 kg ha<sup>-1</sup>). Na



ausência de adubação nitrogenada, o maior rendimento foi obtido com o sistema V/M, seguido do sistema A+V/M+C, enquanto que o sistema A/M apresentou o menor rendimento.

Para Bortolini et al. (2000) o incremento do nível de adubação nitrogenada aumentou linearmente o rendimento de grãos de milho, quando cultivado em sucessão à aveia, seja em cultivo isolado, seja consorciado com ervilhaca. Por outro lado, quando o milho foi cultivado em sucessão à ervilhaca em cultivo isolado, não houve resposta do rendimento de grãos à adubação nitrogenada aplicada no milho. A introdução de ervilhaca em consórcio com aveia diminui a necessidade de adubação nitrogenada para o cultivo do milho em sucessão.

Segundo Da Ros & Aita (1996) o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão à ervilhaca não respondeu à adubação nitrogenada. Por outro lado, quando cultivado sobre resíduos de aveia preta, foram observadas as maiores respostas ao N aplicado no milho. Isto foi atribuído à menor disponibilidade de N no solo após a aveia preta, possivelmente pela imobilização de N ocorrida no início da decomposição de seus resíduos.

Ao analisar as doses de N mineral em função dos sistemas de cultura, percebe-se que no sistema de cultura A/M houve diferenças entre as doses, onde o rendimento de grãos nas doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foi inferior aos demais, não apresentando diferenças entre si, sendo que o rendimento foi superior nas doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não diferindo entre si.

No sistema de cultura V/M a menor média de rendimento ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, ao passo que nas doses de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral a média de rendimento foi superior, não apresentando diferenças

significativas entre si. Porém, o rendimento na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não apresentou diferenças significativas com o rendimento na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. E, no sistema de cultura A+V/M+C a menor média de rendimento também ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, enquanto que nas doses de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral a média de rendimento foi superior, não apresentando diferenças significativas entre si.

Percebe-se que, independentemente do sistema de cultura ter a presença de gramíneas ou de leguminosas, os tratamentos com as doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não diferem entre si, o que possibilita concluir que a dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral seria a melhor recomendada para estes patamares de rendimento, tanto por questões econômicas, como também, ambientais.

#### **3.4.2. Teor de nitrogênio na folha índice**

O teor de N na folha índice é diretamente influenciado pelo teor de N disponível ao milho, conforme pode ser observado através da análise de regressão (Figura 5). O teor de N na folha índice variou entre 1,17 e 1,23% com N disponível entre 27 e 55 kg ha<sup>-1</sup>, envolvendo os tratamentos A/M 0, V/M 0 e A+V/M+C 0. Teores de 1,56 e 1,64% foram obtidos com N disponível de 57 e 85 kg ha<sup>-1</sup>, com os tratamentos A/M 60 e A+V/M+C 60, respectivamente. Com N disponível de 80 kg ha<sup>-1</sup>, no tratamento V/M 60, obteve-se 2,17% de N na folha índice. Com N disponível entre 93 e 117 kg ha<sup>-1</sup> de N, nos tratamentos A/M 120, V/M 120 e A+V/M 120, o teor de N oscilou entre 2,26 e 2,29%. Os maiores teores de N na folha índice, com valores de 2,49 e 2,56% foram obtidos com uma disponibilidade de N variando entre 123 e 147 kg ha<sup>-1</sup> de N, que correspondeu aos tratamentos A/M 180, V/M 180 e A+V/M+C 180 (Apêndice 3).

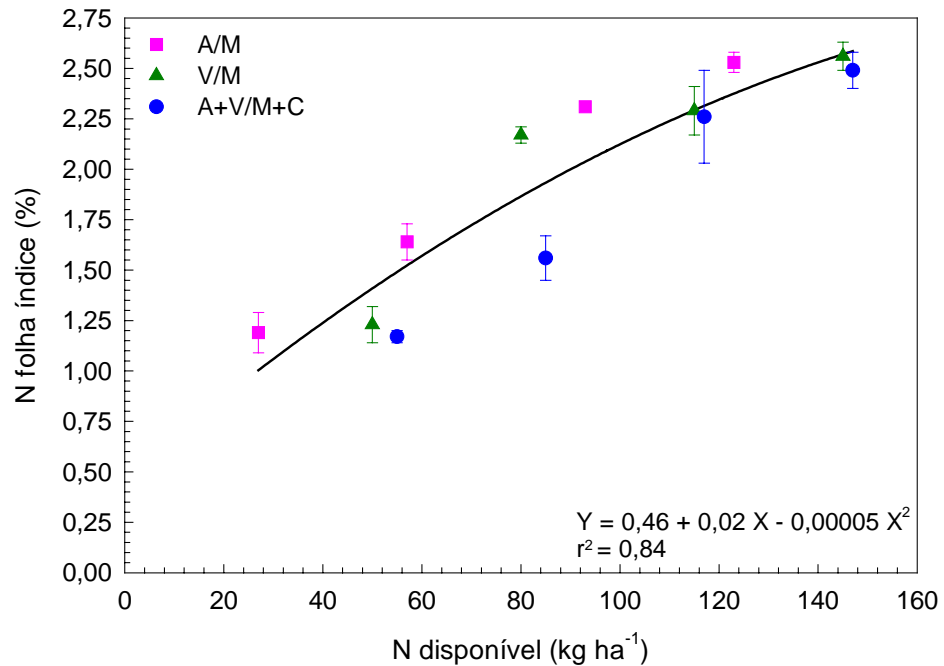


FIGURA 5. Relação entre o teor de N na folha índice e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), incluindo todas as épocas de avaliação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

O sistema de cultura com a presença de gramíneas (A/M) apresentou igual teor de N na folha índice apesar da menor disponibilidade de N, em relação aos sistemas com a presença de leguminosas (V/M e A+V/M+C), podendo ser considerado como mais eficiente neste aspecto.

Considerando que as concentrações de N total na folha índice são indicadores de um adequado suprimento de N para o milho, os tratamentos com disponibilidade de N de até 85 kg ha<sup>-1</sup> estariam sendo insuficientes à cultura. No entanto, os teores de N dos tratamentos com N disponível acima de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N estariam adequadas, se aproximando das concentrações de N total na folha índice encontradas por Ceretta et al., (1994), que variaram de 2,21 a 2,75% na cultura do milho em sucessão.

Para Aita et al. (1994) a concentração de nutrientes na folha índice de milho demonstrou a significativa contribuição das espécies leguminosas de inverno em suprir N ao milho, permitindo uma diferenciação em relação à aveia preta e ao pousio hibernal sem N. Também para Freitas et al. (1996) o teor de N na folha índice foi afetado pelo sistema de cultura, quando não foi aplicado N, sendo superior no sistema aveia+trevo/milho e inferior na aveia/milho, indicando o efeito dos sistemas na disponibilidade de N para o milho.

O teor de N na folha índice apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura (Apêndice 4). Comparando as médias do teor de N na folha índice para os diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral (Tabela 4), observa-se que não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultura nas doses de 0, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Mas, na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o sistema de cultura A+V/M+C apresentou, em média, o menor teor de N na folha índice, o sistema V/M foi superior e o sistema de cultura AM apresentou-se como intermediário, sem diferir dos demais.

TABELA 4. Teor de N na folha índice (%) sob três sistemas de cultura e quatro doses de N mineral. Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de N na folha índice (%)		
	A/M	V/M	A+V/M+C
180	2,53 ± 0,03 <sup>A a</sup>	2,56 ± 0,04 <sup>A a</sup>	2,49 ± 0,05 <sup>A a</sup>
120	2,31 ± 0,01 <sup>A a</sup>	2,29 ± 0,07 <sup>AB a</sup>	2,26 ± 0,13 <sup>A a</sup>
60	1,64 ± 0,05 <sup>B ab</sup>	2,17 ± 0,02 <sup>B b</sup>	1,56 ± 0,06 <sup>B a</sup>
0	1,19 ± 0,06 <sup>C a</sup>	1,23 ± 0,05 <sup>C a</sup>	1,17 ± 0,02 <sup>C a</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi

Analisando a influência dos sistemas de cultura, na média do teor de N na folha índice em função das doses de N mineral, constata-se que ocorreu o

menor teor de N nos sistemas de cultura A/M e A+V/M+C na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N foi intermediário e nas doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreram os maiores teores, não apresentando diferenças significativas entre si. No sistema de cultura V/M o menor teor de N na folha índice ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, sendo intermediários nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, enquanto que na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreu o maior teor, que não diferiu da dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Esta não diferenciação ocorrida nos teores de N na folha índice entre as doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, também ocorreu para o rendimento de grãos, o que comprova que a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral seria adequada para estes patamares de rendimento.

Na Figura 6 é apresentada a análise de regressão do rendimento de grãos de milho em função do teor de N na folha índice, onde se observa que mesmo para teores de N na folha índice similares, os tratamentos com a presença de leguminosas (V/M e A+V/M+C) apresentaram rendimentos superiores ao tratamento com gramínea (AM). Teores de N na folha índice de aproximadamente 1,25% possibilitaram rendimentos de, no máximo, 3.000 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que teores entre 2,20 e 2,60% se correlacionam com rendimentos entre 6.000 e 9.000 kg ha<sup>-1</sup>.

A significância dos coeficientes de determinação entre o teor de N na folha índice e o rendimento de milho indica a dependência do rendimento em relação à disponibilidade de N, sendo possível supor que a influência dos sistemas de cultura sobre o rendimento de milho pode ser atribuída, em grande parte, ao efeito desses sistemas no suprimento de N para essa cultura (Teixeira et al., 1994; Freitas et al., 1996). A partir da equação de regressão para o teor de N

na folha índice, Teixeira et al. (1994) estimaram que, para as condições do experimento, um rendimento máximo de milho entre 7,15 e 7,33 t ha<sup>-1</sup> seria obtido com um teor de N na folha índice de 2,24%.

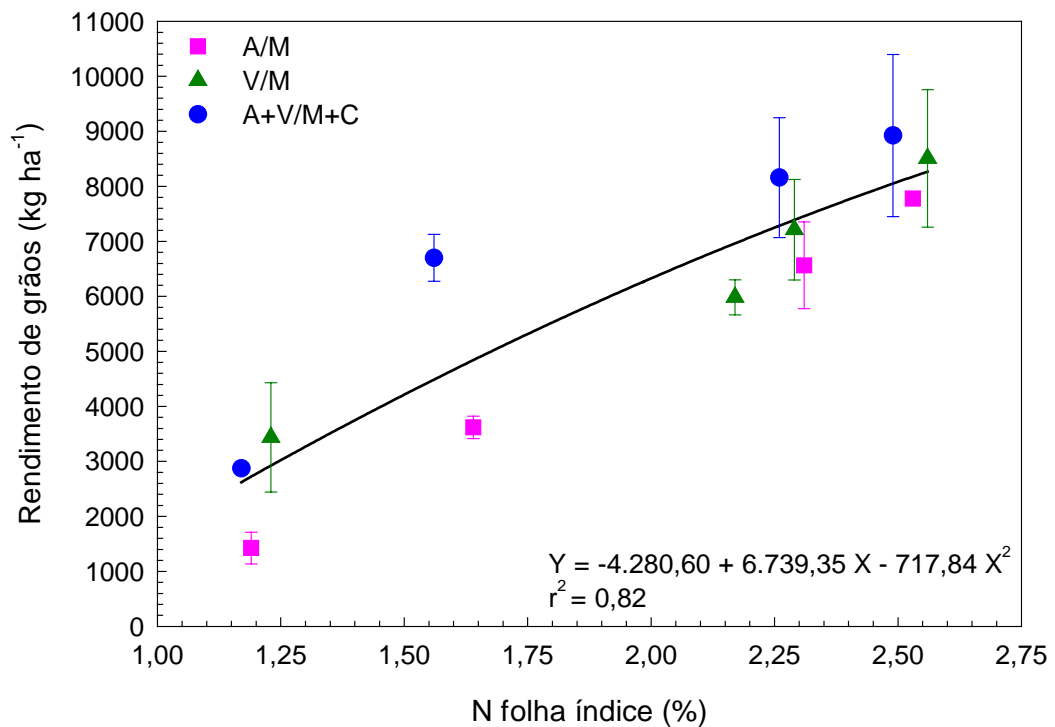


FIGURA 6. Relação entre o rendimento de grãos de milho e o teor de N na folha índice em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Os altos coeficientes de determinação para rendimento de grãos em função do teor de N na folha índice ( $r^2 = 0,82$ ) ou em função do N disponível ao milho ( $r^2 = 0,97$ ) indicam que uma fração significativa da variação do rendimento pode ser explicada pela disponibilidade de N, sendo esta dependente do sistema de cultura e da dose de N mineral. Mas, devido à maior simplicidade de cálculo e à não necessidade de análises laboratoriais, que demandam custos com materiais e mão-de-obra, a estimativa do rendimento de grãos em função do N disponível ao milho seria mais bem recomendada.

### 3.4.3. Nitrogênio absorvido pelo milho

O nitrogênio absorvido pela parte aérea do milho em função do N disponível, em quatro estádios da cultura, é apresentado na Figura 7. Observa-se que a maior diferença na quantidade de N absorvido ocorre do estágio de doze folhas (52 DAE - Figura 7a) até o estágio de polinização (65 DAE- Figura 7b), ou seja, do período vegetativo ao reprodutivo. Aos 52 DAE o N absorvido variou entre 12 e 78 kg ha<sup>-1</sup>, e aos 65 DAE variou entre 29 e 245 kg ha<sup>-1</sup>, para uma mesma disponibilidade de N. A partir da máxima absorção de N que ocorreu aos 65 DAE, começa então uma pequena redução na quantidade de N absorvida, variando entre 16 e 222 kg ha<sup>-1</sup> aos 82 DAE (estádio de grão pastoso) e entre 15 e 151 kg ha<sup>-1</sup> aos 99 DAE (estádio de grão dentado).

A menor quantidade de N absorvida ocorreu no sistema de cultura A/M, com absorção entre 12 e 65 kg ha<sup>-1</sup> aos 52 DAE e 29 e 214 kg ha<sup>-1</sup> aos 65 DAE. Nos sistemas com leguminosas (V/M e A+V/M+C) a absorção de N foi maior, ficando entre 25 e 78 kg ha<sup>-1</sup> aos 52 DAE e entre 43 e 245 kg ha<sup>-1</sup> aos 65 DAE.

O rendimento de grãos foi dependente da quantidade de N absorvido pelo milho, conforme pode ser observado através da Figura 8. Com uma absorção de até 75 kg ha<sup>-1</sup> de N, os rendimentos de grãos obtidos foram em torno de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>. Entre os 125 kg ha<sup>-1</sup> e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N absorvido, os rendimentos de grãos oscilaram entre 6.000 e 9.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Aproximadamente 90% do rendimento máximo de grãos de milho (8.031 kg ha<sup>-1</sup>) foram obtidos com 200 kg ha<sup>-1</sup> de N absorvido e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, proporcionados nos tratamentos A+V/M+C 120, V/M 120 e A/M 180. Nestas condições, os sistemas de cultura com a presença de leguminosas, necessitaram de uma menor dose de N mineral, para rendimentos semelhantes.

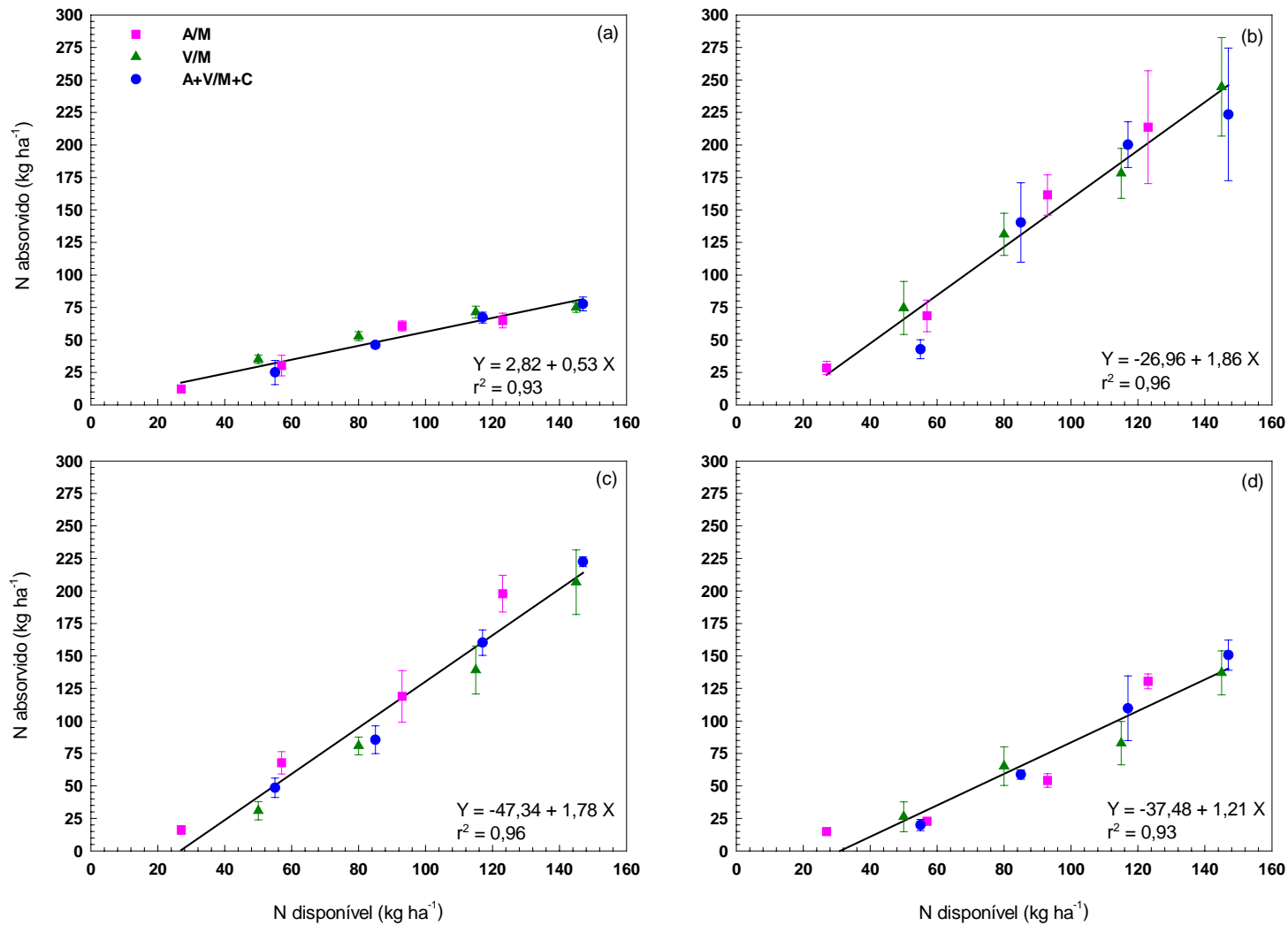


FIGURA 7. Relação entre o N absorvido e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.



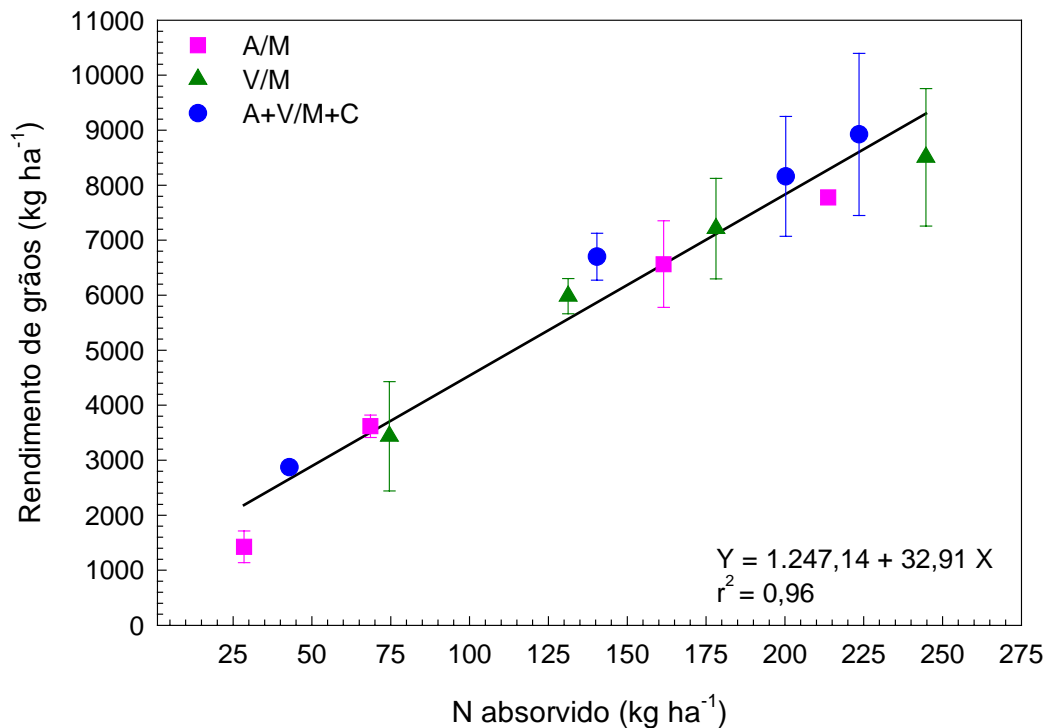


FIGURA 8. Relação entre o rendimento de grãos e o N absorvido pelo milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 65 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Neste caso, haveria necessidade de menor disponibilidade de capital para a aquisição de adubos nitrogenados, possibilitando maior lucro ao agricultor.

#### 3.4.4. Teor de nitrogênio na planta

Na Figura 9 é apresentada a análise de regressão para o teor de N na planta em função do teor de N disponível ao milho, comprovando a dependência destas variáveis, onde acréscimos no N disponível ao milho proporcionam o aumento do teor de N na planta. Independentemente do teor de N disponível, com o transcorrer do ciclo da cultura houve redução do teor de N da planta, sendo que o máximo ocorreu no período vegetativo (Figura 9a). Quando o milho entrou no período reprodutivo ocorreram decréscimos sucessivos (Figura 9b, 9c, 9d e 9e),

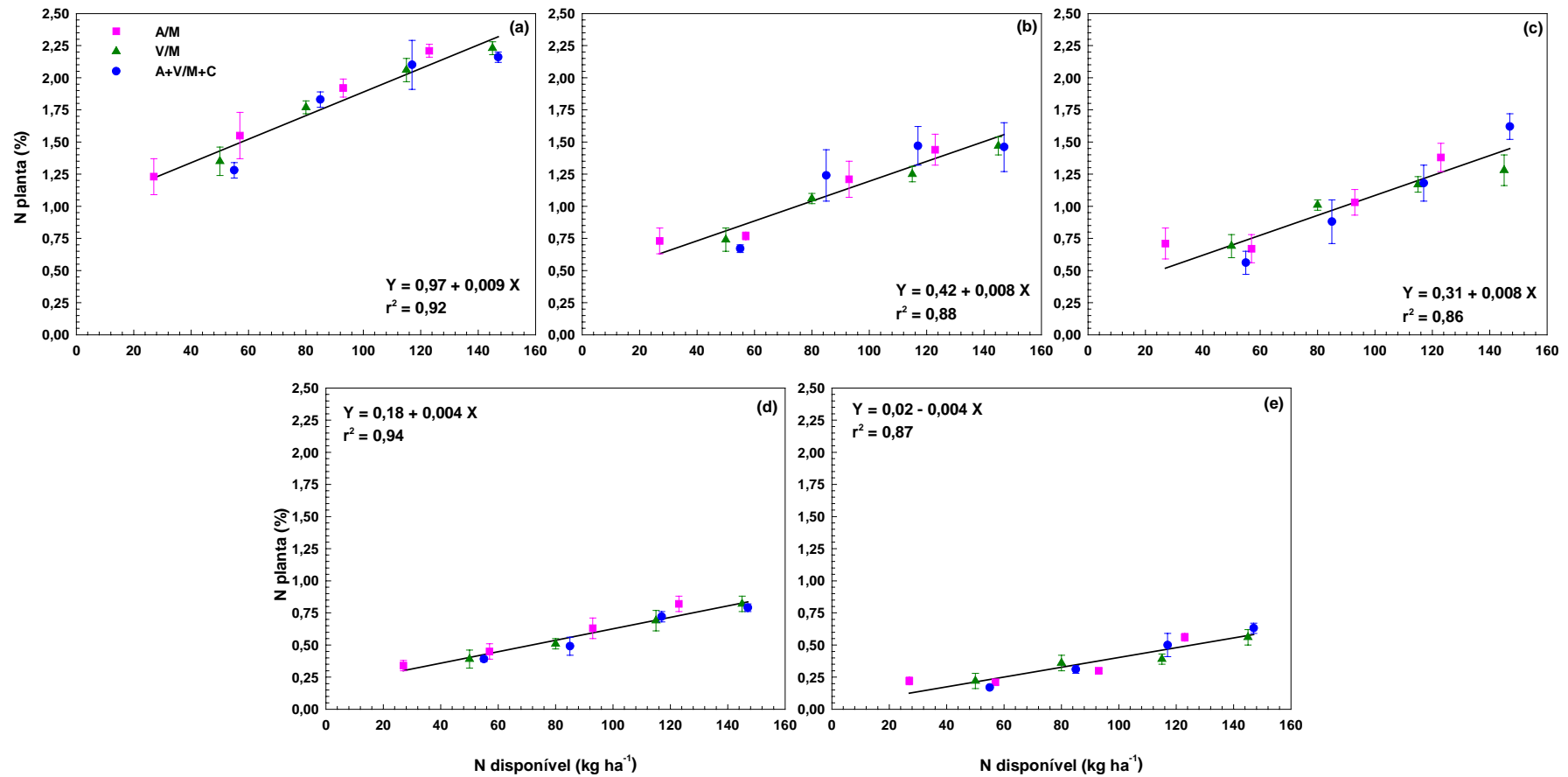


FIGURA 9. Relação entre o teor de N na planta e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 74 DAE (c); 82 DAE (d) e 99 DAE (e). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

pois o N absorvido é primeiramente translocado para as folhas e, posteriormente, destas para os grãos.

Observa-se que os maiores valores de N na planta em função do N disponível ocorreram aos 52 DAE (Figura 9a), quando o milho se encontrava no período vegetativo (estádio de doze folhas expandidas), período este de grande demanda, quando o nitrogênio absorvido é utilizado principalmente para fins estruturais. Constata-se que o teor de N na planta oscilou entre 1,23 e 1,55% para uma disponibilidade de N entre 27 e 57 kg ha<sup>-1</sup> (tratamentos A/M 0, A/M 60, V/M 0 e A+V/M+C) e entre 2,16 e 2,23% para uma disponibilidade de N acima de 120 kg ha<sup>-1</sup> (tratamentos A/M 180, V/M 180 e A+V/M+C 180) (Apêndice 5).

Aos 65 DAE (Figura 9b), no estágio de polinização, para a disponibilidade de N entre 27 e 57 kg ha<sup>-1</sup> os teores de N oscilavam entre 0,67 e 0,77%. No entanto, aos 74 DAE (Figura 9c), no estágio de grão leitoso, para a mesma disponibilidade de N, os valores variaram entre 0,56 e 0,71%, entre 0,34 e 0,45% aos 82 DAE (Figura 9d), no estágio de grão pastoso e entre 0,17 e 0,22% aos 99 DAE (Figura 9e), estágio de grão dentado. Valores máximos foram obtidos com uma disponibilidade de N acima de 120 kg ha<sup>-1</sup>, sendo esta entre 1,44 e 1,47% aos 65 DAE, entre 1,28 e 1,62% aos 74 DAE, entre 0,79 e 0,82% aos 82 DAE e entre 0,56 e 0,63% aos 99 DAE.

Para Coelho et al. (1992), a percentagem média de N na matéria seca total (grãos e palha) variou de 0,67% na testemunha a 1,06% com a aplicação de 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, correspondendo à produção máxima de grãos. Do N extraído pela cultura, 80% (75 kg ha<sup>-1</sup>) encontrava-se, nos grãos, em média, sendo exportado na colheita e apenas 20% (17 kg ha<sup>-1</sup>) na matéria seca da parte aérea.

O teor de N da planta apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura versus doses de N mineral e também para a interação tríplice entre dias versus sistemas de cultura versus doses de N mineral (Apêndice 6).

Analisando-se a comparação das médias do teor de N da planta para os diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral em diferentes dias (Tabela 5), observa-se que, aos 52 DAE, 82 DAE e 99 DAE, não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultura em função das doses de N mineral. Este mesmo comportamento ocorreu aos 65 DAE nas doses 0, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, e aos 74 DAE nas doses de 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Aos 65 DAE na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o sistema de cultura A/M apresentou o menor teor de N na planta e os sistemas de cultura A+V/M+C e V/M apresentaram-se como superiores, sem diferirem entre si. Aos 74 DAE na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o sistema de cultura A/M teve o menor teor de N na planta, o sistema de cultura V/M apresentou-se como superior e o sistema de cultura A+V/M+C foi intermediário, sem diferir significativamente dos demais. Também aos 74 DAE, mas na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o sistema de cultura V/M teve o menor teor de N na planta, o sistema de cultura A+V/M+C apresentou-se como superior e o sistema de cultura A/M foi intermediário, sem diferir significativamente dos demais.

Comparando as médias do teor de N na planta para as diferentes doses de N mineral em função dos dias (Tabela 5), observa-se que, aos 52 DAE, no sistema de cultura A/M, na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N ocorreu o menor teor de N. Na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N foi intermediário e nas doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral os teores de N foram superiores. Nos sistemas de cultura A+V/M+C e V/M, na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, ocorreram os

menores teores de N na planta. A dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foi superior e as doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foram intermediárias, sendo que os teores de N na planta entre as doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não tiveram diferenças significativas entre si.

TABELA 5. Teor de N na planta (%) de milho sob três sistemas de cultura, quatro doses de N mineral e em cinco épocas (DAE). Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Épocas	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de N na planta (%)		
		A/M	V/M	A+V/M+C
52 DAE	180	2,21 ± 0,03 <sup>A a</sup>	2,23 ± 0,03 <sup>A a</sup>	2,16 ± 0,02 <sup>A a</sup>
	120	1,92 ± 0,04 <sup>A a</sup>	2,06 ± 0,05 <sup>AB a</sup>	2,10 ± 0,11 <sup>AB a</sup>
	60	1,55 ± 0,11 <sup>B a</sup>	1,77 ± 0,03 <sup>B a</sup>	1,83 ± 0,03 <sup>B a</sup>
	0	1,23 ± 0,08 <sup>C a</sup>	1,35 ± 0,06 <sup>C a</sup>	1,28 ± 0,03 <sup>C a</sup>
65 DAE	180	1,44 ± 0,07 <sup>A a</sup>	1,47 ± 0,04 <sup>A a</sup>	1,46 ± 0,11 <sup>A a</sup>
	120	1,21 ± 0,08 <sup>A a</sup>	1,25 ± 0,03 <sup>AB a</sup>	1,47 ± 0,09 <sup>A a</sup>
	60	0,77 ± 0,02 <sup>B a</sup>	1,06 ± 0,02 <sup>B b</sup>	1,24 ± 0,11 <sup>A b</sup>
	0	0,73 ± 0,06 <sup>B a</sup>	0,74 ± 0,05 <sup>C a</sup>	0,67 ± 0,02 <sup>B a</sup>
74 DAE	180	1,38 ± 0,07 <sup>A ab</sup>	1,28 ± 0,07 <sup>A a</sup>	1,62 ± 0,06 <sup>A b</sup>
	120	1,03 ± 0,06 <sup>B a</sup>	1,17 ± 0,04 <sup>A a</sup>	1,18 ± 0,08 <sup>B a</sup>
	60	0,67 ± 0,06 <sup>C a</sup>	1,01 ± 0,02 <sup>A b</sup>	0,88 ± 0,10 <sup>B ab</sup>
	0	0,71 ± 0,07 <sup>C a</sup>	0,69 ± 0,05 <sup>B a</sup>	0,56 ± 0,05 <sup>C a</sup>
82 DAE	180	0,82 ± 0,04 <sup>A a</sup>	0,82 ± 0,03 <sup>A a</sup>	0,79 ± 0,02 <sup>A a</sup>
	120	0,63 ± 0,05 <sup>AB a</sup>	0,69 ± 0,05 <sup>AB a</sup>	0,72 ± 0,02 <sup>A a</sup>
	60	0,45 ± 0,04 <sup>B a</sup>	0,51 ± 0,02 <sup>B a</sup>	0,49 ± 0,04 <sup>AB a</sup>
	0	0,34 ± 0,02 <sup>B a</sup>	0,39 ± 0,04 <sup>B a</sup>	0,39 ± 0,01 <sup>B a</sup>
99 DAE	180	0,56 ± 0,02 <sup>A a</sup>	0,56 ± 0,03 <sup>A a</sup>	0,63 ± 0,02 <sup>A a</sup>
	120	0,30 ± 0,01 <sup>AB a</sup>	0,39 ± 0,02 <sup>AB a</sup>	0,50 ± 0,05 <sup>AB a</sup>
	60	0,21 ± 0,01 <sup>B a</sup>	0,36 ± 0,04 <sup>AB a</sup>	0,31 ± 0,02 <sup>BC a</sup>
	0	0,22 ± 0,02 <sup>B a</sup>	0,22 ± 0,03 <sup>B a</sup>	0,17 ± 0,00 <sup>C a</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha, dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi  
DAE = dias após emergência

Aos 65 DAE, no sistema de cultura A/M, nas doses de 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N na planta foi inferior aos demais, não apresentando diferenças entre si. Nas doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N foi

superior, não diferindo entre si. No sistema de cultura A+V/M+C na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreu o menor teor de N na planta, enquanto que nas doses 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N foi superior, não diferindo entre si. No sistema de cultura V/M o menor teor de N na planta ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. O teor de N nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral apresentaram-se como intermediários e na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreu o maior teor, que não diferiu da dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Este mesmo comportamento ocorreu aos 74 DAE no sistema de cultura V/M.

Aos 74 DAE no sistema de cultura A/M os menores teores de N na planta ocorreram nas doses de 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, que não diferiram entre si. O teor de N na planta na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral apresentou-se como intermediário e na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral como superior. No sistema de cultura A+V/M+C o menor teor de N na planta ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foram intermediários nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não diferindo entre si, enquanto que na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreu o maior teor de N na planta.

Aos 82 DAE nos sistemas de cultura A/M e V/M, assim como aos 99 DAE no sistema de cultura A/M nas doses de 0, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N na planta foi inferior aos demais, não apresentando diferenças entre si. Na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor foi superior, porém não diferindo do teor de N da dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Também aos 82 DAE, mas no sistema de cultura A+V/M+C na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N na planta foi inferior aos demais, sendo que nas doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor foi superior, não diferindo entre si. Da mesma forma, o teor de N da

planta nas doses de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foi intermediário, não diferindo das doses de 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Aos 99 DAE no sistema de cultura A+V/M+C o menor teor de N na planta ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foram intermediários nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não diferindo entre si, enquanto que o teor de N na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não diferiu da dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. A dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não diferiu da dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, mas na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreu o maior teor de N na planta. Também aos 99 DAE, mas no sistema de cultura V/M na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor de N na planta foi inferior aos demais, sem diferir entre o teor de N nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o teor foi superior, porém não diferiu do teor de N da dose de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Segundo Argenta (1998), o maior acúmulo de N na planta de milho obtido com o aumento na proporção de ervilhaca como cobertura de solo no consórcio deveu-se à alta quantidade de N acumulada na fitomassa da leguminosa, que é disponibilizada ao solo e aproveitada pelo milho em sucessão. No entanto, a utilização de aveia preta como cobertura de solo provocou imobilização de N, diminuindo sua disponibilidade no solo e absorção pela planta de milho.

#### **3.4.5. Matéria seca aérea**

O acúmulo de matéria seca aérea (MS) em função do N disponível é apresentado na Figura 10 e no Apêndice 7. Observa-se que, na primeira avaliação as diferenças da MS entre os níveis de disponibilidade de N foram

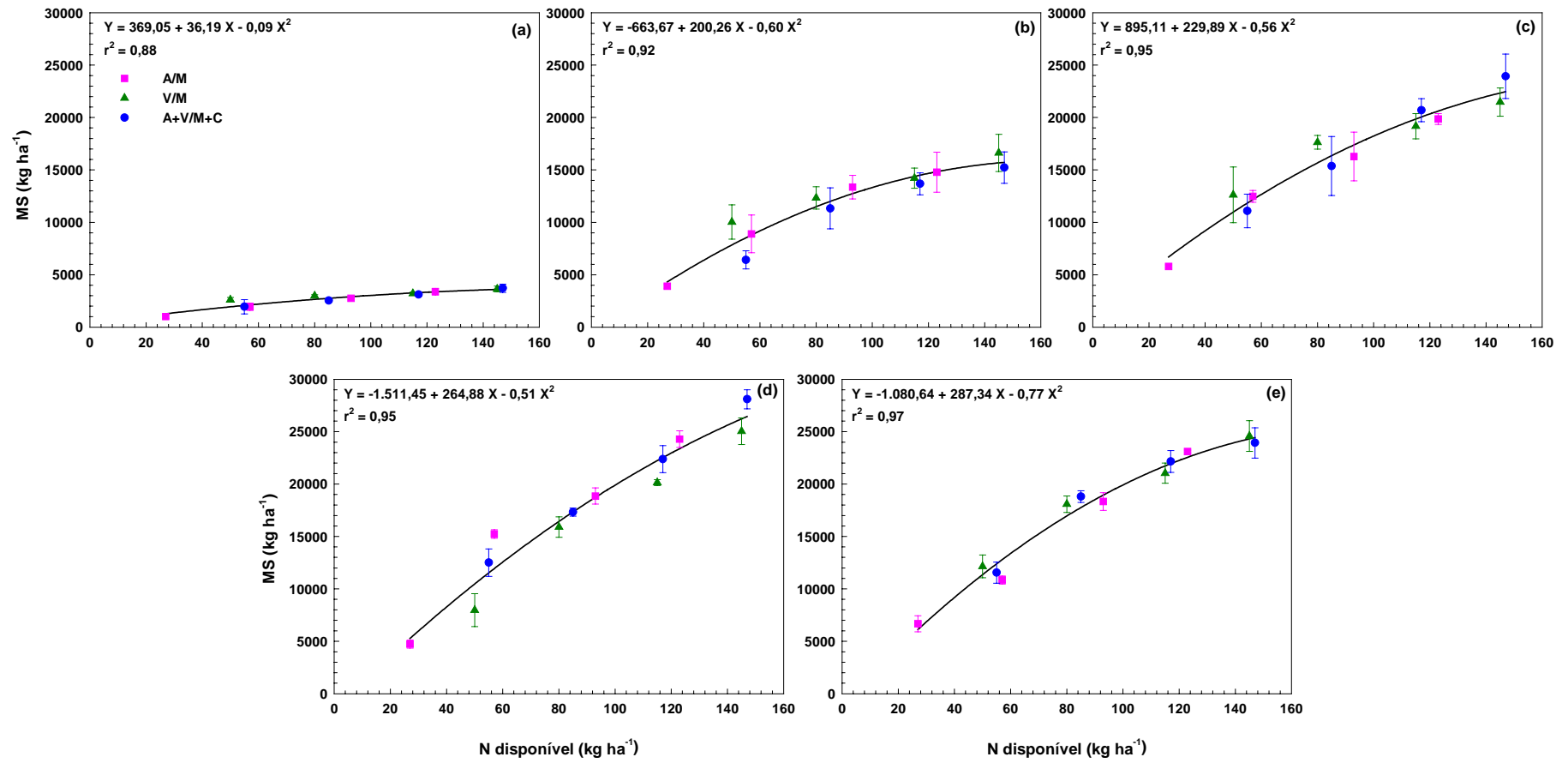


FIGURA 10. Relação entre a matéria seca aérea (MS) e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 74 DAE (c); 82 DAE (d) e 99 DAE (e). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.



menos acentuadas, variando de 1.004 kg ha<sup>-1</sup> de MS com 27 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível (tratamento A/M 0) a 3.710 kg ha<sup>-1</sup> de MS com 147 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível (tratamento V/M 180). A partir desta avaliação, a diferenciação entre os tratamentos tornou-se mais acentuada, devido à maior demanda de N pela planta, com maiores respostas à disponibilidade de N em função de sistemas de culturas e doses de N mineral.

Na Figura 10 é apresentada a análise de regressão para a matéria seca aérea em função do teor de N disponível ao milho, onde se observa o alto grau de dependência destas variáveis, em que acréscimos no N disponível ao milho proporcionam aumento na produção de MS. Aos 52 DAE (Figura 10a), estádios de doze folhas expandidas, com uma amplitude no N disponível de 27 a 147 kg ha<sup>-1</sup> de N, ocorreram pequenos acréscimos na produção de MS. Mas com o desenvolvimento do milho, aos 82 DAE (Figura 10d), estágio de grão pastoso, ocorreu a maior diferenciação na produção de MS, com uma variação de 5.000 a 28.000 kg ha<sup>-1</sup> de MS, para a mesma variação do N disponível. Constata-se que dos 52 DAE aos 82 DAE ocorreram acréscimos na produção de MS para uma mesma quantidade de N disponível, e novamente decrescendo no final do ciclo, aos 99 DAE, estágio de grão dentado (Figura 10e).

O sistema de cultura aveia/milho foi o que apresentou as menores produções de MS, com produção máxima de 5.752 kg ha<sup>-1</sup>, para uma disponibilidade de 27 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 74 DAE (tratamento A/M 0) (Apêndice 7). No entanto, com uma disponibilidade de 123 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral esta produção foi de 24.289 kg ha<sup>-1</sup>, aos 82 DAE (tratamento A/M 180). No sistema de cultura aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) ocorreram as maiores produções de MS, com produção máxima de 28.086 kg ha<sup>-1</sup> para uma disponibilidade de 147 kg ha<sup>-1</sup> de N

aos 82 DAE (tratamento A+V/M+C 180). E, no sistema de cultura vica/milho (V/M) para uma disponibilidade de N de  $145 \text{ kg ha}^{-1}$  a produção máxima de MS foi de  $25.043 \text{ kg ha}^{-1}$ , também aos 82 DAE (tratamento V/M 180).

Também, para Ceretta et al. (1994) a quantidade de MS da parte aérea do milho foi maior quando este foi cultivado em sucessão a leguminosas do que após a vegetação espontânea, embora, o rendimento de MS não tenha variado quando o milho sucedeu leguminosas.

A matéria seca aérea apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura versus doses de N mineral e também para a interação tríplice entre dias versus sistemas de cultura versus doses de N mineral (Apêndice 8).

Analisando-se a comparação das médias de produção da matéria seca aérea para os diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral em diferentes dias (Tabela 6), observa-se que, aos 52 DAE não houve diferenças significativas na MS entre os sistemas de cultura em função das doses de N mineral. Este mesmo comportamento ocorreu aos 65 DAE nas doses  $120$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, e aos 99 DAE na dose de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral. Aos 65 DAE, na dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, o sistema de cultura aveia/milho (A/M) apresentou menor produção de MS, diferindo dos sistemas aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) e vica milho (V/M), que se mostraram superiores e não diferiram entre si. Este comportamento também ocorreu aos 74 DAE nas doses  $0$ ,  $120$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, e aos 99 DAE nas doses  $0$ ,  $60$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral. Aos 65 DAE, na dose de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral houve diferenças significativas entre os sistemas de cultura, quando o sistema de cultura A/M foi o que produziu menor quantidade de MS, o sistema A+V/M+C se apresentou como intermediário e o sistema de cultura V/M produziu a maior quantidade de MS. Este mesmo

comportamento ocorreu aos 74 DAE na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Esta mesma tendência também ocorreu aos 82 DAE, na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, mas o sistema V/M se apresentou como intermediário e o sistema de cultura A+V/M+C produziu a maior quantidade de MS. Também aos 82 DAE, na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o sistema de cultura A/M produziu a menor quantidade de MS e o sistema A+V/M+C a maior quantidade, mas o sistema V/M apresentou-se como intermediário, não diferindo dos demais.

TABELA 6. Matéria seca aérea (MS) de milho sob três sistemas de cultura, quatro doses de N mineral e em cinco épocas (DAE). Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Épocas	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Matéria seca aérea (kg ha <sup>-1</sup> )					
		A/M		V/M		A+V/M+C	
52 DAE	180	3.382 ± 184	<sup>A a</sup>	3.643 ± 155	<sup>A a</sup>	3.710 ± 230	<sup>A a</sup>
	120	2.754 ± 100	<sup>AB a</sup>	3.208 ± 77	<sup>A a</sup>	3.111 ± 86	<sup>A a</sup>
	60	1.942 ± 203	<sup>AB a</sup>	2.986 ± 60	<sup>A a</sup>	2.531 ± 84	<sup>A a</sup>
	0	1.005 ± 111	<sup>B a</sup>	2.618 ± 119	<sup>A a</sup>	1.942 ± 394	<sup>A a</sup>
65 DAE	180	14.781 ± 1.105	<sup>A a</sup>	16.621 ± 1.028	<sup>A a</sup>	15.213 ± 864	<sup>A a</sup>
	120	13.357 ± 653	<sup>A a</sup>	14.219 ± 553	<sup>B a</sup>	13.668 ± 608	<sup>A a</sup>
	60	8.898 ± 33	<sup>B a</sup>	12.328 ± 616	<sup>B b</sup>	11.328 ± 1.130	<sup>B b</sup>
	0	3.901 ± 119	<sup>C a</sup>	10.030 ± 945	<sup>C c</sup>	6.420 ± 500	<sup>C b</sup>
74 DAE	180	19.855 ± 304	<sup>A a</sup>	21.478 ± 778	<sup>A b</sup>	23.928 ± 1.221	<sup>A b</sup>
	120	16.275 ± 1.342	<sup>B a</sup>	19.174 ± 697	<sup>B b</sup>	20.696 ± 631	<sup>B b</sup>
	60	12.478 ± 3	<sup>C a</sup>	17.638 ± 378	<sup>B c</sup>	15.362 ± 1.624	<sup>C b</sup>
	0	5.783 ± 91	<sup>D a</sup>	12.623 ± 1.537	<sup>C b</sup>	11.087 ± 930	<sup>D b</sup>
82 DAE	180	24.290 ± 456	<sup>A a</sup>	25.043 ± 731	<sup>A a</sup>	28.087 ± 526	<sup>A b</sup>
	120	18.855 ± 442	<sup>B a</sup>	20.145 ± 163	<sup>B a</sup>	22.377 ± 745	<sup>B b</sup>
	60	15.232 ± 233	<sup>C a</sup>	15.899 ± 565	<sup>C ab</sup>	17.319 ± 226	<sup>C b</sup>
	0	4.725 ± 225	<sup>D a</sup>	7.971 ± 909	<sup>D b</sup>	12.507 ± 757	<sup>D c</sup>
99 DAE	180	23.098 ± 138	<sup>A a</sup>	24.580 ± 1.468	<sup>A a</sup>	23.924 ± 1.437	<sup>A a</sup>
	120	18.333 ± 841	<sup>B a</sup>	21.038 ± 958	<sup>B b</sup>	22.158 ± 1.046	<sup>AB b</sup>
	60	10.850 ± 381	<sup>C a</sup>	18.084 ± 786	<sup>B b</sup>	18.800 ± 562	<sup>B b</sup>
	0	6.671 ± 773	<sup>C a</sup>	12.148 ± 1.095	<sup>C b</sup>	11.554 ± 1.005	<sup>C b</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha, dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi

DAE = dias após emergência

Constata-se que as maiores variações na produção da matéria seca aérea, devido à interação entre sistemas de cultura e doses de N mineral ao longo do ciclo, ocorreram mais acentuadamente a partir dos 65 DAE (período de

polinização), pois posteriormente a este estágio, as plantas necessitam não apenas investir na arquitetura da planta, mas também na formação de grãos.

Analisando a influência dos sistemas de cultura, na média da produção da matéria seca em função das doses de N mineral, constata-se que ao 52 DAE não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultura A+V/M+C e V/M nas doses de N mineral. Porém, a menor produção ocorreu no sistema de cultura A/M e na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, a maior produção na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e as produções de MS nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral apresentaram-se como intermediárias, não diferindo das demais.

Aos 65 DAE, a menor produção de MS ocorreu nos sistemas de cultura A/M e A+V/M+C e na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foi intermediária na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e superior nas doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não diferindo entre si. Mas, no sistema de cultura V/M, também a menor produção ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e a maior produção na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto que nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral a produção foi intermediária, não diferindo entre si. Este mesmo comportamento ocorreu aos 74 DAE e 99 DAE no sistema de cultura V/M.

Aos 74 DAE nos sistemas de cultura A/M e A+V/M+C, assim como aos 82 DAE nos sistemas de cultura A/M, A+V/M+C e V/M ocorreram diferenças significativas entre todas as doses de N mineral, com acréscimos na produção de MS em função das doses de N mineral, sendo que a menor produção ocorreu com 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e a maior com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Aos 99 DAE, no sistema de cultura A/M a produção de MS mostrou-se inferior nas doses de 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, que não diferiram entre si. Na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral a produção foi intermediária e na dose de 180

kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ela foi superior. No sistema de cultura A+V/M+C, também a menor produção de MS ocorreu na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e a maior produção na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Nas doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral a produção foi intermediária, mas na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral a produção de MS não diferiu daquela na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Segundo Muchow (1990) e Moss (1984) o decréscimo na produção de biomassa é uma resposta à deficiência de N, em função de uma redução na quantidade de radiação interceptada pelo dossel, de um decréscimo na eficiência de utilização da radiação interceptada para produzir matéria seca ou da combinação de ambos fatores.

#### **3.4.6. Índice de área foliar**

O índice de área foliar (IAF) durante o ciclo da cultura em função do N disponível é apresentado na Figura 11 e no Apêndice 9, onde se observa um desenvolvimento diferenciado em função da disponibilidade de N, relacionada com os sistemas de cultura e das doses de N mineral. Através da análise de regressão se comprova a dependência destas variáveis durante todo o ciclo, em que acréscimos no N disponível proporcionam aumentos no IAF.

Na primeira avaliação, realizada aos 52 DAE (Figura 11a), os menores IAF foram de 1,29 com uma disponibilidade de N de 27 kg ha<sup>-1</sup> (tratamento A/M 0), de 2,36 com disponibilidade de N de 55 kg ha<sup>-1</sup> (tratamento A+V/M+C 0) e de 2,56 com disponibilidade de N de 50 kg ha<sup>-1</sup> (tratamento V/M 0). O sistema de cultura aveia/milho (A/M), apresentou valores de IAF inferiores aos demais por proporcionar uma menor disponibilidade de N, devido à não fixação de N pela gramínea, com o milho respondendo somente à adubação mineral.

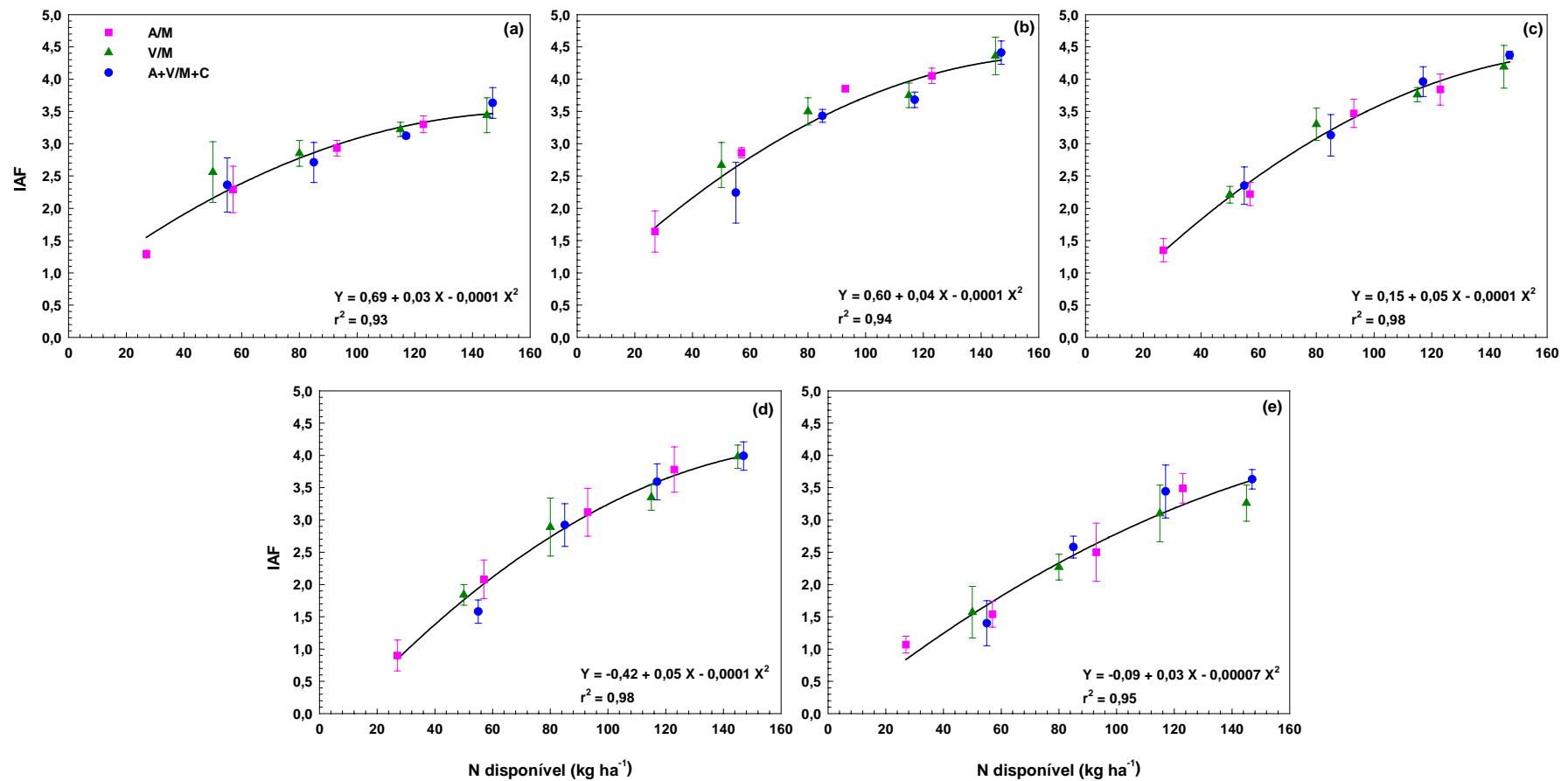


FIGURA 11. Relação entre o índice de área foliar (IAF) e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 74 DAE (c); 82 DAE (d) e 99 DAE (e). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

O IAF máximo, independentemente do N disponível ocorreu aos 65 DAE, no estágio de polinização (Figura 11b). Posteriormente, o mesmo começou a diminuir, devido ao processo natural de senescência das folhas, reduzindo conseqüentemente a interceptação e absorção da radiação solar e a taxa fotossintética. O valor máximo de IAF foi de 4,41, com disponibilidade de 147 kg ha<sup>-1</sup> de N, aos 65 DAE (tratamento A+V/M+C 180).

De acordo com Mae (1997), a nutrição com nitrogênio eleva, não apenas o total de área foliar por área de solo ocupado (IAF), como o montante de nitrogênio por unidade de área foliar. Entretanto, em condições onde há limitação na disponibilidade de nitrogênio, este recurso terá um maior direcionamento ou para a produção de nova área foliar ou para o aumento da capacidade fotossintética por unidade de área, com investimento de um em detrimento do outro (Sage & Pearcy, 1987).

A deficiência de N reduz a área foliar total da planta, aumenta a senescência foliar, reduz a duração e o índice de área foliar. Desse modo, a interceptação luminosa e a fotossíntese que, sob muitas condições dependem da quantidade de área foliar produzida e sua duração, serão também prejudicadas (Jones, 1985). A disponibilidade de nitrogênio pode afetar o crescimento vegetal tanto através da taxa de expansão foliar como pela taxa de assimilação (Tolley-Henry & Raper, 1986).

O índice de área foliar apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura versus doses de N mineral e entre dias versus doses de N mineral (Apêndice 10). As médias do IAF, na comparação entre sistemas de cultura versus doses de N mineral são apresentadas na Tabela 7. O IAF nas doses 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não diferiu para os sistemas de cultura.

Na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o tratamento aveia/milho (A/M) se mostrou inferior, o tratamento aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) foi intermediário, sem diferir dos demais, enquanto que e o tratamento vica/milho (V/M) se mostrou superior. Isto comprova a influência dos sistemas de cultura com leguminosas em disponibilizarem uma maior quantidade de N, favorecendo o aumento do IAF do milho.

TABELA 7. Índice de área foliar (IAF) de milho sob três sistemas de cultura e quatro doses de N mineral. Média de cinco épocas, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de área foliar (IAF)		
	A/M	V/M	A+V/M+C
180	3,71 ± 0,10 <sup>A a</sup>	3,85 ± 0,12 <sup>A a</sup>	4,23 ± 0,08 <sup>A a</sup>
120	3,75 ± 0,08 <sup>A a</sup>	3,47 ± 0,09 <sup>B a</sup>	3,20 ± 0,06 <sup>B a</sup>
60	2,57 ± 0,13 <sup>B a</sup>	2,93 ± 0,14 <sup>C a</sup>	3,16 ± 0,10 <sup>B a</sup>
0	1,25 ± 0,04 <sup>C a</sup>	2,10 ± 0,09 <sup>D b</sup>	1,82 ± 0,12 <sup>C ab</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi

No sistema de cultura A/M ocorreu o menor IAF na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foi intermediário na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e superior nas doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não diferindo entre si. Para o sistema de cultura A+V/M+C ocorreu o menor IAF na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foi intermediário nas doses 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não diferindo entre si e superior na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Portanto, até a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral ocorreram influências significativas na diferenciação do IAF. No sistema de cultura V/M, o IAF diferiu entre todas as doses de N mineral, sendo que o menor IAF ocorreu na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e o maior na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Constata-se, também, que quando os sistemas de cultura aumentam a



disponibilidade de N, associado com o aumento da dose de N mineral, ocorrem os maiores IAF no milho.

Analisando-se a comparação das médias do índice de área foliar para as diferentes doses de N mineral em função dos dias, constata-se que aos 52 DAE a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral apresentou o menor IAF, a dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o IAF apresentou-se como intermediária e as doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o IAF foram superiores, não diferindo entre si. A não diferenciação do IAF entre as doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, pode ser atribuída ao fato das plantas se encontrarem no estágio de doze folhas expandidas. Porém, com o maior desenvolvimento do milho, as doses de N mineral influenciaram significativamente o IAF, quando ocorre maior demanda de N por parte das plantas. Aos 65, 74, 82 e 99 DAE ocorreu a mesma tendência de diferenciação entre as médias do índice de área foliar, quando todas diferiram entre si em função da dose de N mineral, com o IAF inferior na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> e superior na dose 180 kg ha<sup>-1</sup>, comprovando a influência das doses de N mineral sobre o IAF (Tabela 8).

TABELA 8. Índice de área foliar (IAF) de milho sob quatro doses de N mineral em cinco épocas. Média de três sistemas de cultura, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Índice de área foliar (IAF)				
	52 DAE	65 DAE	74 DAE	82 DAE	99 DAE
180	3,39 ± 0,07 <sup>A</sup>	4,18 ± 0,08 <sup>A</sup>	4,33 ± 0,05 <sup>A</sup>	3,96 ± 0,07 <sup>A</sup>	3,53 ± 0,08 <sup>A</sup>
120	3,11 ± 0,03 <sup>A</sup>	3,83 ± 0,03 <sup>B</sup>	3,74 ± 0,07 <sup>B</sup>	3,38 ± 0,09 <sup>B</sup>	2,75 ± 0,14 <sup>B</sup>
60	2,71 ± 0,10 <sup>B</sup>	3,13 ± 0,11 <sup>C</sup>	2,68 ± 0,19 <sup>C</sup>	2,55 ± 0,18 <sup>C</sup>	2,20 ± 0,16 <sup>C</sup>
0	1,34 ± 0,08 <sup>C</sup>	2,14 ± 0,19 <sup>D</sup>	1,95 ± 0,16 <sup>D</sup>	1,55 ± 0,14 <sup>D</sup>	1,15 ± 0,08 <sup>D</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%  
Média ± desvio padrão  
DAE = dias após emergência

A importância da determinação da área foliar das culturas agrícolas é explicada pela estreita correlação entre esta e as taxas fotossintéticas e

transpiratórias das plantas, uma vez que reflete a capacidade da planta em interceptar a radiação solar e efetuar trocas gasosas com o ambiente, constituindo-se assim em importante indicativo da produtividade das culturas (Guimarães et al., 2002). Com o aumento do índice de área foliar há maior disponibilidade de superfície fotossinteticamente ativa, podendo ocorrer um aumento da taxa de produção de maneira correspondente. O valor ótimo para o índice de área foliar em relação à produção de matéria seca, geralmente ocorre quando praticamente toda a radiação incidente é absorvida (Larcher, 2000).

Ao analisar os resultados do IAF, produção de matéria seca aérea e rendimento de grãos, observa-se que os tratamentos com menor IAF também foram os que apresentaram menor produção de MS e menor rendimento de grãos, sendo que os mesmos foram influenciados pela disponibilidade de N. Esta dependência se explica pois com a redução da área foliar, os componentes do rendimento são afetados, em decorrência das alterações provocadas na atividade fisiológica (fonte-demanda) das plantas, refletindo-se na produtividade da cultura (Moura, 1999). Segundo Dourado Neto & Fancelli (2000), o rendimento de grãos aumenta significativamente com incrementos do índice de área foliar (IAF), sendo que a maximização da produção dependerá da população, da capacidade de suporte do meio e do sistema de produção, assim como da área fotossinteticamente ativa.

Assim, os resultados obtidos mostram que a disponibilidade de N afeta o crescimento vegetativo, ocasionando uma variação do IAF. Sendo o índice de área foliar um importante parâmetro relacionado ao processo de interceptação da radiação solar e assimilação de carbono pela cultura, explica-se o fato dos

tratamentos com maior disponibilidade de N apresentarem um maior acúmulo de matéria seca aérea e rendimento de grãos.

### **3.5. CONCLUSÕES**

O rendimento de grãos, a produção de matéria seca (MS) e o índice de área foliar (IAF) do milho são influenciados pela disponibilidade de nitrogênio, sendo que seus efeitos dependem do sistema de cultura e da dose de N mineral.

Sistemas de cultura com leguminosas, independentes da dose de N mineral aplicada, proporcionam maior rendimento de grãos, produção de MS e IAF de milho, em comparação a sistemas com a presença de gramíneas. A aplicação de N mineral, aumenta esses atributos em todos os sistemas de cultura, com efeito maior nos sistemas com gramíneas.

A dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral proporcionou rendimento de grãos satisfatórios nas condições deste experimento e para o patamar de rendimento obtido.

## **CAPÍTULO IV**

### **Teor de nitrogênio foliar, teor de clorofila e taxa de fotossíntese do milho em função do nitrogênio disponível**

#### **4.1. RESUMO**

O milho é uma espécie com rota metabólica do tipo C<sub>4</sub>, que possui alta produtividade, rendimento e eficiência do uso do nitrogênio (N), associado com um alto potencial fotossintético. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de nitrogênio disponível ao milho sobre o teor de N foliar, teor de clorofila e taxa fotossintética. No primeiro ano, foram realizadas avaliações no sistema de plantio direto (D) e no preparo convencional (C), nos sistemas de cultura A/M – aveia/milho e V/M – vica/milho, nas doses de 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. No segundo ano, as avaliações foram realizadas no sistema de plantio direto, nos sistemas de cultura A/M, V/M e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi, nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. O teor de N foliar, em função do N disponível ao milho, apresentou maior dependência nas avaliações realizadas até os 82 DAE. O teor de clorofila total também apresentou relação direta com o teor de N disponível ao milho e o teor de N foliar, sendo que ocorreu uma diminuição do teor de N foliar com o transcorrer do ciclo da cultura, mas com pouca influência sobre o teor de clorofila. O tratamento A/M 0 D, com 27 kg ha<sup>-1</sup>

de N disponível, apresentou a menor taxa de fotossíntese ( $23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), sendo que a maior ( $35,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ocorreu no tratamento V/M 180 D, com  $145 \text{ kg ha}^{-1}$  de N disponível. O tratamento A/M apresentou as menores taxas de fotossíntese, seguido do V/M, com valores intermediários, e do A+V/M+C, que teve as maiores taxas. A taxa de fotossíntese do milho apresentou relação linear com o teor de N disponível no solo. As menores taxas de fotossíntese ocorreram nos tratamentos com menores teores de clorofila total, sendo o inverso verdadeiro. Isto comprova a dependência da taxa de fotossíntese ao teor de clorofila, e de ambos ao teor de N disponível.

#### 4.2. INTRODUÇÃO

O milho é uma espécie tropical com rota metabólica do tipo  $C_4$ , que possui alta produtividade, associada com um alto potencial fotossintético. Suas folhas não apresentam saturação luminosa e possui uma taxa fotossintética máxima de 30 a  $40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Morot-Gaudry & Jolivet, 1984). Por ser uma planta de metabolismo  $C_4$ , tem melhor eficiência do uso do nitrogênio do que outras culturas pertencentes ao metabolismo  $C_3$ . Contudo, em situações onde a disponibilidade de nitrogênio encontra-se limitada, a planta poderá sofrer alterações fisiológicas, principalmente naqueles processos ligados diretamente à fotossíntese.

A elevada produtividade do milho é característica de sua anatomia foliar especializada. Além do tipo de difusão usual do mesófilo, encontrado nas espécies temperadas, o milho apresenta uma camada especializada de células maiores ao redor dos feixes vasculares. Estas células do feixe da bainha possuem cloroplastos maiores sem grana. Nas folhas de milho esta característica

anatômica possui um papel essencial na compartimentalização espacial provinda das reações de fixação de CO<sub>2</sub> (Morot-Gaudry & Jolivet, 1984).

Existe uma forte relação entre o conteúdo de nitrogênio e a capacidade fotossintética de uma folha, pois a fotossíntese necessita de uma quantidade substancial de proteínas para o complexo de pigmentos absorver luz e ser capaz de realizar os processos fotoquímicos e reduzir enzimaticamente CO<sub>2</sub> a carboidratos (Evans, 1989). A enzima Rubisco, responsável pela fixação do CO<sub>2</sub> no ciclo de Benson-Calvin, tem relação linear com o conteúdo de nitrogênio, constituindo aproximadamente 40 a 50% da proteína solúvel da folha (Field & Mooney, 1986; Evans, 1989a). Para Makino et al. (1984) deficiências nutricionais de nitrogênio podem afetar a fotossíntese das plantas diretamente, através de efeitos na síntese e atividade da enzima responsável pela assimilação do CO<sub>2</sub> (Rubisco).

Segundo Sinclair & Gardner (1998), as conseqüências de um suprimento inadequado de N podem inibir o desenvolvimento, levando à redução da interceptação, um decréscimo na atividade fotossintética foliar e, portanto, à menor eficiência de uso da radiação.

A taxa fotossintética de uma folha não depende somente da quantidade de fótons incidente, mas também da capacidade da folha em absorver esses fótons e fixar carbono (Schieving et al, 1992). Geralmente, folhas com grande quantidade de nitrogênio por unidade de área, possuem maior capacidade fotossintética do que folhas com baixa quantidade de N, sendo os conteúdos de N e Rubisco por unidade de área afetados pelo suprimento de N. Elevadas quantidades de N resultam em aumento de N e Rubisco por unidade de área em

folhas em desenvolvimento (Evans, 1989a; Field e Mooney, 1983; 1986; Mae, 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de nitrogênio disponível ao milho, sobre o teor de N foliar, teor de clorofila e taxa fotossintética do milho.

### 4.3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS, no mesmo experimento caracterizado no Capítulo II.

O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo os métodos de preparo de solo as parcelas principais (15 x 20 m), os sistemas de cultura as sub-parcelas (5 x 20 m) e as doses de N aplicadas em faixas nos sub-blocos. No primeiro ano (safra 1999/2000) as doses de N foram aplicadas em faixas de 45 x 10 m e, no segundo ano (safra em 2000/2001) em faixas de 45 x 5 m.

No primeiro ano, foram realizadas avaliações no sistema de plantio direto (D) e no preparo convencional (C). Os tratamentos avaliados foram constituídos pelos sistemas de cultura A/M – aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) e V/M – vica (*Vicia sativa*)/milho, nas doses de 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (Figura 1).

No segundo ano, as avaliações foram realizadas nas parcelas principais do sistema de plantio direto (D), nos tratamentos constituídos pelos sistemas de cultura A/M – aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*), V/M – vica

(*Vicia sativa*)/milho e A+V/M+C – aveia+vica/milho+caupi (*Vigna unguiculata*), nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (Figura 2).

As determinações da taxa fotossintética líquida ( $A_{CO_2}$ ), teor de N na folha e teor de clorofila foram feitas em uma folha por planta, sendo esta completamente expandida e exposta à radiação solar, geralmente a terceira folha a partir do estrato superior da planta. Foram efetuadas 72 determinações por data de avaliação, em ambos os anos. No primeiro ano, foram feitas aos 60 DAE, correspondendo ao estágio 4 (dezesesseis folhas expandidas e pendoamento) da escala proposta por Hanway (1963), representando três blocos, dois métodos de preparo do solo, dois sistemas de cultura e dois níveis de N, com três repetições. No segundo ano, as determinações representavam três blocos, três sistemas de cultura e quatro níveis de N, com duas repetições. As amostragens foram realizadas aos 52, 65, 82 e 99 DAE, correspondendo aos estádios 3 (doze folhas completamente expandidas), 5 (período de polinização), 7 (grãos com aspecto pastoso) e 9 (grãos completamente dentados) da escala de Hanway (1963), respectivamente.

As medições da taxa fotossintética líquida ( $A_{CO_2}$ ) foram realizadas aos 52 e 82 DAE, em um analisador de gases infra-vermelho – IRGA, portátil (LI-6400, Licor Inc., Lincoln, NE), no terço mediano da folha. Como não houve alteração significativa na  $A_{CO_2}$ , comparando medidas tomadas em folhas intactas e destacadas, as folhas foram coletadas para que fossem feitas as medições. A quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) recebida pela folha no momento da medição, fixada em  $1.800 \pm 5 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , foi controlada através de uma fonte artificial (6400 - 02 LED, Licor Inc., Lincoln, NE) acoplada à câmara de medição do aparelho. A concentração de  $CO_2$  dentro da câmara de



medição foi controlada através da utilização de ampolas de CO<sub>2</sub> (6.400 – 01, injetor de CO<sub>2</sub>, Licor Inc., Lincoln, NE) fixada em 360 ± 1 ppm de CO<sub>2</sub>. A temperatura do ar no interior da câmara e a umidade relativa seguiram as variações do ambiente. As medições foram realizadas no período entre 10 e 14 h, em dias de céu limpo, com a finalidade de se obter maior rapidez na estabilização dos parâmetros a serem mensurados.

Para a determinação do teor de clorofila foram coletados seis discos foliares de 1 cm de diâmetro (0,7854 cm<sup>2</sup>) no terço mediano da folha, os quais foram colocados em vidros envoltos em papel alumínio contendo 20 ml de álcool 96° (P.A.), e armazenados por 4 dias em local fresco, seco e escuro, para se processar a extração total da clorofila. As coletas foram feitas aos 52, 65, 82 e 99 DAE. Após a extração, foi realizada a leitura de absortância em espectrofotômetro (Beckman, DU – 65, Fullerton, CA.), nos comprimentos de onda de 649 e 665 nm. Posteriormente às leituras espectrofotométricas, os discos foliares foram secos em estufa a 65°C até peso constante e, posteriormente, pesados em balança analítica, para obtenção do peso específico do material (g m<sup>-2</sup>).

A concentração de clorofila (µg ml<sup>-1</sup>) do extrato foi obtida através das equações de Wintermans e De Mots (1965):

$$Cl_a (\mu\text{g ml}^{-1} \text{ solução}) = 13,70 A_{665} - 5,76 A_{649} \quad (3)$$

$$Cl_b (\mu\text{g ml}^{-1} \text{ solução}) = 25,80 A_{649} - 7,60 A_{665} \quad (4)$$

onde Cl<sub>a</sub> e Cl<sub>b</sub> são, respectivamente, as concentrações de clorofila a e b, em µg ml<sup>-1</sup>, e A<sub>665</sub> e A<sub>649</sub> são as absortâncias em 665 e 649 nm, respectivamente.

A concentração de clorofila (C<sub>clor</sub>), em mg m<sup>-2</sup> de área foliar, foi calculada através da equação:

$$C_{\text{clor}} (\text{mg m}^{-2}) = Cl (a \text{ ou } b) V_{\text{ext}} 10^{-3} / A 10^{-4} \quad (5)$$

onde  $Cl$  é a concentração de clorofila no extrato, em  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ,  $V_{\text{ext}}$  é o volume do extrato, em ml e  $A$  é área foliar dos discos, em  $\text{cm}^2$ .

A determinação do teor de N nas folhas foi feita a partir da análise de tecido vegetal, utilizando o método de Kjeldahl, descrito em Tedesco et al. (1995). A amostra em que foi determinado o N foliar foi composta pelas mesmas folhas em que foram realizadas as determinações do teor de clorofila, coletadas aos 52, 65, 82 e 99 DAE. Aos 52 e 82 DAE as mesmas folhas também foram utilizadas na determinação da taxa fotossintética líquida.

A estimativa do N disponível para o milho em sistemas de cultura foi baseada em metodologia desenvolvida por Amado (1997), utilizando a equação 1, apresentada no Capítulo II.

Visando atenuar o efeito do déficit hídrico durante o ciclo do milho, foram aplicadas irrigações suplementares, utilizando-se um sistema de irrigação por aspersão. As irrigações foram efetuadas durante todo o ciclo, quando a precipitação era insuficiente para atender à demanda hídrica da cultura, e sempre no dia anterior a cada medição, para evitar ocorrência de déficit hídrico nas plantas.

Para a realização da análise de variância (ANOVA) utilizou-se o software estatístico SAS (System Analysis Statistic). Os dados obtidos do teor de N na folha, teor de clorofila e taxa de fotossíntese foram analisados utilizando medidas repetidas, com delineamento em faixas repetido ao longo do tempo (épocas - DAE). Algumas variáveis apresentaram problemas de heterogeneidade de variância, sendo utilizado o método de mínimos quadrados para se obter a homogeneidade pretendida, onde a ponderação utilizada foi o inverso da variância. Realizou-se análise de variância entre e dentro das variáveis,

posteriormente aplicou-se teste de comparações múltiplas, e utilizou-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Realizou-se também análise de regressão entre o teor de N na folha, teor de clorofila e taxa fotossintética em relação ao N disponível, teor de clorofila em relação ao teor de N na folha e taxa de fotossíntese em relação ao teor de clorofila. Os resultados foram analisados pela análise de variância, seguindo metodologia dos modelos lineares (SAS, Carry, N.C.) (Freud et al., 1986).

## **4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.4.1 Teor de nitrogênio foliar**

O teor de N foliar em função do N disponível ao milho, em quatro estádios da cultura, é apresentado na Figura 12 e no Apêndice 11, onde se observa uma maior dependência do N foliar nas avaliações realizadas até os 82 DAE, estágio de grão pastoso (Figura 12c). Na avaliação realizada aos 99 DAE, estágio de grão dentado (Figura 12d), ocorreu uma redução do N foliar para uma mesma disponibilidade de N em comparação aos estádios anteriores, pois as folhas estariam dependendo pouco do N disponível ao milho, devido à absorção ser pequena neste estágio e o N foliar absorvido estar sendo translocado para o grão, e também ao processo natural de senescência das folhas.

Decréscimos nos teores de N nas folhas e nos colmos, a partir do estágio de enchimento de grãos, também foram descritos por Vasconcellos et al. (1998). Estes decréscimos, segundo o autor, caracterizam a remobilização de nutrientes para os grãos.

O teor de N foliar oscilou entre 1,36 e 1,75% para uma disponibilidade entre 27 e 55 kg ha<sup>-1</sup>, envolvendo os tratamentos A/M 0, V/M 0 e A+V/M+V, nas

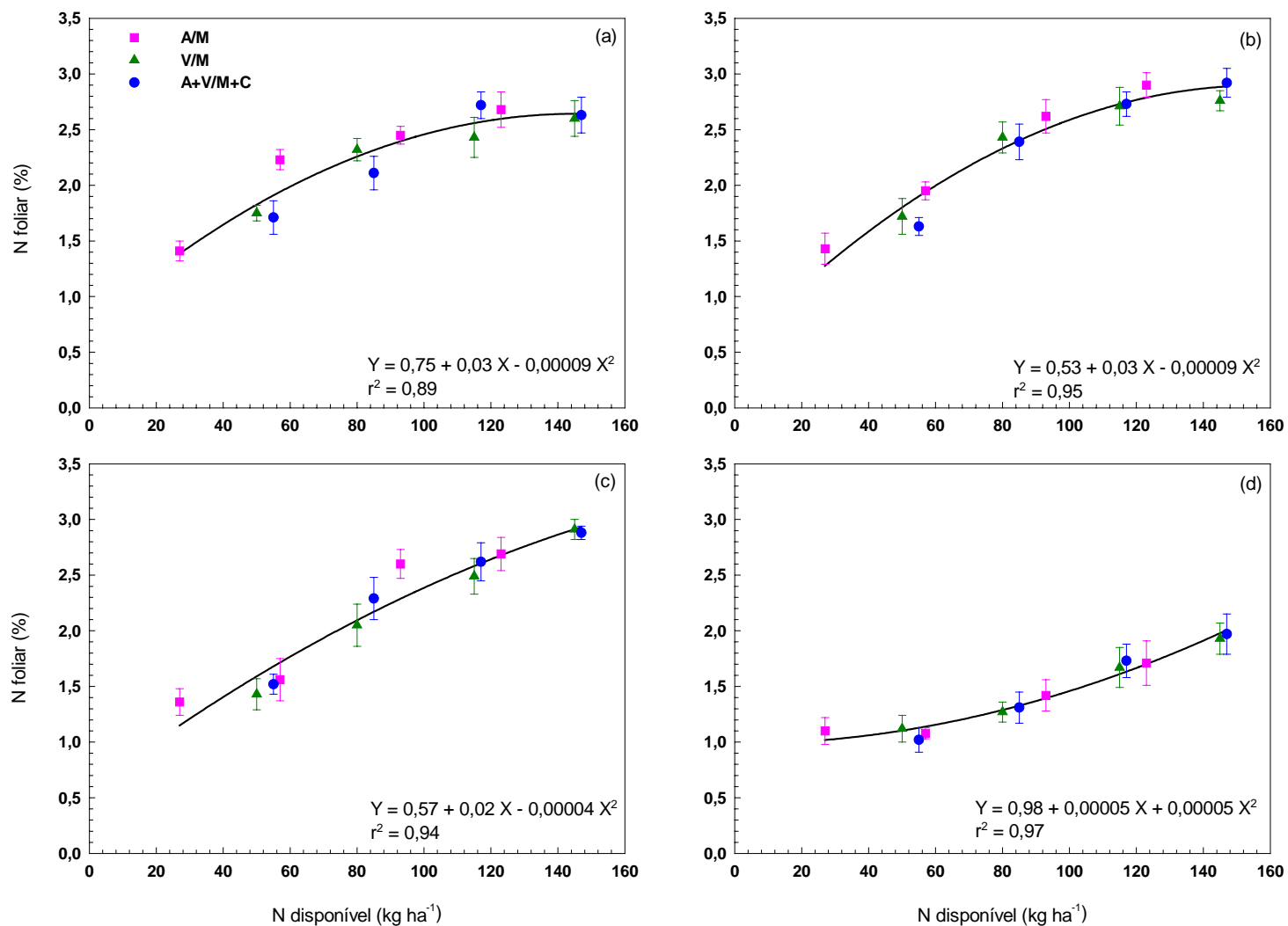


FIGURA 12. Relação entre o teor de N foliar e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

avaliações realizadas aos 52, 65 e 82 DAE (Figuras 12a, 12b e 12c). Neste mesmo período, os teores de N foliar foram entre 2,11 e 2,92%, nos demais tratamentos, com exceção do tratamento A/M 60, aos 65 e 82 DAE, que apresentou 1,95% e 1,56%, respectivamente. Constatou-se também, que as diferenças no teor de N foliar para disponibilidades de N entre 93 e 147 kg ha<sup>-1</sup>, aos 52, 65 e 82 DAE foram pequenas. Aos 99 DAE ocorreu uma menor amplitude no teor de N foliar em função do N disponível (Figura 12d), apresentando teores entre 1,02 a 1,97%, para uma disponibilidade de N entre 27 e 147 kg ha<sup>-1</sup>.

O estresse nutricional reduz o N total foliar, a clorofila foliar e as atividades inicial e total da Rubisco, deste modo aumentando ou preservando a eficiência fotossintética de uso do N, definida como a máxima fotossíntese líquida diária observada por unidade de N da folha (Fredeem et al., 1991).

O teor de N da folha apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura versus doses de N mineral e também para a interação tríplice entre dias versus sistemas de cultura versus doses de N mineral (Apêndice 12).

Analisando-se a comparação das médias do teor de N foliar para os diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral em diferentes dias (Tabela 9), aos 52 DAE observa-se que os sistemas de cultura aveia/milho (A/M) e vica/milho (V/M) apresentam a mesma tendência de diferenciação entre as médias em função das doses de N mineral. Assim, a média na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral apresentou os menores teores, foi intermediária na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, mas não diferiu da média na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, enquanto que a média na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foi superior.

A média do teor de N foliar no sistema de cultura aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) apresentou o menor teor na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>

de N mineral, foi intermediária na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, superior nas doses 120 kg ha<sup>-1</sup> e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, que não diferiram entre si. Comportamento semelhante ocorreu nos sistemas de cultura A+V/M+C e V/M aos 65 DAE, e no sistema de cultura A+V/M+C aos 99 DAE. Aos 65 DAE no sistema de cultura A/M, todas as médias do teor de N foliar em função das doses de N mineral apresentaram diferenças significativas entre si, com aumento no teor de N foliar nas maiores doses de N mineral. Esta tendência também ocorreu nos sistemas de cultura A+V/M+C e V/M aos 82 DAE. Nos sistema de cultura A/M, as médias do teor de N foliar das doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não diferiram entre si aos 82 DAE e foram inferiores às médias nas doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, que também não apresentaram diferenças entre si. Aos 99 DAE as médias do teor de N foliar dos sistemas de cultura A/M e V/M não diferiram entre si nas doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foram intermediárias na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e superiores na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Analisando a influência dos sistemas de cultura na média do teor de N foliar em função das doses de N mineral, constata-se que não houve diferenças entre os sistemas de cultura ao 52 DAE, nas doses 60 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, aos 65 DAE nas doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, aos 82 DAE nas doses 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e aos 99 DAE na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Aos 52 DAE na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o sistema de cultura A/M apresentou média inferior aos sistemas A+V/M+C e V/M, que não diferem entre si. Esta mesma tendência ocorreu aos 65 DAE na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e aos 99 DAE na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Aos 52 DAE na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, os sistemas de cultura A/M e V/M apresentaram as menores médias e não diferiram entre si, enquanto que o sistema de cultura A+V/M+C mostrou-se superior. Aos

65 DAE na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o sistema de cultura A/M apresentou média inferior ao sistema V/M, porém, o sistema de cultura A+V/M+C foi intermediário, não diferindo dos demais. Aos 82 DAE na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o sistema de cultura A/M teve média inferior, o sistema de cultura V/M foi intermediário e o sistema de cultura A+V/M+C apresentou-se como superior, sendo que todos diferiram entre si. Aos 99 DAE nas doses 60 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o sistema de cultura A/M teve média inferior ao sistema A+V/M+C, porém, o sistema de cultura V/M apresentou-se como intermediário, não diferindo dos demais.

TABELA 9. Teor de N foliar (%) em milho sob três sistemas de cultura, quatro doses de N mineral e quatro épocas (DAE). Média de três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Épocas	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de N foliar (%)		
		A/M	V/M	A+V/M+C
52 DAE	180	2,68 ± 0,09 <sup>A a</sup>	2,60 ± 0,05 <sup>A a</sup>	2,63 ± 0,09 <sup>A a</sup>
	120	2,45 ± 0,04 <sup>AB a</sup>	2,43 ± 0,03 <sup>AB a</sup>	2,72 ± 0,05 <sup>A b</sup>
	60	2,23 ± 0,04 <sup>B a</sup>	2,32 ± 0,05 <sup>B a</sup>	2,11 ± 0,09 <sup>B a</sup>
	0	1,41 ± 0,06 <sup>C a</sup>	1,75 ± 0,04 <sup>C b</sup>	1,71 ± 0,08 <sup>C b</sup>
65 DAE	180	2,90 ± 0,03 <sup>A a</sup>	2,76 ± 0,02 <sup>A a</sup>	2,92 ± 0,05 <sup>A a</sup>
	120	2,62 ± 0,03 <sup>B a</sup>	2,71 ± 0,06 <sup>A a</sup>	2,73 ± 0,04 <sup>A a</sup>
	60	1,95 ± 0,04 <sup>C a</sup>	2,43 ± 0,09 <sup>B b</sup>	2,39 ± 0,09 <sup>B b</sup>
	0	1,43 ± 0,09 <sup>D a</sup>	1,72 ± 0,10 <sup>C b</sup>	1,63 ± 0,04 <sup>C ab</sup>
82 DAE	180	2,69 ± 0,09 <sup>A a</sup>	2,91 ± 0,04 <sup>A b</sup>	2,88 ± 0,02 <sup>A ab</sup>
	120	2,60 ± 0,09 <sup>A a</sup>	2,49 ± 0,10 <sup>B a</sup>	2,62 ± 0,07 <sup>B a</sup>
	60	1,56 ± 0,10 <sup>B a</sup>	2,05 ± 0,11 <sup>C b</sup>	2,29 ± 0,12 <sup>C c</sup>
	0	1,36 ± 0,05 <sup>B a</sup>	1,43 ± 0,06 <sup>D a</sup>	1,52 ± 0,05 <sup>D a</sup>
99 DAE	180	1,71 ± 0,09 <sup>A a</sup>	1,93 ± 0,07 <sup>A ab</sup>	1,97 ± 0,11 <sup>A b</sup>
	120	1,42 ± 0,04 <sup>B a</sup>	1,67 ± 0,10 <sup>B b</sup>	1,73 ± 0,09 <sup>A b</sup>
	60	1,08 ± 0,03 <sup>C a</sup>	1,27 ± 0,06 <sup>C ab</sup>	1,31 ± 0,07 <sup>B b</sup>
	0	1,10 ± 0,08 <sup>C a</sup>	1,12 ± 0,07 <sup>C a</sup>	1,02 ± 0,04 <sup>C a</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha, dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi  
DAE = dias após emergência

Souza et al. (2002) constataram que para o teor de N foliar houve interação significativa entre doses de N e culturas antecessoras, sendo a eficiência máxima em teor de N foliar alcançada quando o milho foi semeado após o trigo (2,9 %) com a dose de 187,2 kg ha<sup>-1</sup> de N, após ervilhaca peluda (2,86%) com dose de 159,1 kg ha<sup>-1</sup> de N, após aveia preta (2,83%) com dose de 168,2 kg ha<sup>-1</sup> de N e após pousio (2,8%) com dose de 143,7 kg ha<sup>-1</sup> de N

Amaral Filho et al. (2002) verificaram que o teor de nitrogênio nas folhas e teor de clorofila na quarta folha e na folha da espiga foram influenciados positivamente por doses de N mineral fornecidas à planta. O aumento na dose de nitrogênio de 0 para 150 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou incremento linear no teor de nitrogênio e clorofila na folha de milho.

#### **4.4.2. Teor de clorofila total**

O teor de clorofila total também é influenciado pelo teor de N disponível ao milho, como pode ser visto nas Figura 13 e 14. O teor de clorofila variou entre 235 e 323 mg m<sup>-2</sup> para uma disponibilidade de N entre 27 e 69 kg ha<sup>-1</sup>, e entre 603 e 759 mg m<sup>-2</sup> para uma disponibilidade de N entre 123 e 169 kg ha<sup>-1</sup>, quando o milho se encontrava no estágio de dezesseis folhas expandidas e pendoamento (Figura 13).

Nesta avaliação, o tratamento V/M 180 D, com 145 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, se mostrou superior aos demais, apresentando o teor mais elevado de clorofila (759 mg m<sup>-2</sup>). Os demais tratamentos (A/M 180 C, A/M 180 D e V/M 180 C) apresentaram teores de clorofila semelhantes, com valores entre 603 e 679 mg m<sup>-2</sup>, para uma disponibilidade entre 123 e 169 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. Na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, o tratamento com leguminosa (V/M 0 C) apresentou o maior



teor de clorofila ( $323 \text{ mg m}^{-2}$ ), para uma disponibilidade de  $69 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo superior ao tratamento com gramínea (A/M 0 D), que teve o menor teor de clorofila ( $235 \text{ mg m}^{-2}$ ), para uma disponibilidade de  $27 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Os menores teores de clorofila total foram encontrados na dose de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, em comparação à dose  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral, bem como nos tratamentos com a presença de aveia antecedendo ao milho, em comparação aos com vica (Apêndice 13).

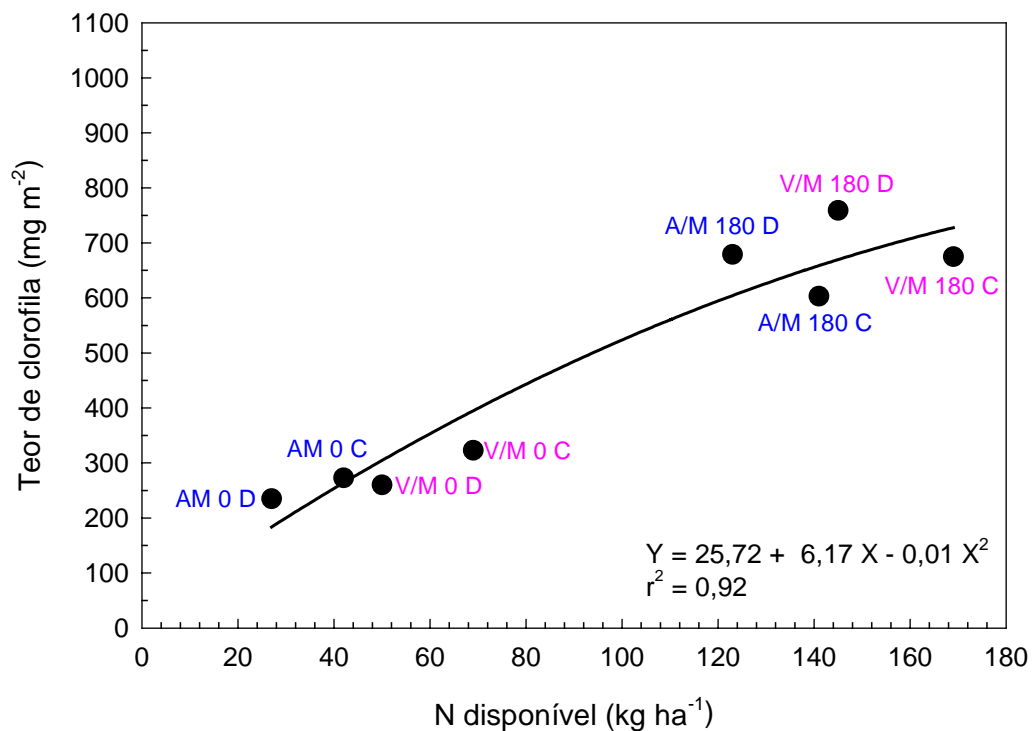


FIGURA 13. Relação entre o teor de clorofila total e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho e V/M = Vica/Milho), sistemas de preparo de solo (PD = Plantio Direto e PC = Preparo Convencional) e doses de N mineral ( $0$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aos 60 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Na Figura 14 e Apêndice 14 é apresentado o teor de clorofila total em função do N disponível ao milho, em quatro estádios da cultura, onde se observa que até aos 82 DAE (estádio de grão pastoso) ocorre uma maior dependência do

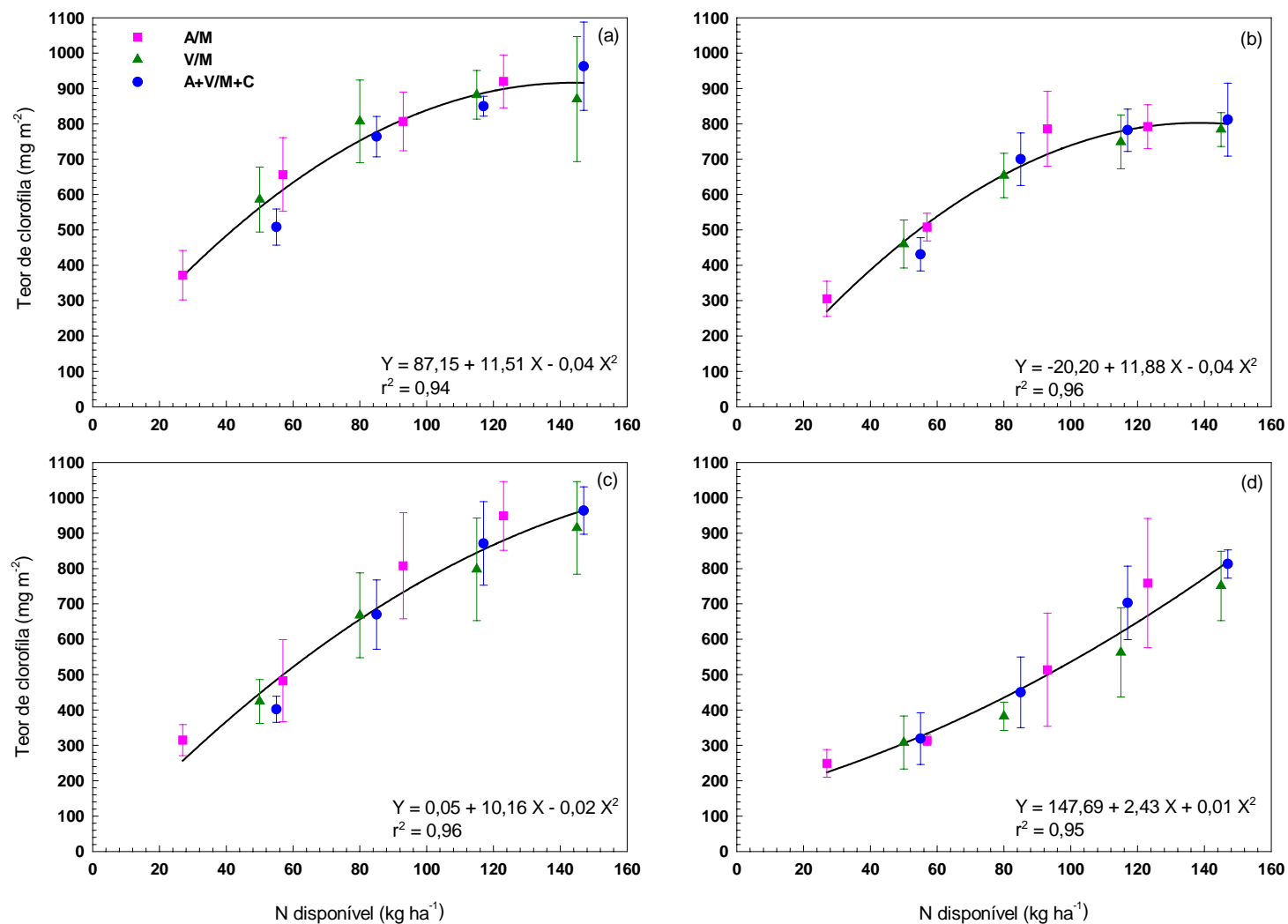


FIGURA 14. Relação entre o teor de clorofila total e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi), aos 52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

teor de clorofila total em relação ao N disponível (Figura 14c). Aos 52 DAE, estágio de doze folhas expandidas, ocorreu a maior influência do N disponível sobre o teor de clorofila total (Figura 14a), sendo que o menor teor foi de 372 mg m<sup>-2</sup> para 27 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. Teores de clorofila entre 508 e 657 mg m<sup>-2</sup> foram obtidos para uma disponibilidade entre 50 e 57 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível e entre 764 e 807 mg m<sup>-2</sup> para uma disponibilidade entre 80 e 93 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os maiores teores foram obtidos entre 850 e 963 mg m<sup>-2</sup> para uma disponibilidade entre 115 e 147 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. Aos 99 DAE (estádio de grão dentado), para as mesmas faixas de N disponível, os teores de clorofila foram de 249, entre 308 e 314, entre 382 e 514 e entre 751 e 813 mg m<sup>-2</sup>, respectivamente. Nesta avaliação as folhas apresentam um menor teor de clorofila devido ao processo natural de senescência que ocorre no final do ciclo. No entanto, nos tratamentos com maior disponibilidade de N, o teor de clorofila praticamente se manteve elevado durante todo o ciclo (Figura 14d).

O teor de clorofila total aumentou em função das doses de N mineral, em todos os sistemas de cultura, independentemente do estágio fenológico das plantas. No entanto, os acréscimos no teor de clorofila foram pequenos a partir da dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Com o transcorrer do ciclo do milho, ocorreu um decréscimo no teor de clorofila, sendo este mais acentuado nas doses 0, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, em todos os sistemas de cultura (Apêndice 14). Tratamentos com presença de gramíneas (AM e A+V/M+C) apresentaram menor teor de clorofila em comparação ao tratamento com leguminosa (V/M), independente da dose de N mineral, sendo esta diferença mais acentuada no tratamento com aveia (A/M). Estas variações ocorreram em função do teor de N disponível no solo.

O teor de clorofila total apresentou diferenças significativas nas interações entre sistemas de preparo de solo versus sistemas de cultura e entre sistemas de preparo de solo versus doses de N mineral (Apêndice 15). Analisando sistemas de preparo de solo versus sistemas de cultura (Tabela 10), se observa que não houve diferenças entre sistemas de cultura no sistema de plantio direto. No entanto, no sistema de preparo convencional, o sistema de cultura com a presença de gramínea (A/M) se mostrou superior ao sistema com leguminosa (V/M). O teor de clorofila no sistema de cultura com leguminosa (V/M) não apresentou diferenças entre os sistemas de preparo de solo. Mas, para o sistema com gramínea (A/M), os tratamentos se mostraram superiores em relação ao plantio direto no sistema de preparo convencional.

TABELA 10. Teor de clorofila total na folha de milho em diferentes sistemas de cultura e sob sistemas de plantio direto e convencional. Média de duas doses de N mineral, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Sistemas de cultura	Teor de clorofila total ( $\text{mg m}^{-2}$ )			
	Preparo Convencional		Plantio Direto	
Aveia/Milho	465,16	$\pm$ 75,66 <sup>A a</sup>	268,03	$\pm$ 53,10 <sup>A b</sup>
Vica/Milho	348,57	$\pm$ 43,84 <sup>B a</sup>	298,44	$\pm$ 64,59 <sup>A a</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha  
Média  $\pm$  desvio padrão

Analisando-se os teores de clorofila total nos sistemas de preparo de solo versus doses de N mineral (Tabela 11), constata-se que, tanto no preparo convencional como no plantio direto, os tratamentos com dose 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N mineral se mostraram inferiores, em comparação aos tratamentos na dose 180  $\text{kg ha}^{-1}$  de N mineral. Na dose 0  $\text{kg ha}^{-1}$  de N mineral, os tratamentos do sistema de plantio convencional apresentaram teores de clorofila total superiores em

comparação ao plantio direto, sendo que o inverso ocorreu na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

TABELA 11. Teor de clorofila total na folha de milho em duas doses de N mineral e sob sistema de plantio direto e preparo convencional. Média de dois sistemas de cultura, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de clorofila total (mg m <sup>-2</sup> )	
	Preparo Convencional	Plantio Direto
180	616,37 ± 27,18 <sup>A b</sup>	688,98 ± 34,40 <sup>A a</sup>
0	312,64 ± 16,78 <sup>B a</sup>	237,86 ± 9,92 <sup>B b</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha  
Média ± desvio padrão

O teor de clorofila total apresentou diferenças significativas entre sistemas de cultura versus doses de N mineral e entre dias versus doses de N mineral (Apêndice 16). Na comparação de sistemas de cultura versus doses de N mineral, as médias são apresentadas na Tabela 12, em que as doses 0, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral não diferiram entre si para os sistemas de cultura, enquanto que na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral o tratamento aveia/milho (A/M) se mostrou inferior aos demais tratamentos com presença de leguminosa (A+V/M+C e V/M). Nos sistemas de cultura A/M e V/M ocorreram os menores teores de clorofila nas doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, sem diferenças entre si, enquanto que no sistema A+V/M+C o menor teor de clorofila ocorreu na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, diferindo das demais doses. Em todos os sistemas a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral se mostrou superior. No entanto, para os sistemas de cultura V/M e A+V/M+C não houve diferenças significativas em comparação à dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, ao passo que no sistema de cultura A/M houve diferenças para as referidas doses.

TABELA 12. Teor de clorofila total na folha de milho em três sistemas de cultura e sob quatro doses de N mineral. Média de quatro épocas, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de clorofila total (mg m <sup>-2</sup> )		
	A/M	V/M	A+V/M+C
180	878,06 ± 26,88 <sup>A a</sup>	865,22 ± 7,24 <sup>A a</sup>	814,10 ± 4,52 <sup>A a</sup>
120	741,20 ± 41,82 <sup>B a</sup>	852,62 ± 18,83 <sup>A a</sup>	846,68 ± 5,46 <sup>A a</sup>
60	322,16 ± 13,31 <sup>C a</sup>	520,34 ± 43,93 <sup>B b</sup>	655,08 ± 40,00 <sup>B b</sup>
0	306,90 ± 11,48 <sup>C a</sup>	460,74 ± 33,30 <sup>B a</sup>	433,59 ± 19,47 <sup>C a</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%, sendo letras maiúsculas referente à comparação na coluna e letras minúsculas à comparação na linha

Média ± desvio padrão

Sistemas de cultura: A/M = Aveia/Milho, V/M = Vica/Milho, A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi

Analisando-se as médias do teor de clorofila e comparando-se as doses de N mineral em função das épocas, constata-se a mesma tendência de diferenciação entre as médias aos 52 e 65 DAE, em que a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral apresentou os menores teores, a dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foi intermediária e as doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral foram superiores (Tabela 13). Aos 82 DAE, houve diferenças significativas entre todas as doses, sendo que o menor teor de clorofila ocorreu na menor dose de N mineral (0 kg ha<sup>-1</sup> de N), com acréscimos nos teores de clorofila nas maiores doses de N mineral. Aos 99 DAE, as médias do teor de clorofila não apresentam diferenças significativas entre si nas doses 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, foram intermediárias na dose 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, e superiores na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

A relação entre o teor de clorofila e o teor de N foliar de milho, em diferentes doses de N mineral é apresentada na Figura 15. Observa-se que acréscimos no teor de N foliar resultaram em acréscimos no teor de clorofila, sendo esta relação influenciada pela dose de N mineral. Os tratamentos com dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral se caracterizaram por apresentar os menores teores de clorofila e N foliar, sendo que o inverso ocorreu na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

Analisando o teor de clorofila em relação ao teor de N foliar, em quatro estádios da cultura do milho, observa-se uma diminuição do teor de N foliar com o transcorrer do ciclo da cultura, mas com pouca influência no teor de clorofila. Estas diferenças são mais evidentes quando se compara o teor aos 52 DAE e 82 DAE (Figura 15a e 15c) com aqueles aos 99 DAE (Figura 15d), como consequência da translocação do N foliar para a formação de grãos, com pequena redução no teor de clorofila devido à senescência natural que ocorre no final do ciclo da cultura.

TABELA 13. Teor de clorofila total na folha de milho sob quatro doses de N mineral e em quatro épocas. Média de três sistemas de cultura, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de clorofila total (mg m <sup>-2</sup> )			
	52 DAE	65 DAE	84 DAE	99 DAE
180	871,12 ± 3,91 <sup>A</sup>	808,41 ± 5,97 <sup>A</sup>	955,55 ± 20,95 <sup>A</sup>	812,47 ± 3,19 <sup>A</sup>
120	855,73 ± 5,35 <sup>A</sup>	762,79 ± 10,83 <sup>A</sup>	843,82 ± 35,10 <sup>B</sup>	610,50 ± 40,86 <sup>B</sup>
60	729,08 ± 28,89 <sup>B</sup>	618,60 ± 27,31 <sup>B</sup>	617,69 ± 39,14 <sup>C</sup>	319,15 ± 7,44 <sup>C</sup>
0	500,93 ± 29,99 <sup>C</sup>	367,58 ± 26,88 <sup>C</sup>	345,20 ± 17,71 <sup>D</sup>	273,68 ± 19,83 <sup>C</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%  
 Média ± desvio padrão  
 DAE = dias após emergência

A concentração de clorofila pode indicar a concentração de N na folha do milho (Girardin et al. 1985), podendo ser esta uma determinação mais sensível das variações do suprimento de N do que as determinações do elemento na matéria seca das folhas, o que possibilitaria maior rapidez na detecção da deficiência de N (Schepers et al. 1992).

Sob condições de deficiência de N, há decréscimo nos teores de clorofila e de Rubisco por unidade de área foliar, e a proporção de Rubisco por clorofila também diminui com a deficiência de N (Wong, 1979; Ferrar e Osmond, 1986; Evans e Terashima, 1987; Seemann et al., 1987). Sendo o N um elemento essencial para a biossíntese das moléculas de clorofila (Strzalka & Ketner, 1997),

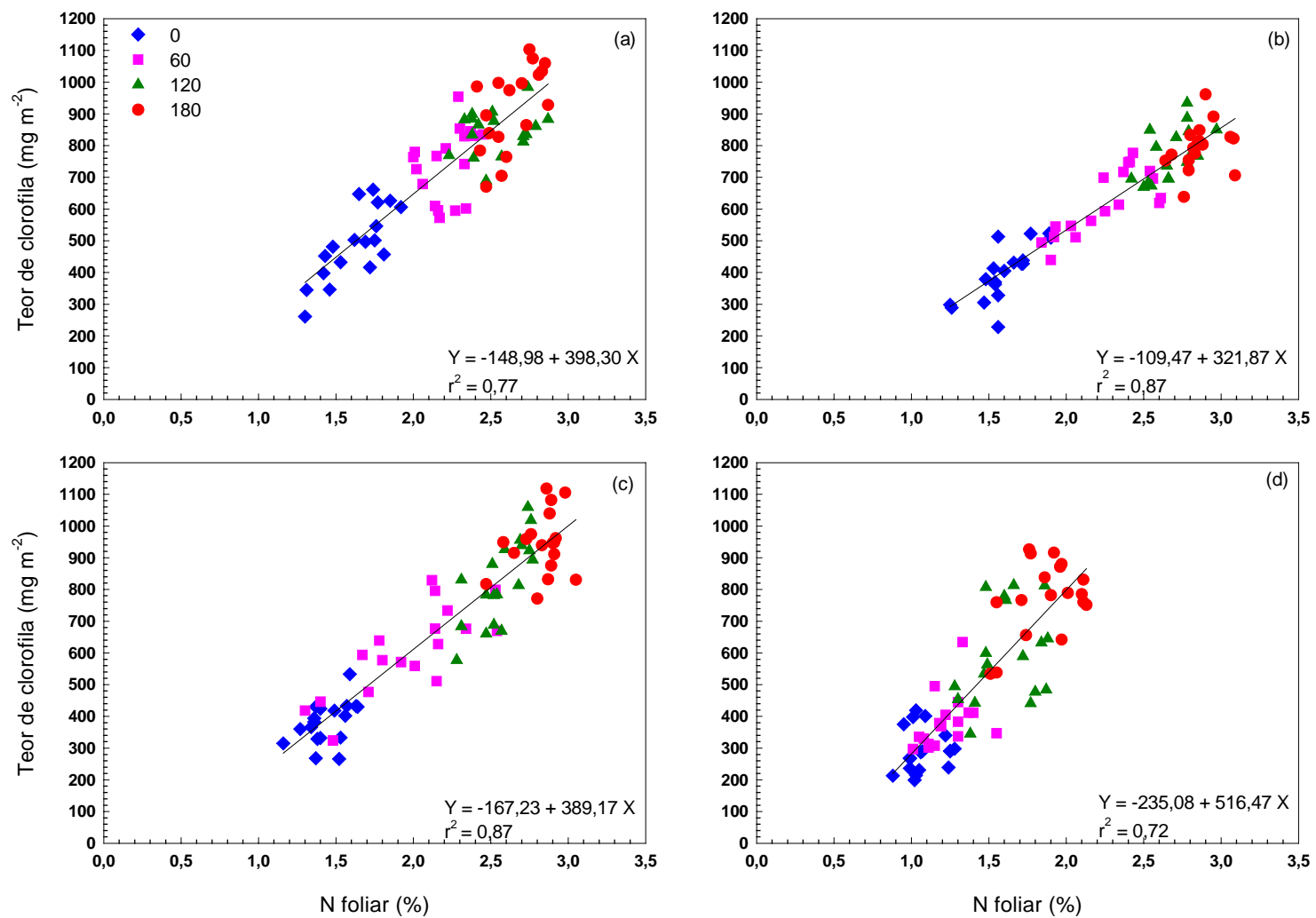


FIGURA 15. Relação entre o teor de clorofila total e o teor de N foliar de milho em diferentes doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), ao longo do ciclo (52 DAE (a); 65 DAE (b); 82 DAE (c) e 99 DAE (d)). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.



e sabendo-se que 15 a 60% do N total fazem parte da clorofila e complexos pigmentos-proteínas (Evans, 1989), um maior teor de N disponível no solo pode favorecer a ocorrência de um maior teor de clorofila. Esta dependência ocorre, pois o maior teor de N disponível no solo vai favorecer uma maior absorção de N pela planta e, conseqüentemente, uma maior concentração de N foliar e de clorofila pelas folhas.

#### **4.4.3. Taxa fotossintética líquida**

A taxa de fotossíntese do milho apresentou relação direta com o teor de N disponível no solo (Figura 16). As menores taxas de fotossíntese do milho foram encontradas nos tratamentos em sucessão a gramíneas, em comparação à sucessão a leguminosas, independentemente do sistema de preparo de solo, devido à dependência ao teor de N disponível ao milho, que no sistema com leguminosas apresenta maior quantidade (Apêndice 13). O tratamento aveia/milho, em plantio direto, na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral (A/M 0 D), com 27 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, apresentou a menor taxa de fotossíntese, 23 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. A maior taxa de fotossíntese, 35,6 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, ocorreu no tratamento vica/milho, na dose 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral e em plantio direto (V/M 180 D), com 145 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível.

Este resultado pode ser explicado pela forte relação entre a capacidade fotossintética de uma folha e seu conteúdo de N, pois a fotossíntese necessita de uma quantidade substancial de proteína para formar o complexo de pigmentos, destinados a absorver luz, realizar os processos fotoquímicos e reduzir enzimaticamente CO<sub>2</sub> a carboidratos (Evans, 1989 e Field & Mooney, 1986). Para Sugiharto et al. (1990) e Lynch & White (1992) a capacidade fotossintética das

folhas também apresenta correlação positiva com a concentração de N, sugerindo que a maior fonte deste elemento é utilizada para a síntese de componentes do aparato fotossintético. Sob limitação de N ocorrem decréscimos nos sistemas de captação de luz e na taxa fotossintética (Demming-Adams et al., 1997).

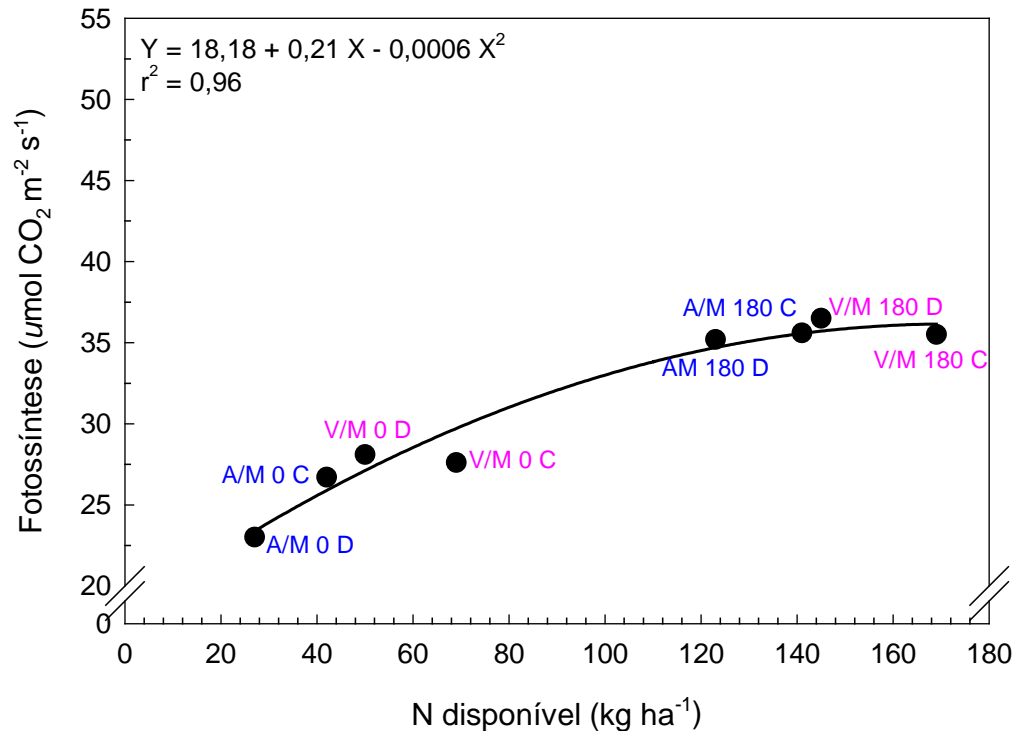


FIGURA 16. Relação entre a taxa fotossintética e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho e V/M = Vica/Milho), sistemas de preparo de solo (PD = Plantio Direto e PC = Preparo Convencional) e doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aos 60 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

A taxa de fotossíntese apresentou diferenças significativas entre os sistemas de cultura e doses de N mineral (Apêndice 17). Comparando-se os sistemas de cultura (Tabela 14), constata-se que a média dos tratamentos com presença de leguminosa (V/M) se mostrou superior aos tratamentos com gramíneas (A/M). Na comparação entre as doses de N mineral (Tabela 15), a taxa

de fotossíntese dos tratamentos com dose  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral foi superior àqueles com dose  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral.

TABELA 14. Taxa de fotossíntese de milho sob dois sistemas de cultura. Média de dois sistemas de preparo, duas doses de N mineral, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Sistemas de cultura	Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
Vica/Milho	$34,48 \pm 1,24^A$
Aveia/Milho	$26,88 \pm 0,81^B$

Médias de tratamentos com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%  
Média  $\pm$  desvio padrão

TABELA 15. Taxa de fotossíntese de milho sob duas doses de N mineral. Média de dois sistemas de cultura, dois sistemas de preparo, três blocos e três repetições. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
180	$35,98 \pm 0,64^A$
0	$26,34 \pm 0,46^B$

Médias de tratamentos com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%  
Média  $\pm$  desvio padrão

A resposta da taxa de fotossíntese ao teor de clorofila total é apresentada na Figura 17. Observa-se que as menores taxas de fotossíntese ocorreram nos tratamentos com menores teores de clorofila total, sendo o inverso verdadeiro. Isto comprova a dependência da taxa de fotossíntese ao teor de clorofila, e de ambos ao teor de N disponível, conforme apresentado nas Figuras 11 e 13. Segundo Evans (1989), o menor conteúdo de clorofila tem influência na performance fotossintética da folha, pois esta depende, primeiramente, do conteúdo de pigmentos da folha para a captação de luz, para gerar o ATP e o NADPH necessários à redução do  $\text{CO}_2$ .

A relação entre a taxa de fotossíntese e o N disponível ao milho no solo em diferentes sistemas de culturas, para o segundo ano do experimento é apresentada na Figura 18. Observa-se que as maiores taxas ocorreram aos 52

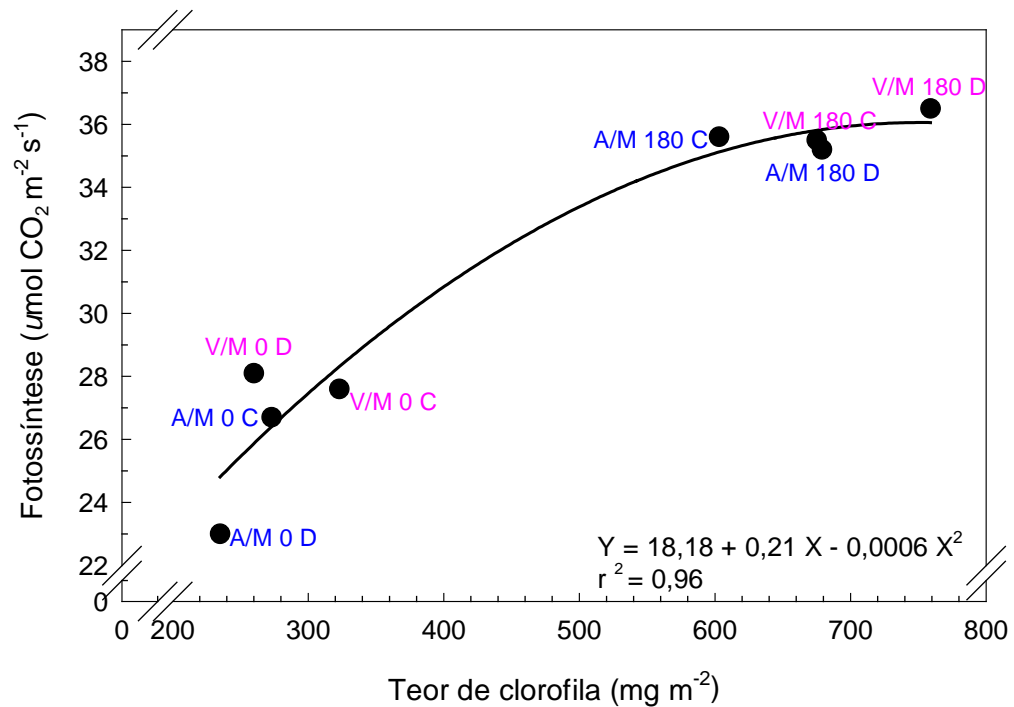


FIGURA 17. Relação entre a taxa fotossintética e o teor de clorofila total de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho e V/M = Vica/Milho), sistemas de preparo de solo (PD = Plantio Direto e PC = Preparo Convencional) e doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aos 60 DAE. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

DAE em comparação com 82 DAE, devido à maior atividade fisiológica das folhas no estágio com doze folhas expandidas, em relação ao estágio de grão pastoso. Os menores valores da relação entre as duas variáveis aos 82 DAE, deve-se ao fato de que, com o transcorrer do ciclo da cultura, a disponibilidade de N é menor e a atividade fisiológica das folhas também decresce. Na avaliação realizada aos 52 DAE constata-se que ocorreram pequenos acréscimos na taxa de fotossíntese em relação ao N disponível. Mas, esta tendência não foi observada aos 82 DAE, quando houve pequenos decréscimos na taxa fotossintética a partir de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível. Em ambas as épocas, de maneira geral, as menores taxas de fotossíntese, independentes da dose de N mineral, ocorreram no sistema de cultura com aveia/milho (A/M), seguido do sistema vica/milho (V/M) com valores

intermediários e do sistema aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C), que teve as maiores taxas de fotossíntese.

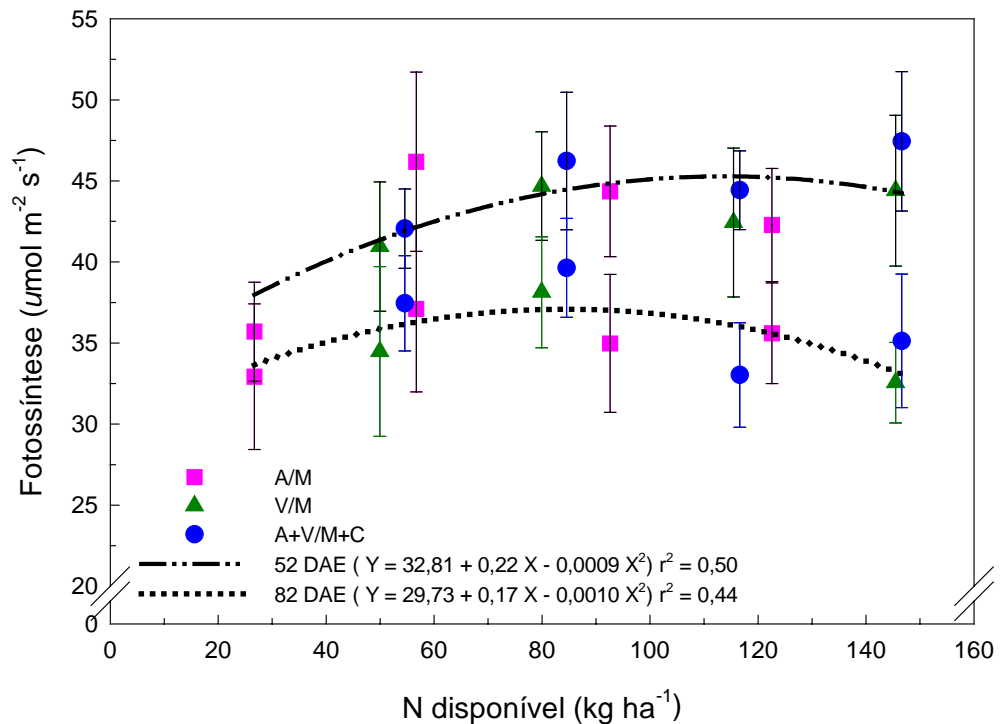


FIGURA 18. Relação entre a taxa fotossintética e o N disponível ao milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi). EEA/ UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Verifica-se que, aos 52 DAE, a menor taxa de fotossíntese ( $35,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ocorreu com uma disponibilidade de N de  $27 \text{ kg ha}^{-1}$ , no tratamento A/M 0 e valores entre  $41,0$  e  $47,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ocorreram a uma amplitude de disponibilidade de N variando entre  $50$  e  $147 \text{ kg ha}^{-1}$ , nos demais tratamentos. Esta tendência também ocorreu aos 82 DAE, porém com valores inferiores, quando a menor taxa de fotossíntese foi de  $29,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , com  $115 \text{ kg ha}^{-1}$  de N disponível, no tratamento V/M 120, enquanto que a maior taxa foi de  $39,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  com  $85 \text{ kg ha}^{-1}$  de N disponível (Apêndice 18).

Segundo Larcher (2000), a capacidade fotossintética se altera durante o ciclo do desenvolvimento. Durante o início do crescimento do vegetal a capacidade fotossintética é baixa, devido a esse fato, não é possível uma respiração muito intensa para a construção de novos tecidos nesse mesmo período. As folhas que ainda estão em expansão interceptam menos radiação, seus cloroplastos não estão totalmente equipados e o trabalho de carboxilação ainda não atingiu sua capacidade máxima de trabalho. Já, a folhagem jovem, mas totalmente diferenciada, apresenta a mais alta capacidade fotossintética. E, um pouco antes da parte aérea senescer por completo, a capacidade fotossintética se torna nula devido à degradação da clorofila e degeneração do cloroplasto.

A taxa de fotossíntese apresentou diferenças significativas entre as doses de N mineral (Apêndice 19). Comparando-se as médias apresentadas na Tabela 16, constata-se que a menor taxa de fotossíntese ocorreu na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, a maior ocorreu na dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, no entanto se diferir das doses 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral que apresentaram taxas intermediárias. Os tratamentos com dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, nos sistemas AM, V/M e A+V/M+C, com 57, 80 e 85 kg ha<sup>-1</sup> de N disponível, possibilitam sugerir que esta disponibilidade de N estaria sendo a adequada para o bom funcionamento do aparelho fotossintético (Apêndice 18).

TABELA 16. Taxa de fotossíntese de milho em quatro doses de N mineral. Média de três sistemas de cultura, duas épocas, três blocos e três repetições. Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Taxa de fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
60	41,99±1,28 <sup>A</sup>
180	39,57±1,49 <sup>AB</sup>
120	38,19±1,72 <sup>AB</sup>
0	37,26±1,06 <sup>B</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% Média ± desvio padrão

Para Fredeem et al. (1991) o estresse nutricional em girassol reduziu o total de N foliar, a clorofila foliar e as atividades inicial e total da Rubisco, deste modo aumentando ou preservando a eficiência fotossintética de uso do N, definida como a máxima fotossíntese líquida diária observada por unidade de N da folha. Além disso, o déficit de N reduziu a eficiência fotossintética de uso da água, definida como a razão da fotossíntese líquida diária por condutância estomática ao vapor d'água.

Em geral, folhas com uma grande quantidade de nitrogênio por unidade de área, possuem maior capacidade fotossintética do que folhas com baixa quantidade de N, sendo que os conteúdos de N e Rubisco por unidade de área são afetados pelo suprimento de N. Geralmente, elevadas quantidades de N resultam em aumento de N e Rubisco por unidade de área em folhas em desenvolvimento (Evans, 1989a; Field et al., 1983; Field & Mooney, 1986; Mae, 1997).

#### **4.5. CONCLUSÕES**

O maior efeito do N disponível ao milho sobre o teor de N foliar e de clorofila total ocorre entre os estádios de doze folhas expandidas e de grão pastoso. Com alta disponibilidade de N, o teor de clorofila se mantém elevado durante todo o ciclo.

O teor de N foliar diminui ao longo do ciclo do milho, mas com pequena influência no teor de clorofila, que decresce apenas no final do ciclo, devido à senescência das folhas.

O teor de clorofila total aumenta em função do N mineral aplicado, independentemente do sistema de cultura e do estágio em que se encontram as

plantas. Porém, os acréscimos no teor de clorofila total diminuem com o aumento da dose de N mineral.

A taxa de fotossíntese do milho apresenta relação direta com o teor de N disponível no solo, porém as maiores taxas ocorreram na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, sem diferir das doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Em relação aos sistemas de cultura, as menores taxas ocorrem em sucessão a gramíneas, em comparação à sucessão a leguminosas

A resposta da taxa de fotossíntese é condicionada ao teor de clorofila total. As menores taxas ocorrem com menores teores de clorofila total, como consequência da dependência de ambos ao N disponível.



## CAPÍTULO V

### Respostas fotossintéticas do milho relacionadas a diferentes disponibilidades de nitrogênio e água

#### 5.1. RESUMO

A deficiência de água nas plantas causa redução no seu desenvolvimento, que é uma consequência indireta do fechamento estomático, o qual pode afetar a fotossíntese. Conjuntamente com a água, o nitrogênio (N) desempenha papel fundamental na fotossíntese, sendo que, em condições onde um dos fatores seja limitante, existe um dilema enfrentado pelas plantas: serem eficientes no uso da água ou serem eficientes no uso do N. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de níveis de água e N aplicadas no milho, sobre o teor de clorofila, a condutância foliar, o potencial da água na folha e a taxa fotossintética líquida da cultura. Os tratamentos consistiram da combinação de dois níveis de água e dois níveis de N. A maior taxa de fotossíntese do milho ocorreu no tratamento com irrigação e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, com valores de 44  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Já a menor taxa ocorreu no tratamento não irrigado e com 40 kg ha<sup>-1</sup>, sendo esta de 1  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A disponibilidade hídrica teve maior influência sobre a taxa de fotossíntese e a condutância foliar, do que a disponibilidade de N. Os maiores teores de clorofila ocorreram nos tratamentos com irrigação, em comparação com os tratamentos sem irrigação. No entanto, quando se considera

a mesma disponibilidade de água, os maiores teores de clorofila ocorreram nos tratamentos com maior disponibilidade de N. Com aumentos no teor de clorofila na folha a taxa de fotossíntese tendeu a aumentar. Assim, o teor de clorofila na folha e a taxa de fotossíntese foram menores nos tratamentos que se encontravam sem irrigação do que naqueles irrigados. As plantas com irrigação mantiveram maior fotossíntese do que as não irrigadas, apesar do potencial da água na folha ( $\epsilon_f$ ) apresentar pequena amplitude de variação entre os tratamentos. A condutância foliar decresceu na medida em que diminuiu o  $\epsilon_f$ . Esta mesma tendência ocorreu para a taxa de fotossíntese.

## 5.2. INTRODUÇÃO

O déficit hídrico ocorre na maioria das áreas agricultáveis sujeitas à distribuição irregular das chuvas, sendo um dos fatores ambientais mais importantes na limitação da atividade fotossintética (Boyer, 1996).

O efeito mais comum da deficiência de água nas plantas é a redução no seu crescimento, como consequência indireta do fechamento estomático, que causa limitação na absorção de CO<sub>2</sub>, afetando a fotossíntese em nível de folha (Moss, 1984). O estresse hídrico causa, em curto prazo, reduções na condutância estomática e no crescimento de folhas e, em longo prazo, reduções no crescimento do caule das plantas (Gollan et al., 1986; Shulze, 1986).

Conjuntamente com a água, o nitrogênio (N) desempenha papel fundamental na fotossíntese. Se um dos fatores se tornar limitante, existe um dilema enfrentado pelas plantas terrestres: serem eficientes no uso da água ou serem eficientes no uso do N. Em *Phaseolus vulgaris*, Costa et al. (1988) observaram aumento na resistência estomática e respiração e decréscimo na

fotossíntese em plantas com déficit hídrico. Além disso, verificaram que nas plantas túrgidas, a fotossíntese líquida aumentou com incremento na dose de nitrogênio, sendo acompanhada por decréscimo na resistência estomática. Já nas plantas estressadas não houve relação entre a fotossíntese e as doses de nitrogênio. Os resultados demonstraram que esses fatores foram mais influenciados pelo regime hídrico do que pelo nível de nitrogênio. Todavia, de modo geral, o nitrogênio promoveu maior adaptação das plantas ao estresse hídrico, minimizando seu efeito.

Fatores que diminuem a fotossíntese realizada em qualquer nível de N também diminuem os retornos em N na folha. O fechamento estomático ocasiona redução na perda de água pelas plantas submetidas ao déficit hídrico, mas também limita a assimilação de  $\text{CO}_2$  pela fotossíntese, reduzindo a concentração interna de  $\text{CO}_2$ . Já que a transpiração da folha é sempre mais sensível do que a fotossíntese, decréscimos na condutância estomática aumentam a razão da fotossíntese sobre a transpiração. No entanto, ela diminui a fotossíntese por unidade de N da folha (Fredeem et al., 1991).

A eficiência de uso da água em uma folha é a razão entre sua transpiração e a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ . Esta razão é inversa à eficiência de uso do N. Isto ocorre porque mudanças na eficiência de seu uso podem mudar a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , sem que ocorram alterações no teor de N na planta. Se a condutância da folha ao vapor d'água se ajustar proporcionalmente à taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , a eficiência do uso de N pode aumentar, elevando a capacidade fotossintética, mas a concentração interna de  $\text{CO}_2$  e a eficiência do uso da água permanecem iguais (Sage & Pearcy, 1987).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes disponibilidades de água e nitrogênio, aplicadas ao milho, sobre o teor de clorofila, o potencial da água na folha, a condutância estomática e a taxa fotossintética.

### **5.3. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS.

O delineamento experimental foi em faixas, com quatro repetições, onde foram combinados cinco níveis de água a dois níveis de nitrogênio. Os níveis de água foram obtidos em função de um gradiente de aspersão, em parcelas com dimensões de 3 m de largura e 20 m de comprimento, sendo que cada parcela era composta por quatro fileiras de milho. Para aplicação dos níveis de água foi utilizado um sistema por aspersão em linha, constituído de 12 aspersores, dispostos na direção leste-oeste a 3 m de altura e com espaçamento de 6 m entre os mesmos, conforme metodologia descrita por Hanks et al. (1976). A tubulação principal da linha era composta de tubos de PVC, com 100 mm de diâmetro, e tubos de saída para os aspersores com 50 mm de diâmetro. Para cada lado da linha de aspersores, foram aplicadas cinco lâminas decrescentes de água, cujos extremos foram I4, correspondente à dose de água necessária para manter o solo próximo à capacidade de campo, e I0 cujas parcelas não foram irrigadas (Figura 19). Entre o I4 e o I0 foram aplicados três níveis intermediários, I3, I2, I1, correspondentes a 98%, 80% e 26% da dose do I4, nos quais não foram realizadas amostragens para este trabalho. As irrigações foram efetuadas nas

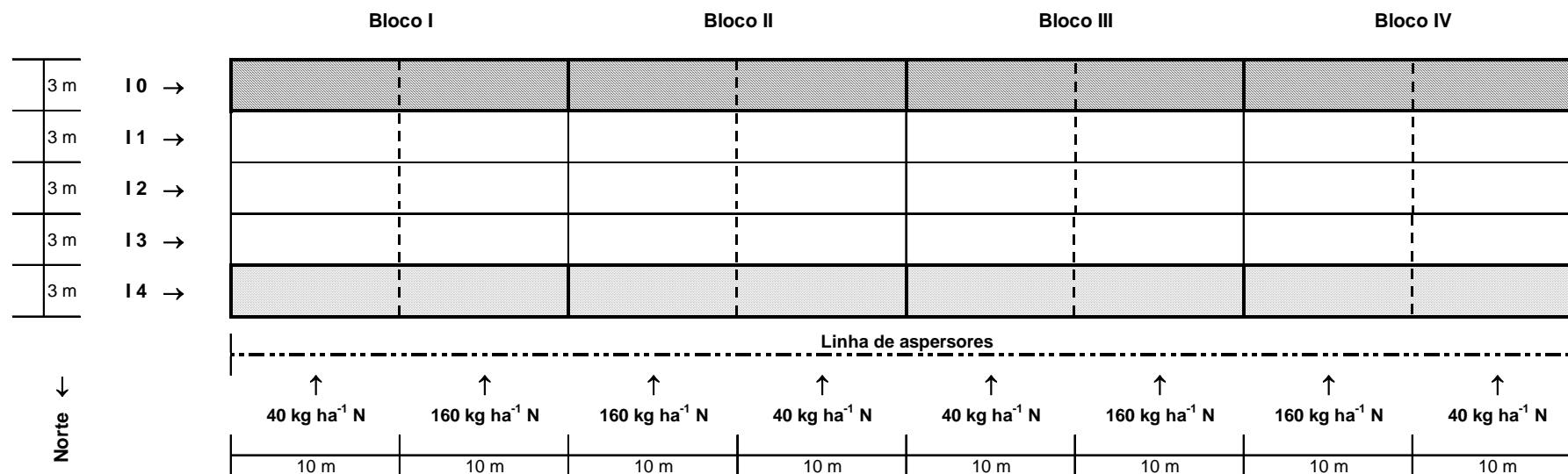


FIGURA 19. Representação do delineamento experimental, com a distribuição dos tratamentos avaliados (em destaque). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/200

primeiras horas do dia, com o objetivo de evitar deriva, sendo monitorada por tensiômetros de coluna de mercúrio, instalados a 45 cm de profundidade na área experimental, buscando-se a manutenção da capacidade de campo no tratamento I4.

Os dois níveis de N ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foram aplicados no milho em subparcelas de 10 m de comprimento, dentro de cada um dos níveis de água. Em ambos os níveis foram aplicados  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na base, juntamente com  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . No nível mais elevado de N, efetuou-se duas aplicações de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral em cobertura, sob a forma de uréia, quando o milho apresentava 4 e 8 folhas expandidas.

A área experimental foi semeada com uma consorciação de aveia preta (*Avena strigosa*)/vica (*Vicia sativa*) sobre resteva de milho, em maio de 1999. Para a semeadura do milho o preparo do solo foi feito na primeira quinzena do mês de outubro com lavração, seguida de duas gradagens. O milho (híbrido Pioneer 3063) foi semeado em 04 de novembro de 1999, em uma área de  $4.800 \text{ m}^2$  com dimensões de  $80 \times 60 \text{ m}$ , onde a área experimental de  $1.200 \text{ m}^2$  ( $80 \times 15 \text{ m}$ ) estava inserida. A distância entre linhas foi de  $0,75 \text{ m}$ , com densidade de 5 plantas por metro linear, obtendo-se uma população de  $66.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ .

Foram efetuadas medições da taxa fotossintética líquida ( $\text{Aco}_2$ ) e condutância foliar ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente) nos tratamentos I4 e I0, aos 38, 52 e 65 dias após a emergência (DAE). As medições foram realizadas com um analisador de gases infra-vermelho – IRGA, portátil (LI-6400, Licor Inc., Lincoln, NE). A quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) recebida pela folha no momento da medição, fixada em  $2.000 \pm 5 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , foi controlada através de uma fonte artificial (6400 - 02 LED, Licor Inc., Lincoln,

NE) acoplada à câmara de medição do aparelho. A concentração de CO<sub>2</sub> dentro da câmara de medição foi controlada através da utilização de ampolas de CO<sub>2</sub> (6400 – 01, injetor de CO<sub>2</sub>, Licor Inc., Lincoln, NE) e fixada em  $360 \pm 1$  ppm de CO<sub>2</sub>. A temperatura do ar no interior da câmara e a umidade relativa seguiram as variações do ambiente. As medições foram realizadas no período entre 10 e 14 h, em dias de céu limpo, com a finalidade de se obter maior rapidez na estabilização dos parâmetros a serem mensurados.

As medições foram feitas em uma folha por planta, completamente expandida e exposta à radiação solar, sendo geralmente a terceira a partir do estrato superior da planta. Como não houve alteração significativa na Aco<sub>2</sub>, comparando medidas tomadas em folhas intactas e destacadas, as folhas foram coletadas para que fossem feitas as medições.

A determinação do teor de clorofila foi realizada nas mesmas folhas em que se determinou a taxa fotossintética líquida e a condutância foliar. Seguiu-se a mesma metodologia de coleta, análise e cálculo (equações 3, 4 e 5 desenvolvidas por Wintermans & De Mots, 1965) descrita no item 4.3 do Capítulo IV.

Também foram feitas medições de condutância foliar em cada lado da folha, com porômetro de difusão de estado estacionário (LI-COR, modelo 1600 M, Licor Inc., Lincoln, NE) aos 74, 84 e 93 DAE. A condutância foliar foi medida em folhas não destacadas, em ambas faces foliares, sendo a condutância foliar total obtida pelo somatório das condutâncias das faces abaxial e adaxial. As medições foram realizadas no período entre 10 e 14 h, em dias de céu limpo e insolação intensa, com a finalidade de se obter maior velocidade na estabilização dos parâmetros a serem mensurados.

O potencial da água na folha ( $\psi_f$ ) mínimo foi determinado aos 52, 65, 74, 84 e 93 DAE, em câmara de pressão (modelo 3000, Soilmoisture Co., EUA), conforme descrito por Scholander et al. (1965) e Boyer (1967). Para tal, utilizou-se a folha imediatamente abaixo daquela em que foi medida a condutância foliar e no mesmo momento, sendo feitas duas amostragens em cada unidade experimental. Devido ao grande comprimento das folhas de milho, cortava-se cerca de 20 cm da extremidade das mesmas, retirando-se em torno de 5 cm da lâmina foliar, de forma a deixar a nervura central formando um pseudo-pecíolo.

Para a realização da análise de variância (ANOVA) utilizou-se o software estatístico SAS (System Analysis Statistic). Quando encontradas diferenças significativas, as médias foram separadas pelo método de mínimos quadrados (Freud et al., 1986).

## **5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.4.1. Disponibilidade hídrica durante o período experimental**

A precipitação pluvial durante o período de condução do experimento apresentou distribuição irregular a partir da emergência do milho (Figura 20), caracterizada por um déficit hídrico prolongado nos meses de dezembro de 1999 a fevereiro de 2000.

A partir do segundo decêndio de dezembro a precipitação pluvial esteve bem abaixo da média climatológica, prolongando-se até o segundo decêndio de fevereiro. A precipitação total ocorrida no terceiro decêndio de dezembro e primeiro decêndio de janeiro foi de apenas 6,6 mm, em um período em que a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) diária seria superior a este valor (Apêndice 20). Segundo Matzenauer et al. (2002) os valores médios diários de



ETm no ciclo do milho, para semeaduras em novembro seriam de 4,4 mm e no sub- período de 30 dias após a emergência ao pendoamento seriam de 5,6 mm. Bergamaschi et al. (2001) observaram valores superiores a estes, para a ETm neste mesmo local, com média de 7 mm dia<sup>-1</sup> durante o florescimento.

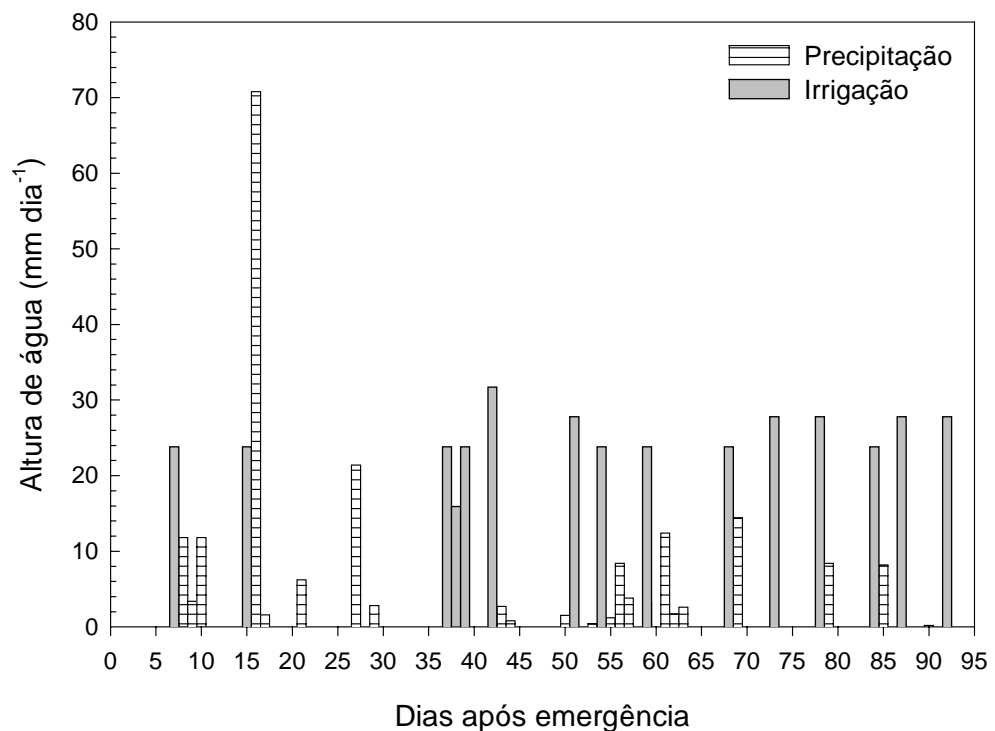


FIGURA 20. Precipitações pluviais e irrigações ocorridas nos tratamentos I4 e I0 a partir da emergência do milho. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

O balanço hídrico da cultura do milho para os tratamentos avaliados, calculados por Pereira (2001), indicou que houve déficit no tratamento I0 (Apêndice 21) e praticamente ausência de deficiências hídricas no tratamento I4 (Apêndice 22). A cultura sofreu déficit hídrico no tratamento I0 em todos os dias em que foram realizadas as medições, não atendendo à demanda hídrica da mesma (evapotranspiração real em relação à evapotranspiração máxima – ETR/ETm). No tratamento I4, devido à água adicionada por irrigação, a demanda

hídrica da cultura foi atendida durante o período em que as medições foram realizadas.

#### **5.4.2. Taxa fotossintética líquida e condutância foliar**

As maiores taxas de fotossíntese do milho ocorreram no tratamento com irrigação e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N (I4 N1) aos 38 e 52 DAE apresentando valores de 44 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Já a menor taxa ocorreu no tratamento não irrigado e 40 kg ha<sup>-1</sup> (I0 N0), aos 52 DAE, sendo esta de 1 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 21). A mesma tendência também ocorreu na condutância foliar, sendo que o padrão de resposta destas duas variáveis se mostrou similar para os três dias analisados.

Observa-se que aos 52 DAE as diferenças entre os tratamentos com irrigação (I4 N0 e I4 N1) e não irrigados (I0 N0 e I0 N1) foram mais acentuadas do que nos outros dois dias analisados. Isto pode ser atribuído à maior demanda evaporativa ocorrida naquele dia, que teve ET<sub>m</sub> de 8,78 mm e deficiência hídrica de 7 mm (Apêndice 21), associada a um período de déficit hídrico que se acentuou ainda mais nos tratamentos não irrigados, em relação ao déficit observado aos 38 DAE. A condutância foliar aos 52 DAE apresentou valores muito baixos, 22 e 43 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nos tratamentos I0 N0 e I0 N1, respectivamente, quando os estômatos tenderam ao fechamento, como forma de evitar maior desidratação nas plantas não irrigadas. Aos 65 DAE, as diferenças entre os tratamentos com e sem irrigação foram menos evidentes, devido ao déficit hídrico nos tratamentos não irrigados ter sido minimizado pela precipitação pluvial ocorrida nos dias anteriores à medição, o que resultou em aumento da condutância e recuperação da taxa fotossintética desses tratamentos.

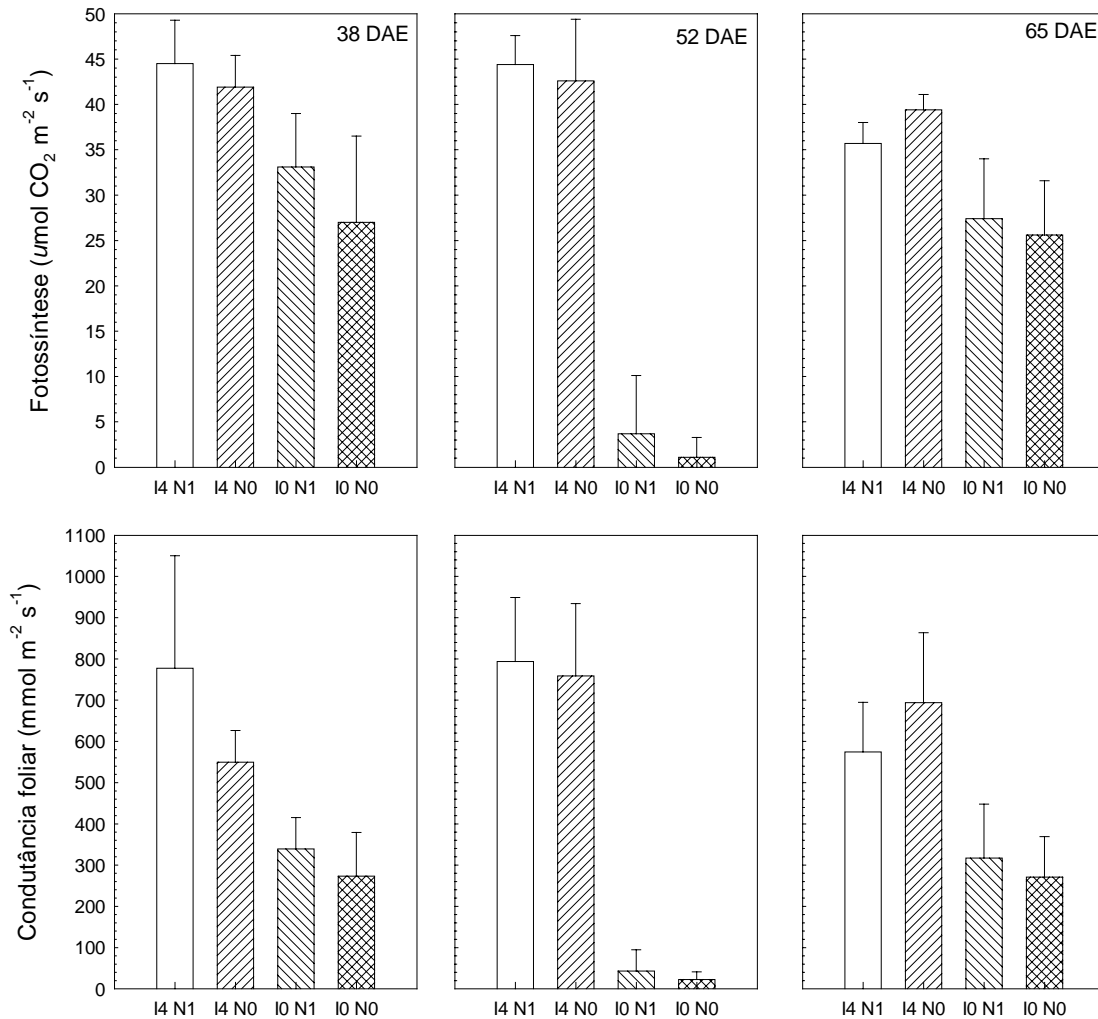


FIGURA 21. Taxa fotossintética líquida e condutância foliar de milho em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Segundo Pereira (2001), mesmo em condição de deficiência hídrica acentuada ao longo de vários dias, o aparelho fotossintético do milho nos tratamentos não irrigados não demonstrou ter sofrido danos, pois a fotossíntese foi recuperada após o déficit ter sido aliviado pela precipitação pluvial ocorrida.

A disponibilidade hídrica teve maior influência sobre a taxa de fotossíntese e condutância foliar, do que a disponibilidade de nitrogênio. A taxa de

fotossíntese e a condutância foliar apresentaram diferenças significativas entre os níveis de disponibilidade hídrica (Apêndices 23 e 24), enquanto que a condutância foliar apresentou diferenças significativas entre os níveis de N aos 38 DAE (Apêndice 24). Constata-se que a média dos tratamentos com irrigação (I4) se mostrou superior àquela do não irrigado (I0) em todos os dias avaliados, tanto para a taxa de fotossíntese como para a condutância foliar (Tabela 17 e 18).

TABELA 17. Taxa fotossintética líquida em milho sob diferentes níveis de água, em três épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Épocas	Níveis de água	Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
38 DAE	I4	43,18±4,20 <sup>A</sup>
	I0	30,06±8,21 <sup>B</sup>
52 DAE	I4	43,54±5,21 <sup>A</sup>
	I0	2,40±4,81 <sup>B</sup>
65 DAE	I4	37,55±2,77 <sup>A</sup>
	I0	26,53±6,17 <sup>B</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem significativamente a 5% pelo teste de médias dos quadrados mínimos (LSMEANS), dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Níveis de água: I4 = irrigado, I0 = não irrigado

DAE = dias após emergência

A limitação na disponibilidade hídrica, provocando reduções na condutância foliar e, conseqüentemente, redução nas trocas gasosas, é um resultado obtido por muitos autores (Radin e Ackerson, 1982; Moss, 1984; Jones, 1985; Sharkey, 1990; Srinivasa Rao & Bhatt, 1990; Chaves, 1991; Fredeen et al., 1991; Sala & Tenhunen, 1996), para os quais, uma das formas das plantas responderem ao déficit hídrico é através do fechamento estomático. Isto acarreta limitação na disponibilidade de  $\text{CO}_2$  para o aparelho fotossintético, levando a decréscimos na taxa de fotossíntese.

Segundo Costa et al. (1997) o déficit de água no solo diminuiu a taxa de fotossíntese em folhas de *Vicia faba*, pois o potencial fotossintético da folha, ou

seja, a taxa líquida de fotossíntese no nível de saturação de CO<sub>2</sub> (A<sub>max</sub>) diminuiu com o aumento do déficit de água no solo.

TABELA 18. Condutância foliar em milho sob diferentes níveis de água, em seis épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Épocas	Níveis de água	Condutância foliar (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
38 DAE	I4	663,73±225,09 <sup>A</sup>
	I0	306,13±94,58 <sup>B</sup>
52 DAE	I4	757,26±147,49 <sup>A</sup>
	I0	32,81±39,07 <sup>B</sup>
65 DAE	I4	634,20±154,90 <sup>A</sup>
	I0	293,79±114,58 <sup>B</sup>
74 DAE	I4	238,58±92,73 <sup>A</sup>
	I0	75,37±36,43 <sup>B</sup>
84 DAE	I4	279,44±100,39 <sup>A</sup>
	I0	19,90±25,65 <sup>B</sup>
93 DAE	I4	228,01±82,62 <sup>A</sup>
	I0	13,74±34,58 <sup>B</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem significativamente a 5% pelo teste de médias dos quadrados mínimos (LSMEANS), dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Níveis de água: I4 = irrigado, I0 = não irrigado

DAE = dias após emergência

O controle estomático da condutância foliar à água é um importante meio através do qual as plantas limitam a perda de água, sendo que, freqüentemente a condutância é utilizada como indicador do estresse hídrico (Mc Dermitt, 1990). Segundo Schurr et al. (1992), a condutância estomática diminui com a redução do conteúdo de água no solo, mesmo quando a parte aérea permanece túrgida. Bergonci et al. (2000) observaram que, quando a limitação de água no solo foi acentuada, no caso em tratamento sem irrigação, a condutância foliar foi baixa e praticamente sem variação durante todas as horas do dia, indicando que os estômatos permaneceram fechados, ao menos parcialmente, como forma de economizar água.

Com relação à disponibilidade de N, a condutância foliar foi superior no tratamento com 160 kg ha<sup>-1</sup> de N (N1), em comparação ao tratamento com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (N0) aos 38 DAE (Tabela 19). Esta mesma tendência foi observada por Heitholt (1989), quando a condutância estomática da folha para CO<sub>2</sub> foi maior nas plantas que receberam maior nível de N e quando bem hidratadas.

TABELA 19. Condutância foliar em milho sob diferentes níveis de nitrogênio, em seis épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Épocas	Níveis de nitrogênio	Condutância foliar (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
38 DAE	N1	558,40±298,17 <sup>A</sup>
	N0	411,47±169,36 <sup>B</sup>
52 DAE	N1	418,43±403,30 <sup>A</sup>
	N0	371,63±373,31 <sup>A</sup>
65 DAE	N1	445,57±180,17 <sup>A</sup>
	N0	482,42±256,40 <sup>A</sup>
74 DAE	N1	177,83±119,01 <sup>A</sup>
	N0	136,11±95,09 <sup>A</sup>
84 DAE	N1	142,35±148,76 <sup>A</sup>
	N0	156,98±156,26 <sup>A</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem significativamente a 5% pelo teste de médias dos quadrados mínimos (LSMEANS), dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Níveis de nitrogênio: N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup>, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup>

DAE = dias após emergência

Para Field et al. (1983) o decréscimo da disponibilidade de água, quando a conservação de água se torna o fator mais importante, é a resposta das plantas no sentido de se tornarem mais eficientes no uso da mesma, reduzindo ao mesmo tempo, sua eficiência de uso do N. Entretanto, se a aquisição de N pela planta se torna mais importante do que a conservação da água, pode-se esperar que, mesmo submetidas à baixa disponibilidade de água, as plantas apresentem baixos valores de eficiência de uso da água, visando manter altos valores de eficiência de uso do N.

A partir das medições feitas aos 38, 52 e 65 DAE (Figura 22), observa-se que a resposta da taxa de fotossíntese à condutância foliar apresenta a forma de uma hipérbole retangular, com tendência à saturação da fotossíntese em valores acima de  $1.000 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de condutância foliar. Resultados semelhantes, também em milho, foram encontrados por Machado e Lagôa (1994) e Pereira (2001). Para Wong et al. (1979), a correlação entre fotossíntese e condutância, em condições variadas, incluindo aquelas associadas ao desenvolvimento, sugere que há associação direta entre as variáveis. No Apêndice 27 são apresentadas curvas de resposta diária da taxa de fotossíntese de milho à condutância foliar, em diferentes níveis de disponibilidade hídrica e de nitrogênio, sendo esta descrita pela mesma tendência geral obtida na análise conjunta dos dados (Figura 22).

#### **5.4.3. Taxa fotossintética líquida e teor de clorofila total na folha**

O teor de clorofila total é apresentado na Figura 23, onde se observa que os maiores teores ocorreram nos tratamentos sem deficiência hídrica (I4 N1 e I4 N0), em comparação aos tratamentos com deficiência hídrica (I0 N1 e I0 N0). No entanto, quando se considera a mesma disponibilidade de água, os maiores teores de clorofila ocorreram nos tratamentos com maior disponibilidade de N (N1).

A resposta da fotossíntese ao teor de clorofila foliar está representada nas Figura 24 e Apêndice 28. Observa-se que, com aumentos no teor de clorofila na folha, a taxa de fotossíntese tende a aumentar. Assim, o teor de clorofila na folha e a taxa de fotossíntese foram menores nos tratamentos que se

encontravam em déficit hídrico (I0 N0 e I0 N1) do que naqueles sem restrição hídrica (I4 N1 e I4 N0).

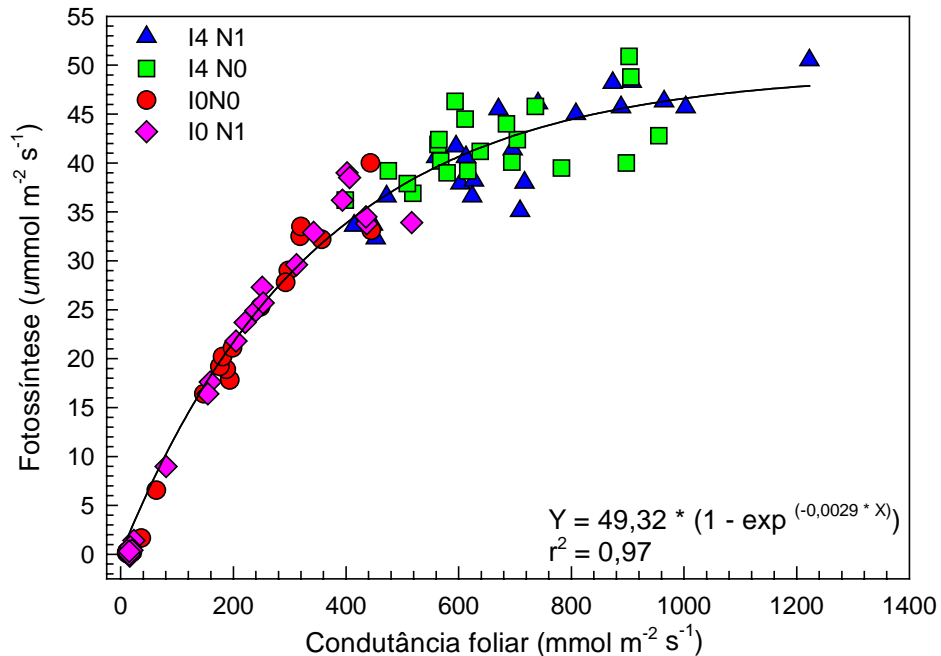


FIGURA 22. Taxa fotossintética líquida em função da condutância foliar para o vapor d'água em milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (38 DAE, 52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Analisando os dois dias de medições (Apêndice 28) verifica-se que devido ao déficit hídrico acentuado aos 52 DAE, as diferenças foram mais evidentes entre os tratamentos, com valores da taxa de fotossíntese muito baixos nas plantas não irrigadas. Aos 65 DAE, quando o déficit hídrico foi reduzido, a fotossíntese nas plantas não irrigadas aumentou, mesmo com teor de clorofila semelhante ao observado aos 52 DAE. As precipitações ocorridas no intervalo entre as medições ocasionaram recuperação da fotossíntese a valores altos, mesmo mantendo o teor de clorofila em níveis semelhantes, comparado ao período no qual a limitação hídrica foi acentuada. Isto sugere que a limitação da



fotossíntese está associada, principalmente, à menor condutância estomática (Figura 19).

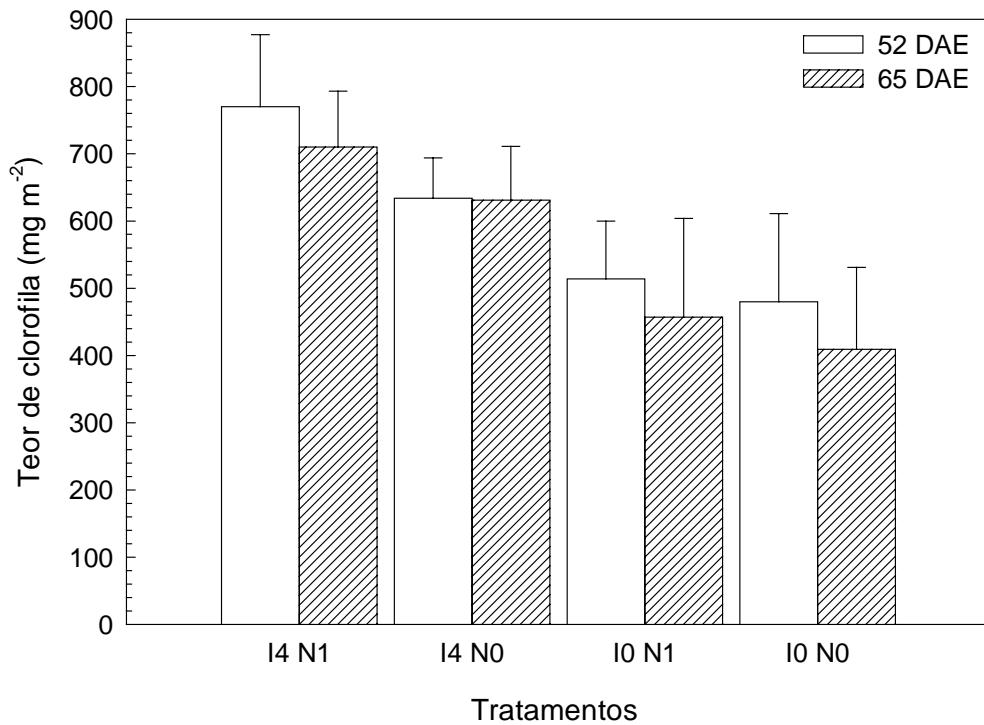


FIGURA 23. Teor de clorofila total em milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Em avaliações realizadas por Pereira (2001), no mesmo experimento, constatou-se que as menores taxas de fotossíntese ocorreram com menores teores de clorofila, indicando limitação energética para a fotossíntese. Contudo, comparando-se os resultados obtidos aos 52 e 65 DAE, percebe-se que as diferenças no teor de clorofila do tratamento com déficit hídrico não foram acentuadas. No entanto, as menores taxas de fotossíntese ocorridas aos 52 DAE, parecem ser devidas à menor condutância estomática. Considerando que aos 65 DAE o potencial da água na folha foi de -1,53 MPa no tratamento com déficit

hídrico e de -1,36 MPa no tratamento sem déficit hídrico, portanto relativamente próximos, pode-se inferir que as menores taxas fotossintéticas neste dia também foram devidas ao menor teor de clorofila na folha.

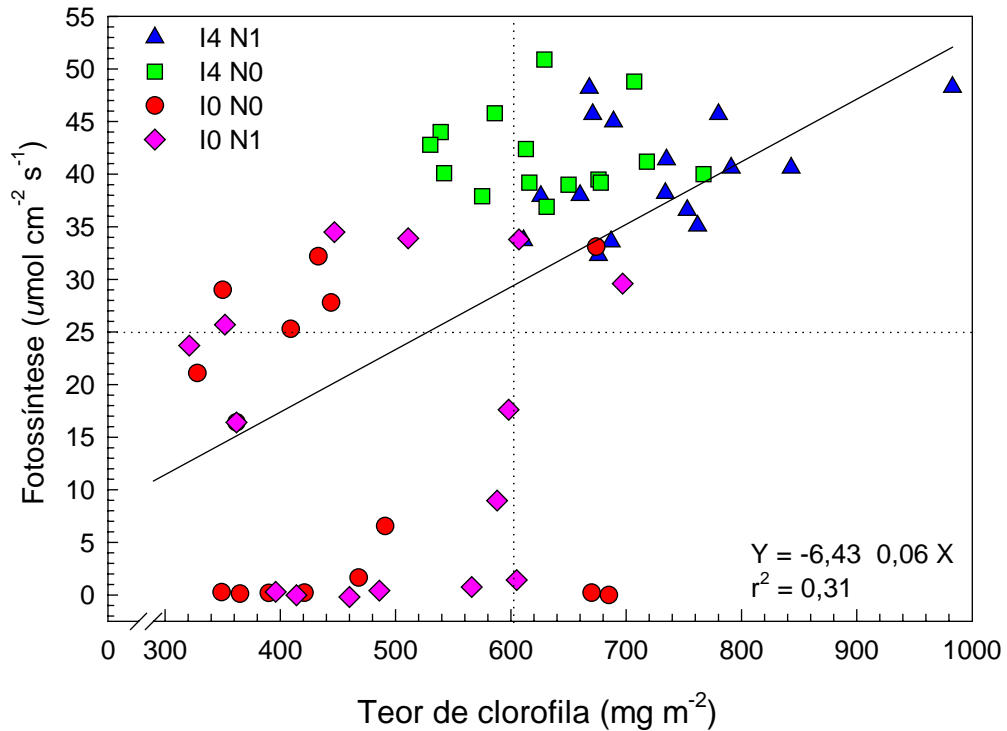


FIGURA 24. Taxa fotossintética líquida em função do teor de clorofila na folha de milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

O menor teor de clorofila foliar encontrado nas plantas submetidas ao déficit hídrico pode estar relacionado à formação da clorofila, que de acordo com Virgin (1965), é alta com pequeno déficit hídrico nas folhas, mas diminui à medida em que o déficit se torna mais acentuado. Segundo Srinivasa Rao & Bhatt (1990) o conteúdo de clorofila foi menor nas plantas estressadas do que nas plantas não estressadas em folhas de *Solanum melongena*. Para Albert et al. (1977) as maiores perdas de clorofila, em resposta ao estresse hídrico, ocorrem nas células

do mesofilo, com uma menor quantidade perdida nas células da bainha. Também para Viana et al. (2002) a redução no conteúdo das clorofilas a e b nas folhas de milho ocorreu devido ao decréscimo no conteúdo relativo de água, acompanhado por aumentos na resistência estomática.

O teor de clorofila apresentou diferenças significativas entre os níveis de disponibilidade hídrica e de N aos 52 DAE e entre os níveis de disponibilidade hídrica aos 65 DAE (Apêndice 25). Na Tabela 20 constata-se que a média dos tratamentos com irrigação (I4) se mostrou superior ao não irrigado (I0). Com relação à disponibilidade de N, o teor de clorofila foi superior para o tratamento com 160 kg ha<sup>-1</sup> de N (N1), em comparação ao tratamento com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (N0), aos 52 DAE (Tabela 21).

TABELA 20. Teor de clorofila total em milho sob diferentes níveis de água em duas épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Épocas	Níveis de água	Teor de clorofila total (mg m <sup>-2</sup> )
52 DAE	I4	702,06±109,16 <sup>A</sup>
	I0	497,00±108,55 <sup>B</sup>
65 DAE	I4	670,56±88,43 <sup>A</sup>
	I0	432,81±133,06 <sup>B</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem significativamente a 5% pelo teste de médias dos quadrados mínimos (LSMEANS), dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Níveis de água: I4 = irrigado, I0 = não irrigado

DAE = dias após emergência

TABELA 21. Teor de clorofila total em milho sob diferentes níveis de nitrogênio, em duas épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Épocas	Níveis de nitrogênio	Teor de clorofila total (mg m <sup>-2</sup> )
52 DAE	N1	642,06±161,75 <sup>A</sup>
	N0	557,00±126,87 <sup>B</sup>
65 DAE	N1	583,50±174,31 <sup>A</sup>
	N0	519,87±151,91 <sup>A</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem significativamente a 5% pelo teste de médias dos quadrados mínimos (LSMEANS), dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Níveis de nitrogênio: N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup>, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup>

DAE = dias após emergência

#### 5.4.4. Relação entre a taxa fotossintética líquida e a condutância foliar com o potencial da água na folha

A relação entre taxa de fotossíntese e potencial da água na folha ( $\psi_f$ ) é apresentada na Figura 25. Observa-se que os tratamentos com irrigação (I4 N1 e I4 N0) mantiveram maior fotossíntese do que os não irrigados (I0 N1 e I0 N0), apesar do potencial da água na folha não ter apresentado grande amplitude de variação entre os tratamentos. No Apêndice 29, está representada a variação da fotossíntese em função do potencial da água na folha, em cada dia de medição de forma isolada.

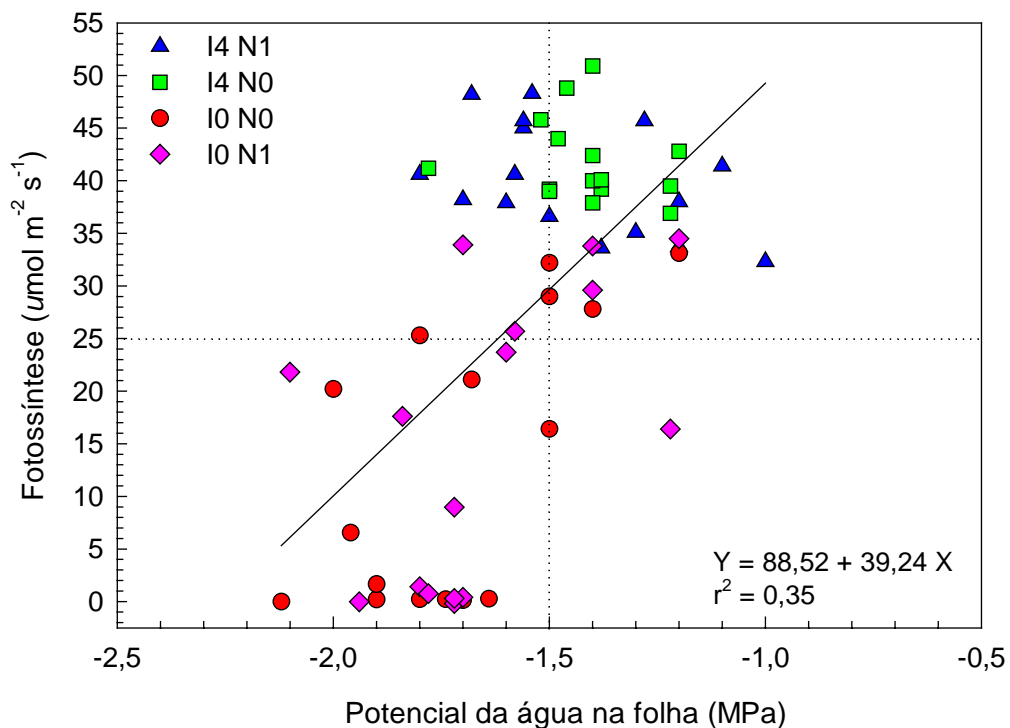


FIGURA 25. Taxa fotossintética líquida em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, N0 = 40 kg ha<sup>-1</sup> de N), em diferentes dias após a emergência (52 DAE e 65 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Verificou-se que aos 52 DAE as diferenças de resposta da fotossíntese foram acentuadas para uma pequena amplitude de variação do  $\psi_f$  entre os tratamentos sem irrigação (I0 N1 e I0 N0) e com irrigação (I4 N1 e I4 N0) (Apêndice 29). A justificativa provável para tal pode estar relacionada ao fato de que as plantas não irrigadas estavam submetidas a uma condição hídrica restrita ao longo de vários dias, com reduzidas trocas gasosas, como alternativa para evitar maior desidratação. Essa resposta da fotossíntese ao  $\psi_f$  pode ser considerada de longo prazo, modulada pela limitação na disponibilidade de água no solo. Nas plantas irrigadas, mesmo com baixo  $\psi_f$ , a fotossíntese se manteve alta, não respondendo, desse modo, às variações diárias no estado hídrico da planta, ocasionadas pela demanda evaporativa da atmosfera.

A relação entre a condutância foliar e o potencial da água na folha ( $\psi_f$ ) é apresentada na Figura 26 e nos Apêndices 30 e 31. Verifica-se que a condutância foliar decresce na medida em que diminui o  $\psi_f$ , comprovando a existência de relação direta entre as duas variáveis, relatada em trabalhos realizados por Kramer & Boyer (1995), Bono (1997), Bergonci et al. (2000) e Pereira (2001). Esta mesma tendência ocorreu na taxa de fotossíntese, discutida anteriormente e apresentada na Figura 25. Na Figura 26a são apresentados os dados obtidos em dois dias de medições (52 e 65 DAE) e na Figura 26b, em três outros dias de medições (74, 84 e 93 DAE). Apesar dessas medições terem sido feitas com equipamentos diferentes, percebe-se que, com o transcorrer do ciclo da cultura, o déficit hídrico foi se agravando, gerando menores potenciais da água na folha e redução na condutância foliar.

O potencial da água na folha apresentou diferenças significativas entre os níveis de disponibilidade hídrica (Apêndices 26), onde a média dos tratamentos

com irrigação (I4) se mostrou superior ao não irrigado (I0) em todos os dias avaliados (Tabela 22). Este comportamento também ocorreu para a taxa de fotossíntese e para a condutância foliar.

TABELA 22. Potencial da água na folha em milho sob diferentes níveis de água, em cinco épocas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Épocas	Níveis de água	Potencial da água na folha (MPa)
38 DAE	I4	-1,50±0,18 <sup>A</sup>
	I0	-1,81±0,13 <sup>B</sup>
52 DAE	I4	-1,36±0,18 <sup>A</sup>
	I0	-1,55±0,26 <sup>B</sup>
65 DAE	I4	-1,46±0,17 <sup>A</sup>
	I0	-2,01±0,13 <sup>B</sup>
74 DAE	I4	-1,81±0,15 <sup>A</sup>
	I0	-2,26±0,13 <sup>B</sup>
84 DAE	I4	-1,50±0,09 <sup>A</sup>
	I0	-2,45±0,11 <sup>B</sup>
93 DAE	I4	-1,50±0,18 <sup>A</sup>
	I0	-1,81±0,13 <sup>B</sup>

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem significativamente a 5% pelo teste de médias dos quadrados mínimos (LSMEANS), dentro de cada época (DAE)

Média ± desvio padrão

Níveis de água: I4 = irrigado, I0 = não irrigado

DAE = dias após emergência

O potencial da água na folha, nas plantas dos tratamentos não irrigados foi diminuindo na seqüência de dias de medição, em função do incremento no déficit hídrico. Pode-se verificar o efeito da diminuição do  $\psi_f$  sobre a condutância foliar, a qual tendeu a zero (fechamento total de estômatos). Turner (1974) e Bergonci et al. (2000) observaram, respectivamente, que os estômatos de milho fecham com  $\psi_f$  de -1,7 e -2,2 MPa. Nas plantas dos tratamentos com irrigação, o  $\psi_f$  também atingiu valores relativamente baixos, que podem ser atribuídos às condições de demanda evaporativa alta, nos períodos de medição.

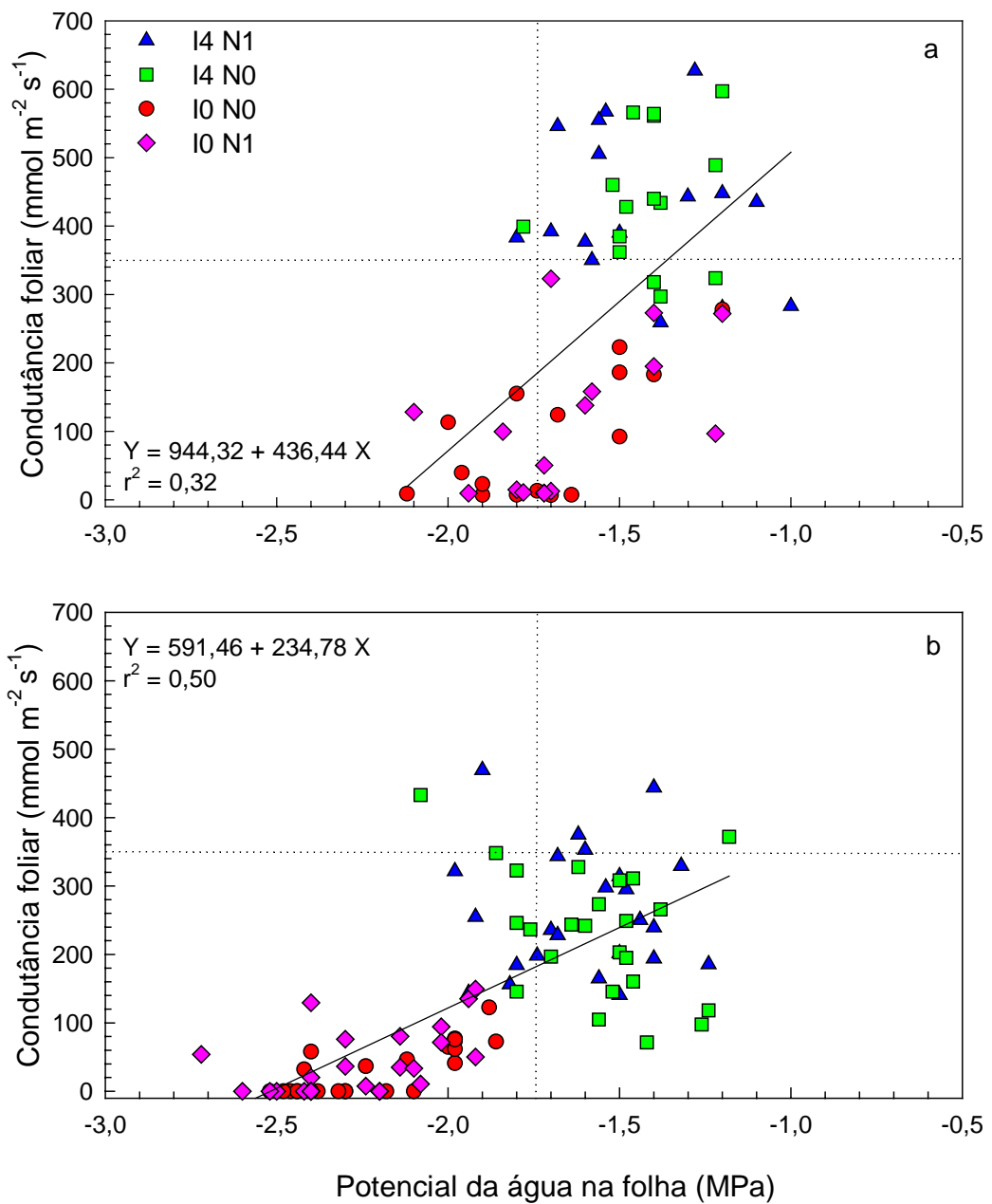


FIGURA 26. Condutância foliar em função do potencial da água na folha de milho, em quatro tratamentos (I4 = irrigado, I0 = não irrigado, N1 = 160 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N, N0 = 40 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N), em diferentes dias após a emergência (a = 52 DAE e 65 DAE; b = 74 DAE, 84 DAE, 93 DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Observa-se que as oscilações de condutância foliar foram maiores com  $\psi_f$  entre  $-1,8$  e  $-1,0$  nas medições realizadas aos 52 e 65 DAE (Figura 26a) e entre  $-2,0$  e  $-1,0$  MPa, aos 74, 84 e 93 DAE (Figura 26b), para as plantas que se encontravam sem limitação hídrica no solo. Provavelmente esta variabilidade se

deve à interação com outros fatores, como luz, déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e vento, os quais, juntamente com a disponibilidade hídrica, atuam sobre os estômatos.

Como o potencial da água na folha ( $\psi_f$ ) é um dos fatores importantes para o controle dos movimentos de abertura e fechamento dos estômatos, quando ocorre déficit hídrico, os estômatos fecham gradativamente, reduzindo a condutância estomática à água e ao CO<sub>2</sub>. Farquhar & Sharkey (1982), Radin & Ackerson (1982) e Krieg (1983) relataram que os estômatos fecham em resposta ao decréscimo no potencial da água na folha. Havendo retorno a condições hídricas favoráveis, haverá retorno da condutância estomática aos níveis normais, podendo, entretanto, este retorno demorar alguns dias (Jones, 1992). Um aumento na condutância estomática não implicará, necessariamente, em recuperação da taxa de assimilação do CO<sub>2</sub>, uma vez que estresse hídrico prolongado poderá levar a danos no aparelho fotossintético e, assim, a uma menor capacidade da planta em assimilar o CO<sub>2</sub> atmosférico (Lawlor, 1987).

Ceulemans et al. (1988) também encontraram menores taxas fotossintéticas em plantas estressadas por déficit hídrico do que nas não estressadas, sendo o  $\psi_f$  menor nas últimas. Contudo, concluíram que a taxa líquida de troca de CO<sub>2</sub> parece responder melhor ao déficit hídrico do solo do que ao  $\psi_f$ . Provavelmente, isto se deve ao fato de que os estômatos se fecham por ação do ácido abscísico produzido nas raízes e transportado para a folha, em condição de solo seco (Tardieu et al., 1993; Tardieu & Davies, 1992).

De acordo com Salisbury & Ross (1994) quando o  $\psi_f$  se situa em torno de -1,0 a -2,0 MPa ocorre restrição na captação de CO<sub>2</sub> e a assimilação de CO<sub>2</sub> cai para níveis próximos de zero, devido à limitação de água. Esta mesma



tendência foi encontrada por Bono et al. (2001), onde a condutância estomática diminuiu à medida em que o potencial da água na folha ( $\psi_f$ ) se tornou menor, sendo que, em torno de  $-1,5$  MPa parece ter ocorrido fechamento dos estômatos, caracterizado pelas baixas condutâncias estomáticas encontradas, predominantes em plantas sem irrigação. Bergonci et al. (2000) também observou, em experimento similar conduzido no mesmo local, que um  $\psi_f$  mínimo (entre  $-1,5$  e  $-2,0$  MPa) poderia ser utilizado como indicador de déficit hídrico, abaixo do qual os estômatos se mantiveram praticamente fechados. Entre  $-1,5$  MPa e  $-0,8$  MPa a resposta foi bastante variada, demonstrando ser altamente influenciada por outros fatores do meio. Acima de  $-0,8$  MPa a condutância estomática foi alta, quando outros fatores, como radiação solar e temperatura do ar, não se mostravam limitantes.

## 5.5. CONCLUSÕES

A deficiência hídrica reduz o teor de clorofila total em folhas de milho. Considerando a mesma condição hídrica, os maiores teores de clorofila ocorrem com maior disponibilidade de N.

Aumentos no teor de clorofila na folha proporcionam maiores taxas de fotossíntese, sendo estas dependentes da disponibilidade de água e de N.

Aumentos na condutância foliar e na taxa de fotossíntese de milho ocorrem sem deficiência hídrica e com alta disponibilidade de N. A disponibilidade hídrica tem maior influência do que a disponibilidade de nitrogênio sobre a taxa de fotossíntese e condutância foliar.

A ausência de deficiência hídrica mantém elevado o potencial da água em folhas de milho, possibilitando maior condutância foliar e maior taxa de fotossíntese, em comparação a plantas com deficiência hídrica.

## **CAPÍTULO VI**

### **Conclusões gerais**

O rendimento de grãos, a produção de matéria seca (MS) e o índice de área foliar (IAF) do milho são dependentes do nitrogênio (N) disponível. Este, por sua vez, além da dose de N mineral, é influenciado pelo N total do solo, pelas culturas que antecedem sua semeadura, pela relação C/N destas espécies e pelo tipo de preparo de solo.

Os sistemas de cultura com presença de leguminosas proporcionam maiores quantidades de N disponível, em relação a sistemas com gramíneas, possibilitando equivalente disponibilidade de N com menor dose de N mineral.

Maiores IAF em milho são obtidos com maior disponibilidade de N, possibilitando maiores produções de MS e rendimento de grãos.

As variáveis IAF, produção de MS, rendimento de grãos, teor de N na planta e na folha, teor de clorofila e taxa de fotossíntese aumentam com acréscimos de N disponível ao milho.

O teor de clorofila, o potencial da água na folha, a condutância foliar e a taxa de fotossíntese do milho são mais elevados em plantas sem deficiência hídrica e com maior disponibilidade de N. A disponibilidade hídrica tem maior influência sobre a taxa de fotossíntese e a condutância foliar do que a disponibilidade de N.

Aumentos no teor de clorofila total em folhas de milho proporcionam maiores taxas de fotossíntese, sendo ambos dependentes das disponibilidades de água e N. Maiores teores de clorofila ocorrem em plantas sem deficiência hídrica, em comparação com plantas sob déficit hídrico. Na mesma condição hídrica, maiores teores de clorofila ocorrem com alta disponibilidade de N.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n.1, p.157-165, 2001.

AITA, C. et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.101-108, 1994.

ALBERT, R.S.; THORNER, J.P.; FISCUS, E.L. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. **Plant physiology**, Rockville, v.59, p.351-353, 1977.

ALLEN, R.G. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.4, p.650-652, 1989.

ALVES, B.J.R; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R.M. Transformação do nitrogênio em rotações de culturas sob sistema plantio direto. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 163p., p.9-31. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documento 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; VEZZANI, F.M. Nova recomendação de adubação nitrogenada pra o milho sob plantio direto no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.68, p.30-35, 2002.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 217f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.53-560, 2000.

AMADO, T.J.C. et al. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.679-686, 1999.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio pra o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

AMARAL FILHO, J. P. R.; BARBOSA, J.C.; FORNASIERI FILHO, D. Avaliação do teor de nitrogênio e estimativa do teor de clorofila pelo clorofilômetro em folhas de milho de alta tecnologia. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcare Argentina. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.41, n.1, p.1-12, 1995.

ANDREEVA, T.F.; MAEVSKAYA, S.N.; VOEVUDSKAYA, S.Y.U. The relationship between photosynthesis and nitrogen assimilation in mustard plants exposed to elevated nitrate rates in nutrient solutions. **Russian Journal of Plant Physiology**, Jena, v.45, n.6, p.702-705, 1998.

ARGENTA, G. **Manejo do nitrogênio implantado em semeadura direta, em dois ambientes**. 1998. 121f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, Buenos Aires, v.1, n.1, p.23-27, 2001.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da estação agrônômica da UFRGS**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1990. 91p.

BERGONCI, J.I. et al. Condutância foliar como um Indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.27-34, 2000.

BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO, Eldorado do Sul: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nov. 1999, dez. 1999, jan. 2000, fev. 2000.

BONO, L. et al. Alterações no padrão de resposta à luz da condutância estomática do milho causadas pelo déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.27-34, 2001.

BONO, L. **Efeito do déficit hídrico sobre as respostas estomáticas do milho à radiação fotossinteticamente ativa**. 1997. 95f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.897-903, 2000.

BOYER, J.S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, New York, v.56, p.187-218, 1996.

BOYER, J.S. Leaf Water Potentials Measured with a Pressure Chamber. **Plant Physiology**, Rockville, v.42, n.1, p.133-137, 1967.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T., CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.

CAMARGO, F.A. de O. et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A. de O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.117-137.

CAZETTA, J.O.; SEEBAUER, J.R.C.; BELOW, F.E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels growing in vitro. **Annals of Botany**, London, v.84, n.6, p.747-754, 1999.

CERETTA, C.A. et al. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.215-220, 1994.

CEULEMANS, R. et al. Net CO<sub>2</sub> exchange rate as a sensitive indicator of plant water status in corn (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, n.3, p.597-606, 1988.

CHAVES, M. M. Effects of water deficit on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.42, n.234, p.1-16, 1991.

COELHO, A.M. et al. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.1, p.61-67, 1992.

COSTA, F.M.P.; DOURADO-NETO, D.; FANCELLI, A.L.. Desempenho de genótipos de milho (*Zea mays* L.) submetidos a doses crescentes de nitrogênio em duas épocas de semeadura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Effects of water stress on photosynthesis, respiration and growth of faba bean (*Vicia faba* L.) growing under field conditions. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.9-16, 1997.

COSTA, R.C.L. et al. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1371-1379, 1998.

DA ROS, C.O.; AITA, C. Efeitos de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n.1, p.135-140, 1996.

DEMMING-ADAMS, B.; VERHOEVEN, A. S.; ADAMS, W.W. Enhanced employment of the xanthophyll cycle and thermal energy dissipation in spinach exposed to high light and N stress. **Plant Physiology**, Rockville, v.113, n.3, p.817-854, 1997.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Produção de milho**. Piracicaba: Agropecuária, 2000. 360p.

EBELHAR, S.A.; FRYE, W.W.; BLEVINS, R.L. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.1, p.51-55, 1984.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA - PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO, 1999. 412p.

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C<sub>3</sub> plants. **Oecologia**, Berlin, v.78, n.1, p.9-19, 1989a.

EVANS, J. R.; TERASHIMA, I. Effects of nitrogen nutrition on electron transport components and photosynthesis in spinach. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.14, n.1, p.59-68, 1987.

EVANS, J.R. Photosynthesis - the dependence on nitrogen partitioning. In: LAMBERS, H. et al. (Eds.). **Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants**. The Hague: SPB Academic Publishing, 1989b. p.159-174.

FANCELLI, A. L., DOURADO-NETO, D.; CASADEI, R. Desempenho da cultura de milho em função de doses de nitrogênio aplicadas em diferentes estádios fenológicos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1CD-ROM.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton (Palo Alto), v.33, p.317-345, 1982.

FERNANDES, S.B.V. **Disponibilidade e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho em sistemas de cultura.** 1998. 137f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

FERRAR, P.J.; OSMOND, C.B. Nitrogen supply as a factor influencing photoinhibition and photosynthetic acclimation after transfer of shade-grown *Solanum dulcamara* to bright light. **Planta**, Berlin, v.168, n.4, p.563-570, 1986.

FIELD, C.; MERINO, J. MOONEY, H.A. Compromises between water use efficiency and nitrogen use efficiency in five species of Califórnia evergreens. **Oecologia**, Berlin, v.60, n.3, p.384-389, 1983.

FIELD, C.; MOONEY, H.A. The photosynthesis - relationship in wild plants. In: GIVNISH, T.J. (Ed). **On the economy of plant form and function.** Cambridge: University Press, 1986. p.25-55.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho.** Jaboticabal: FUNEB, 1992. 273p.

FRANZLUEBBERS, A.J. Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture. **Soil Biol. Biocem.**, Oxford, v.31, n.8, p.1083-1090. 1999.

FREDEEN, A.L.; GAMON, J.A.; FIELD, C.B. Responses of photosynthesis and carbohydrate-partitioning to limitations in nitrogen and water availability in field-grown sunflower. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.14, n.9, p.963-970, 1991.

FREITAS, V.H. et al. Efeito de métodos de preparo do solo e sistemas de cultura na absorção de nitrogênio e rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto alegre, v.2, n.1, p.69-77, 1996.

FREUD, R.J.; LITTELL, R.C.; SPECTOR, P.C. **SAS System for Liner models.** Cary: SAS Institute Inc., 1986. 210 p.

GIFFORD, R.M. Interactions of carbon dioxide with growth - limiting environmental factors in vegetation productivity: Implications for the global carbon cycle. In: DESJARDINS, R.L.; GIFFOD, R.M.; NILSON, T.; GREENWOOD, E.N. (Eds). **Advances in Bioclimatology.** Berlin, Springer - Verlag, 1992. v.1, p.26-58.

GIRARDIN, P. TOLLENAAR, M.; MULDON, J.F. The effect of temporary N starvation on leaf photosynthetic rate and chlorophyll content of maize. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.65, n.3, p.491-500, 1985.

GODWIN, D.C.; JONES, C.A. Nitrogen dynamics in soil-plant systems. **Plant and Soil Systems** - Agronomy Monograph, London, v.31, p.287-321, 1991.

GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B.; MUNNS, R. Soil water status affects stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.13, n.6, p.459-464, 1986.



GUIMARÃES, D.P.; SANS, L.M.A.; MORAES, A.V.C. Estimativa da área foliar de cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

GULMON, S. L.; CHU, C.C. The effects of light and nitrogen on photosynthesis, leaf characteristics and dry matter allocation in the chaparral shrub *Diplacus aurantiacus*. **Oecologia**, Berlin, v. 49, n.2, p.207-212, 1981.

HANKS, R. J. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. Soil Science Society of **America Journal**, Madison, v.40, n.3, p.426-429, 1976.

HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v.55, n.5, p.487-491, 1963.

HEINRICHS, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.331-340, 2001.

HEITHOLT, J. J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and water - stressed winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.3, p.464-469, 1989.

JONES, H. G. **Plant and Microclimate**: A quantitative approach to environmental plant physiology. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 428p.

JONES, C. A. **C<sub>4</sub> Grasses and Cereals**: Growth, Development and Stress Response. New York: John Wiley & Sons, 1985. 419p.

KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). **Nitrogen in agriculture soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.605-649.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

KRIEG, D. R. Photosynthetic activity during stress. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.7, p.249-263, 1983.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531 p.

LAWLOR, D. W. **Photosynthesis**: metabolism, control and physiology. New York: Longman Scientific & Technical, 1987. 261p.

LONG, S. P. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations - has its importance been underestimated? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.14, n.7, p.729-739, 1991.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 130f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LYNCH, J.; WHITE, J. W. Shoot nitrogen dynamics in tropical common bean. **Crop Science**, Madison, v. 32, n.2, p. 392-397, 1992.

MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, São Paulo, v.53, n.2, p.141-149, 1994.

MAE, T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential. **Plant and Soil**, The Hague, v.196, n.2, p.201-210, 1997.

MAKINO, A.; MAE, T.; OHIRA, K. Photosynthesis and ribulose 1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase in rice leaves from emergence through senescence. Qualitative analysis by carboxylation/oxygenation and regeneration of ribulose 1,5-biphosphate. **Planta**, Berlin, v 166, n.3, p.414-20,1985.

MARTIN, G.W.; TOUCHTON, J.T. Legumes as a cover crop and source of nitrogen. **J. Soil War. Cons.** Ankeny, v.38, n.3, p.214-216, 1983.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.33-47.

Mc DERMITT, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **Hort Science**, Alexandria, v.25, p. 1538-1548, 1990.

MOROT-GAUDRY, J.-F.; JOLIVET, E. Métabolisme carboné - Assimilation photosynthétique du carbone chez le maïs. In: GALLAIS, A. (Coord.) **Physiologie du maïs**. Paris: INRA, 1984. p.207-232.

MOSS, D. N. Photosynthesis, respiration, and photorespiration. In: TESAR, M. B. **Physiological basis of crop growth and development**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.131-152.

MOURA, G.M. Efeito do desfolhamento no rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.57-62, 1999.

MUCHOW, R. C. Effect of leaf nitrogen and water regime on the photosynthetic capacity of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under field conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.41, p.845-852, 1990.

MUCHOW, R.C. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment I. Leaf growth and leaf nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.18, n.1, p.1-16, 1988.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L. **O milho no Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. p.88-95. (Circular, 29)

NOVOA, R.; LOOMIS, R.S. Nitrogen and plant production. **Plant and Soil**, Ontario, v.58, n.1-3, p.177-204, 1981.

OLSON, R.A.; KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Science. Society of America, 1982. p.567-604.

PEREIRA, P.G. **Indicadores fisiológicos relacionados à fotossíntese do milho submetido a diferentes níveis de água**. 2001. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Rio de Janeiro: EDUR, 1998. 159p.

PONS, A.L. et al. Efeito de quatro níveis de nitrogênio sobre o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão a diversas espécies de inverno - 1982/83. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 28., 1983, Porto Alegre. **Ata...** Porto Alegre: IPAGRO; EMATER-RS, 1983. p.76-78.

RADIN, J.W.; ACKERSON, R.C. Does abscisic acid control stomatal closure during water stress? **What's New in Plant Physiology**, Gaithersburg, v.13, n.1, p.9-12, 1982.

REICH, P.B.; SCHOETTLE, A.W. Role of phosphorus and nitrogen in photosynthetic and whole plant carbon gain and nutrient-use efficiency in eastern white pine. **Oecologia**, Berlin, v.77, n.1, p.25-33, 1988.

SÁ, J.C.M. Aspectos fisiológicos e adubação nitrogenada. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.3, p.18-22, 1995.

SAGE, R. F.; PEARCY, R. The nitrogen use efficiency of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. II. Leaf nitrogen effects on the gas exchange characteristics of *Chenopodium album* (L.) and *Amaranthus retroflexus* (L.). **Plant Physiology**, Rockville, v.84, n.3, p.959-963, 1987.

SALA, A.; TENHUNEN, J.D. Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* I. under the influence of seasonal drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.78, n.3-4, p.203-222, 1996.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C.W. **Fisiologia Vegetal**. México: Iberoamerica, 1994. 758p.

SCHEPERS, J.S. et al. Comparison of corn leaf-nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.17/20, p.2173-2187, 1992.

SCHIEVING, F. et al. The vertical distribution of nitrogen and photosynthetic activity plant densities in *Carex acutiformis*. **Plant and Soil**, The Hague, v.142, n.1, p.9-17, 1992.

SCHOLANDER, P.F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Alexandria, v.148, n.3668, p.339-346, 1965.

SCHREIBER, H.A.; STANBERRY, C.O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row number at various growth stages. **Science**, Washington, v.135, n.3509, p.135-136, 1988.

SCHURR, L.; GOLLAN, T.; SCHULZE, E.D. Stomatal response to drying soil in relation to changes in the xylem sap concentration of *Helianthus annuus*. I. Stomatal Sensitivity to abscisic acid imported from the xylem sap. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.15, n.5, p.561-567, 1992.

SEEMANN, J.R. et al. Environmental effects on photosynthesis, nitrogen-use efficiency, and metabolite pools in leaves of sun and shade plants. **Plant Physiology**, Rockville, v.84, n.3, p.796-802, 1987.

SHARKEY, T.D. Water stress effects on photosynthesis. **Photosynthetica**, Prague, v.24, n.4, p.651, 1990.

SHULZE, E.D. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.37, p.247-274, 1986.

SILVA, C.J.; MATTER, U.F.; CAZETTA, J.O. Alterações da produção fonte-dreno e seus efeitos sobre o metabolismo do nitrogênio e o desenvolvimento de plantas de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

SINCLAIR, T.R.; GARDNER, F.P. Environment limits to plant production. In: SINCLAIR, T.R. GARDNER, F.P. **Principles of ecology in plant production**. New York: CAB International, 1998. p.63-78.

SOUZA, L.C.F. et al. Efeito da sucessão de culturas e doses de nitrogênio nos componentes de produção do milho em plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

SRINIVASA RAO, N.K.; BHATT, R.M. Response of photosynthesis to water stress in two egg plant (*Solanum melongena* L.) cultivars. **Photosynthetica**, Prague, v.24, n.3, p.506-513, 1990.

STRZALKA, K.; KETNER, P. Trocas de CO<sub>2</sub> nas plantas. In: PRASAD, M. N. V. **Plant Ecophysiology**. New York: John Wiley & Sons, 1997. p.393-456.

SUGIHARTO, B. et al. Regulation of expression of carbon-assimilating enzymes by nitrogen in maize leaf. **Plant Physiology**, Rockville, v.92, n.4, p.963-969, 1990.

TARDIEU, F.; DAVIES, W.J. Stomatal response to abscisic acid a function of current plant water status. **Plant Physiology**, Rockville, v.98, n.2, p.540-545, 1992.

TARDIEU, F.; ZHANG, J.; GOWING, D.J.G. Stomatal control by both [ABA] in the xilem sap and leaf water status: a test of a model for droughted or ABA-fed field-grown maize. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.16, n.4, p.413-420, 1993.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

TEIXEIRA, L.A.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.207-214, 1994.

THOMAS; FUKAI, S. Growth and yield response of barley and chickpea to water stress under three environments in Southeast Queensland. I. Light interception, crop growth and grain yield. **Australian Journal Agricultural Research**, Collingwood, v.46, n.1, p.17-33, 1995.

TOLLEY-HENRY, L; RAPER, C.D. Expansion and photosynthetic rate of leaves of soybean plants during onset and recovery of nitrogen stress. **Botanical Gazette**, Chicago, v.147, n.4, p.400-6. 1986.

TURNER, N. C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. **Plant Physiology**, Rockville, v.53, n.3, p.360-365, 1974.

TYREE, M.T.; ALEXANDER, J.D.A. Plant water relations and the effects of elevated CO<sub>2</sub>: A review and suggestions for future research. **Vegetatio**, Dordrecht, v.104/105, p.47-62, 1993.

VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.; FERREIRA, J.J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.11, p.1835-1845, 1998.

VIANA, M.C.M. et al. Alterações em pigmentos e danos em membranas de milho submetido ao déficit hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

VIRGIN, H. I. Chlorophyll formation and deficit hídrico. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.18, n.4, p.994-1000, 1965.

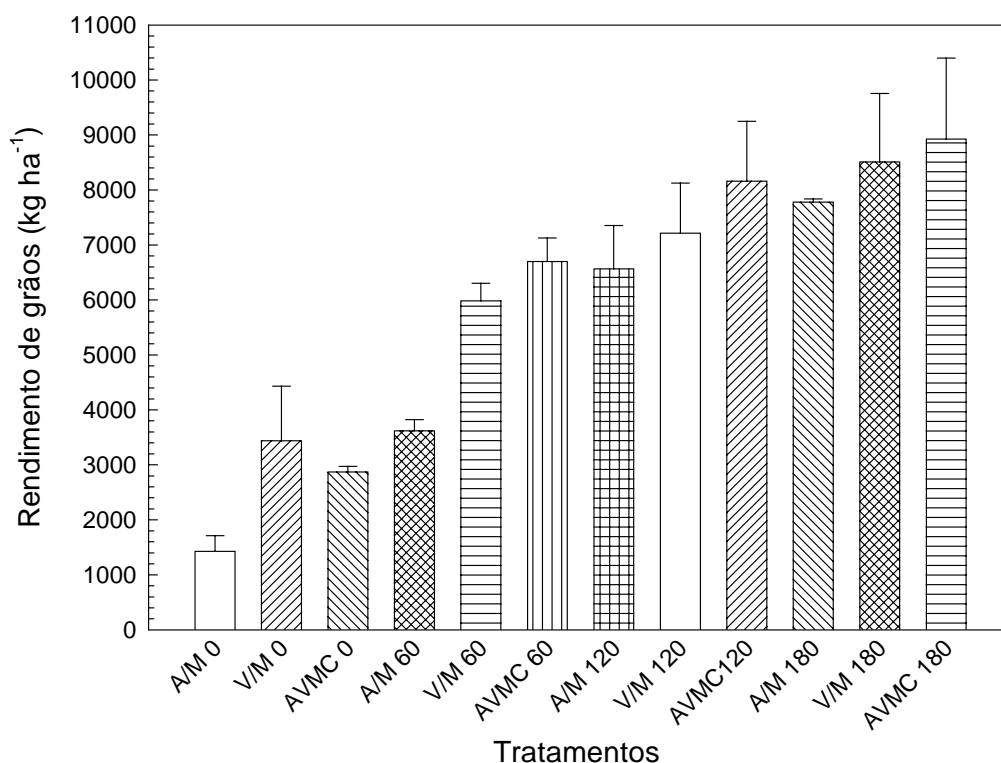
WINTERMANS, J.F.G.M.; De MOTS, A. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in etanol. **Biochimica et Biosphica Acta**, Berlin, v.109, p.448-453, 1965.

WOLFE, D.W. et al. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.6, p.859-864, 1988.

WONG, S.C.; COWAN, I.R.; FARQUHAR, G.D. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. **Nature**, London, v.282, n.5737, p.424-426, 1979.

WONG, S.C. Elevated atmospheric partial pressure of CO<sub>2</sub> and plant growth. I. Interaction of nitrogen nutrition and photosynthetic capacity in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. **Oecologia**, Berlin, v.44, p.68-74, 1979.

## 8. APÊNDICES

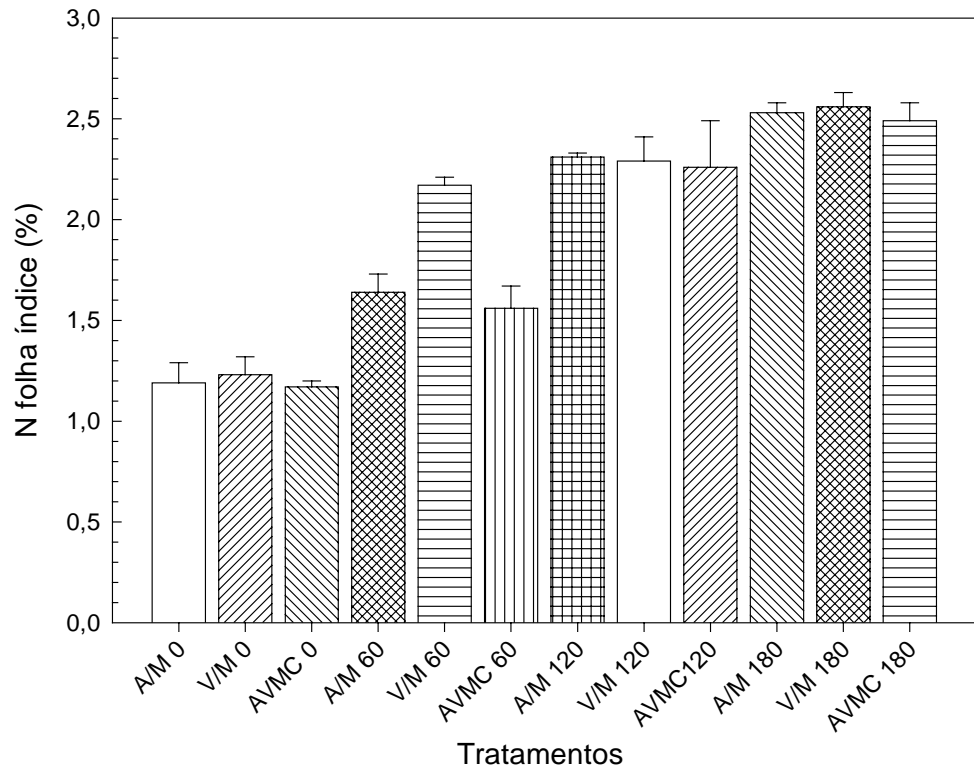


APÊNDICE 1. Rendimento de grãos de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

APÊNDICE 2. Análise de variância do rendimento de grãos de milho (kg ha<sup>-1</sup>) em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	3,842	1,921	0,4696
Cobertura	2	51,420	25,710	0,0196
Erro(a)	4	8,367	2,092	
Nitro	3	295,273	98,424	0,0001
Erro (b)	6	6,180	1,030	
Cob*Nitro	6	33,977	5,663	0,0037
Erro (c)	12	10,972	0,914	
Total Corrigido	35	410,032		

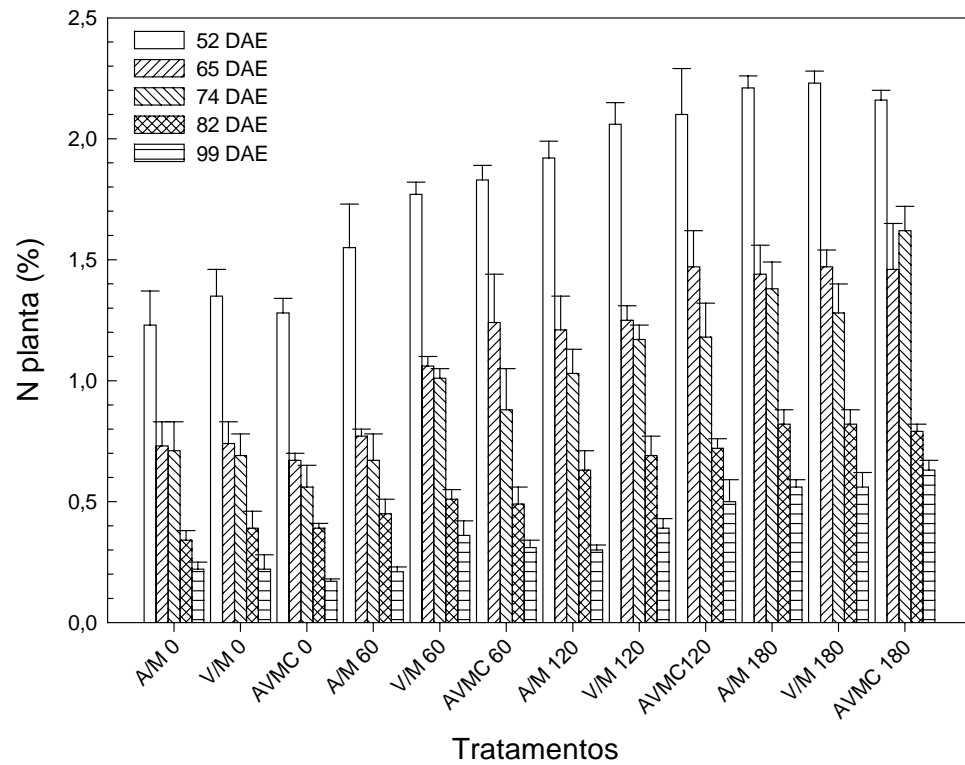




APÊNDICE 3. Teor de N na folha índice de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

APÊNDICE 4. Análise de variância do teor de N na folha índice (%) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	0,022	0,011	0,2058
Cobertura	2	0,240	0,120	0,0048
Erro(a)	4	0,018	0,004	
Nitro	3	9,335	3,112	0,0001
Erro (b)	6	0,075	0,012	
Cob*Nitro	6	0,433	0,072	0,0029
Erro (c)	12	0,131	0,011	
Total Corrigido	35	10,253		



APÊNDICE 5. Teor de N na planta de milho em cinco estádios (DAE = dias após emergência), diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

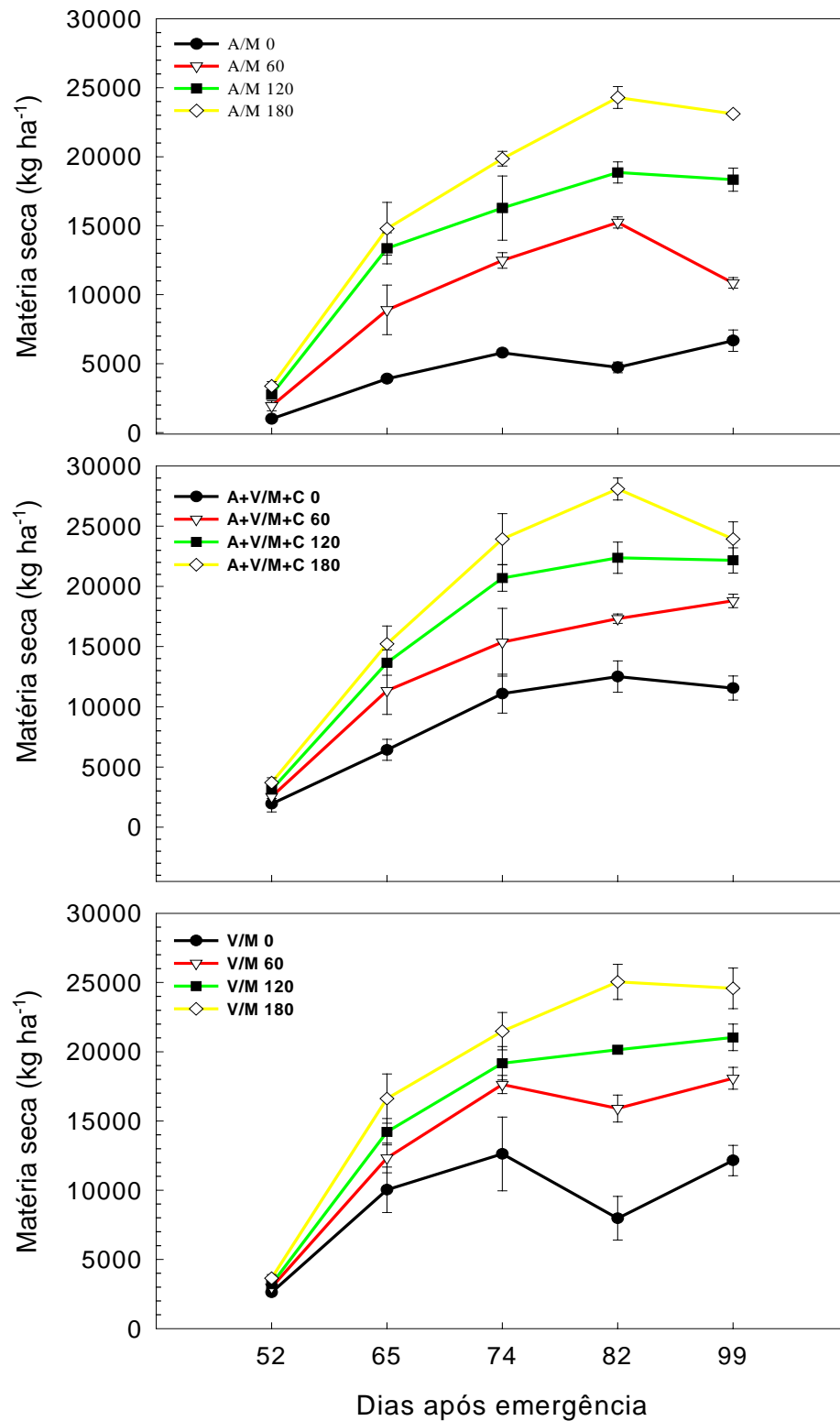
APÊNDICE 6. Análise de variância do teor de N na planta (%) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Análise de variância para os efeitos entre os indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	0,030	0,015	0,2314
Cobertura	2	0,355	0,178	0,0052
Erro(a)	4	0,028	0,007	
Nitro	3	10,287	3,429	0,0001
Erro (b)	6	0,048	0,008	
Cob*Nitro	6	0,352	0,059	0,0035
Erro (c)	12	0,112	0,009	
Total Corrigido	35	11,212		

Análise de variância para os efeitos dentro dos indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Dia	4	44,489	11,122	0,0001
Erro (d)	8	0,019	0,002	
Dia*Cob	8	0,070	0,009	0,3909
Erro (e)	16	0,124	0,008	
Dia*Nitro	12	1,797	0,150	0,0001
Erro (f)	24	0,153	0,006	
Dia*Cob*Nitro	24	0,466	0,019	0,0302
Erro (g)	48	0,494	0,010	
Total Corrigido	144	47,612		



APÊNDICE 7. Matéria seca aérea (MS) de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

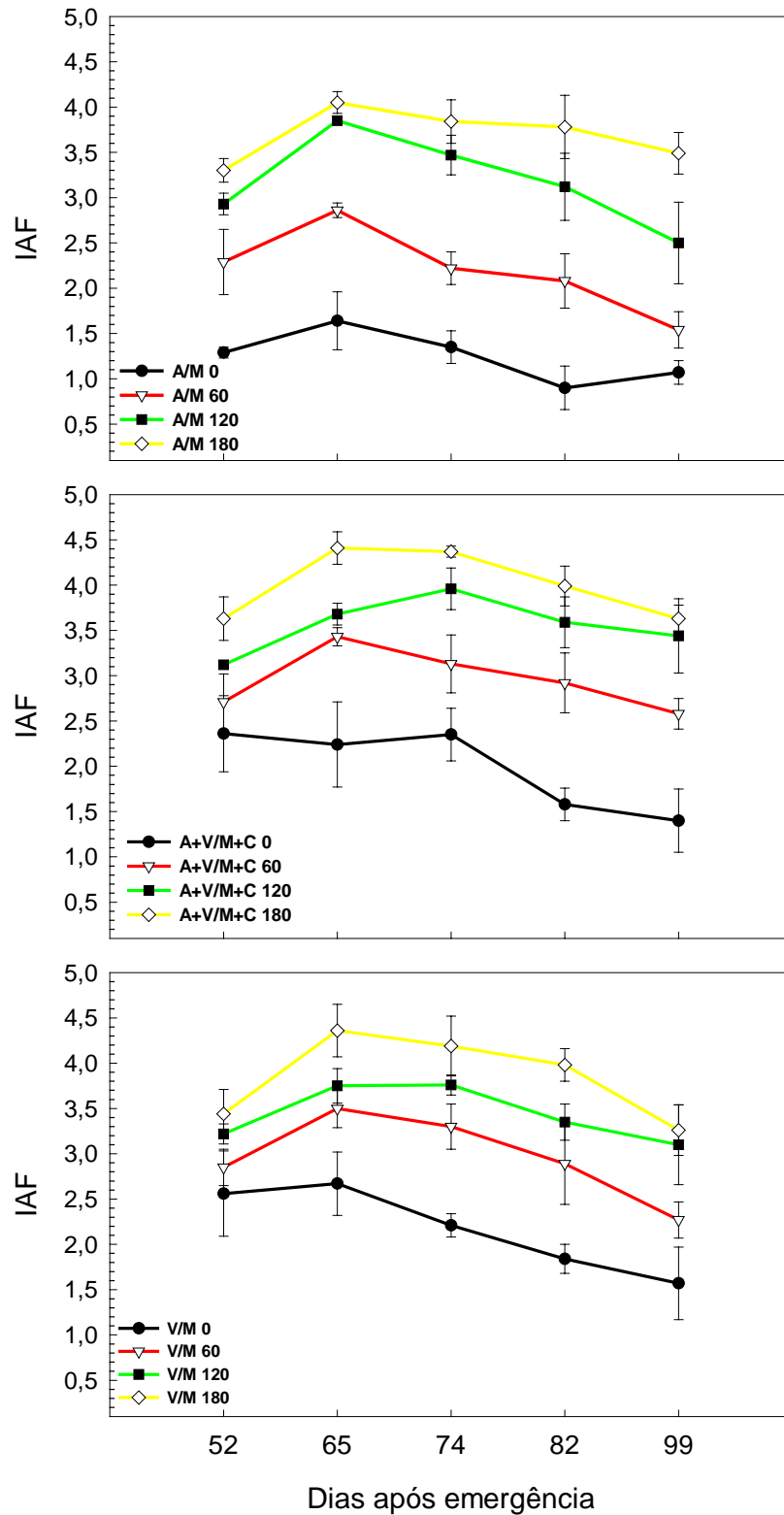
APÊNDICE 8. Análise de variância da matéria seca aérea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Análise de variância para os efeitos entre os indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	21,260	10,630	0,0002
Cobertura	2	216,352	108,176	0,0001
Erro(a)	4	0,338	0,084	
Nitro	3	1.430,187	476,729	0,0001
Erro (b)	6	7,007	1,168	
Cob*Nitro	6	45,500	7,583	0,0035
Erro (c)	12	14,454	1,204	
Total Corrigido	35	1.735,097		

Análise de variância para os efeitos dentro dos indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Dia	4	11.990,665	2.997,666	0,0001
Erro (d)	8	28,807	3,601	
Dia*Cob	8	166,776	20,847	0,0001
Erro (e)	16	6,350	0,397	
Dia*Nitro	12	1.175,476	97,956	0,0001
Erro (f)	24	19,358	0,807	
Dia*Cob*Nitro	24	89,707	3,738	0,0001
Erro (g)	48	34,442	0,718	
Total Corrigido	144	13.511,580		



APÊNDICE 9. Índice de área foliar (IAF) de milho em diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

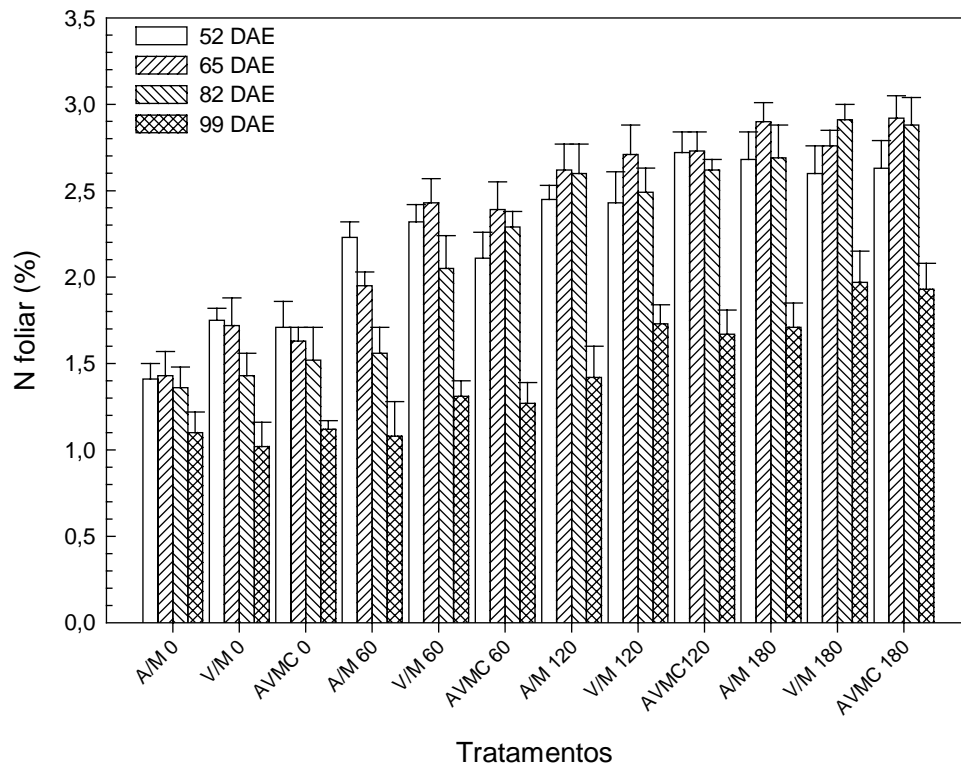
APÊNDICE 10. Análise de variância do índice de área foliar (IAF) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Análise de variância para os efeitos entre os indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	7,884	3,942	0,4333
Cobertura	2	163,721	81,860	0,0072
Erro(a)	4	15,185	3,796	
Nitro	3	1.411,575	470,525	0,0001
Erro (b)	6	8,287	1,381	
Cob*Nitro	6	54,056	9,009	0,0002
Erro (c)	12	8,805	0,734	
Total Corrigido	35	1.669,512		

Análise de variância para os efeitos dentro dos indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Dia	4	242,905	60,726	0,0001
Erro (d)	8	4,295	0,537	
Dia*Cob	8	13,898	1,737	0,132
Erro (e)	16	14,684	0,918	
Dia*Nitro	12	56,121	4,677	0,0001
Erro (f)	24	13,942	0,581	
Dia*Cob*Nitro	24	30,621	1,276	0,2972
Erro (g)	48	51,463	1,072	
Total Corrigido	144	427,930		



APÊNDICE 11. Teor de N na folha de milho em quatro estádios (DAE = dias após emergência), diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.



APÊNDICE 12. Análise de variância do teor de N foliar (%) de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Análise de variância para os efeitos entre os indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	0,011	0,006	0,9444
Cobertura	2	0,977	0,479	0,0810
Erro(a)	4	0,381	0,095	
Nitro	3	26,439	8,813	0,0001
Erro (b)	6	0,112	0,019	
Cob*Nitro	6	0,338	0,056	0,0132
Erro (c)	12	0,151	0,013	
Total Corrigido	35	28,410		

Análise de variância para os efeitos dentro dos indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Dia	3	18,769	6,256	0,0001
Erro (d)	6	0,066	0,011	
Dia*Cob	6	0,112	0,019	0,2365
Erro (e)	12	0,142	0,012	
Dia*Nitro	9	1,710	0,190	0,0001
Erro (f)	18	0,149	0,008	
Dia*Cob*Nitro	18	1,053	0,059	0,0001
Erro (g)	36	0,443	0,012	
Total Corrigido	108	22,444		

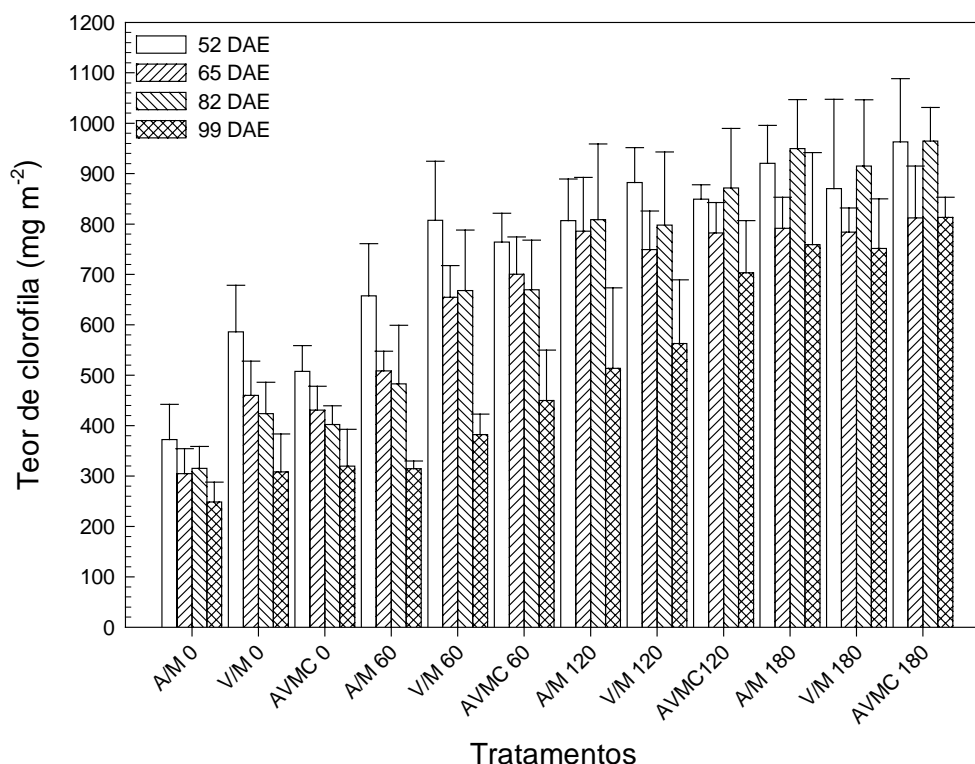
APÊNDICE 13. Teor de clorofila total e taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura, doses de N mineral e sistemas de preparo de solo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Tratamentos	Teor de clorofila total (mg m <sup>-2</sup> )	Taxa de fotossíntese (umol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
AM 0 D	235 ± 57	23,0 ± 2,5
AM 0 C	273 ± 94	26,7 ± 2,7
VM 0 D	260 ± 63	28,1 ± 6,6
VM 0 C	323 ± 52	27,6 ± 4,2
AM 180 D	679 ± 171	35,2 ± 4,3
AM 180 C	603 ± 111	35,6 ± 3,8
VM 180 D	759 ± 185	36,5 ± 2,9
VM 180 C	675 ± 128	35,5 ± 3,7

Sistemas de cultura: AM = Aveia/Milho, VM = Vica/Milho

Doses de N mineral: 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>

Sistemas de preparo de solo: D = Plantio Direto, C = Plantio Convencional



APÊNDICE 14. Teor de clorofila total de milho em quatro estádios (DAE = dias após emergência), diferentes sistemas de cultura (A/M = Aveia/Milho; V/M = Vica/Milho e A+V/M+C = Aveia+Vica/Milho+Caupi) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

APÊNDICE 15. Análise de variância do teor de clorofila total de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho e vica/milho), doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e sistemas de preparo de solo (plantio direto e convencional). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	5,740	2,870	0,0431
Preparo	1	49,548	49,548	0,0026
Erro (a)	2	0,259	0,129	
Cobertura	1	5,375	5,375	0,0280
Prep*Cob	1	12,346	12,346	0,0069
Erro (b)	4	1,893	0,473	
Nitro	1	219,029	219,029	0,0069
Erro (c)	2	3,075	1,538	
Prep*Nitro	1	4,521	4,521	0,0287
Erro (d)	2	0,271	0,135	
Cob*Nitro	1	0,245	0,245	0,4427
Erro (e)	2	0,544	0,272	
Prep*Cob*Nitro	1	0,053	0,053	0,8891
Erro (f)	2	4,219	2,110	
Total Corrigido	23	307,117		

APÊNDICE 16. Análise de variância do teor de clorofila total na folha de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Análise de variância para os efeitos entre os indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	8,749	4,375	0,3818
Cobertura	2	34,666	17,333	0,0840
Erro(a)	4	14,149	3,537	
Nitro	3	958,369	319,456	0,0001
Erro (b)	6	5,671	0,945	
Cob*Nitro	6	20,591	3,432	0,0338
Erro (c)	12	12,114	1,010	
Total Corrigido	35	1.054,310		

Análise de variância para os efeitos dentro dos indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Dia	3	173,335	57,778	0,0001
Erro (d)	6	0,560	0,093	
Dia*Cob	6	5,240	0,873	0,5915
Erro (e)	12	13,184	1,099	
Dia*Nitro	9	57,057	6,340	0,0001
Erro (f)	18	7,964	0,442	
Dia*Cob*Nitro	18	15,268	0,848	0,7540
Erro (g)	36	41,539	1,154	
Total Corrigido	108	314,146		

APÊNDICE 17. Análise de variância da taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho e vica/milho), doses de N mineral (0 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e sistemas de preparo de solo (plantio direto e convencional). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	2,056	1,028	0,5751
Preparo	1	18,538	18,538	0,0675
Erro (a)	2	2,783	1,391	
Cobertura	1	61,624	61,624	0,0014
Prep*Cob	1	5,812	5,812	0,0743
Erro (b)	4	4,032	1,008	
Nitro	1	66,826	66,826	0,0312
Erro (c)	2	4,373	2,187	
Prep*Nitro	1	1,278	1,278	0,2009
Erro (d)	2	0,724	0,362	
Cob*Nitro	1	0,633	0,633	0,5098
Erro (e)	2	2,000	1,000	
Prep*Cob*Nitro	1	0,264	0,264	0,0568
Erro (f)	2	0,033	0,016	
Total Corrigido	23	170,975		

APÊNDICE 18. Taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura e doses de N mineral. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Tratamentos	Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	
	52 DAE	82 DAE
AM 0	35,7 ± 3,1	32,9 ± 4,5
AM 60	46,2 ± 5,5	37,1 ± 5,1
AM 120	44,4 ± 4,0	35,0 ± 4,3
AM 180	42,3 ± 3,5	35,6 ± 3,1
VM 0	41,0 ± 4,0	34,5 ± 5,2
VM 60	44,7 ± 3,4	38,1 ± 3,4
VM 120	42,4 ± 4,6	29,9 ± 8,6
VM 180	44,4 ± 4,7	32,6 ± 2,5
AVC 0	42,1 ± 2,4	37,5 ± 2,9
AVC 60	46,2 ± 4,2	39,6 ± 3,1
AVC 120	44,4 ± 2,4	33,0 ± 3,2
AVC 180	47,4 ± 4,3	35,1 ± 4,1

Sistemas de cultura: AM = Aveia/Milho, AVC = Aveia+Vica/Milho+Caupi, VM = Vica/Milho

Doses de N mineral: 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>

DAE = dias após emergência

APÊNDICE 19. Análise de variância da taxa de fotossíntese de milho em diferentes sistemas de cultura (aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi e vica/milho) e doses de N mineral (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2000/01.

Análise de variância para os efeitos entre os indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Bloco	2	34,851	17,425	0,2207
Cobertura	2	73,339	36,670	0,0878
Erro(a)	4	30,875	7,719	
Nitro	3	229,142	76,381	0,0393
Erro (b)	6	85,651	14,275	
Cob*Nitro	6	91,481	15,247	0,4266
Erro (c)	12	169,509	14,126	
Total Corrigido	35	714,848		

Análise de variância para os efeitos dentro dos indivíduos

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Prob.>F
Dia	1	1.255,423	1255,423	0,1003
Erro (d)	2	295,465	147,733	
Dia*Cob	2	18,000	9,000	0,5072
Erro (e)	4	44,540	11,135	
Dia*Nitro	3	117,118	39,039	0,1258
Erro (f)	6	81,604	13,601	
Dia*Cob*Nitro	6	35,279	5,880	0,6430
Erro (g)	12	98,275	8,190	
Total Corrigido	36	1.945,704		

APÊNDICE 20. Precipitação pluvial observada no período experimental (1999/2000) e média climatológica do período 1970 a 1989, EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Mês	Decêndio	Precipitação (mm)	
		Observada <sup>1</sup>	Média climatológica <sup>2</sup>
Novembro	1	88,4	45,0
	2	0,0	27,3
	3	27,0	35,6
Dezembro	1	78,6	33,9
	2	24,4	38,3
	3	3,5	23,5
Janeiro	1	3,1	37,4
	2	32,1	42,5
	3	14,4	34,9
Fevereiro	1	16,6	44,7
	2	0,2	36,0
	3	68,2	26,9

<sup>1</sup>Fonte: Boletim Agrometeorológico da EEA/UFRGS (PDGA, 2000)

<sup>2</sup>Média climatológica do período 1970 a 1989. Fonte: Bergamaschi & Guadagnin (1990)

APÊNDICE 21. Balanço hídrico diário da cultura do milho para o tratamento irrigado (I4), para o período de 09 de novembro de 1999 a 16 de fevereiro de 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Tratamentos irrigados (I4)									
Dia	P + I	ETo	Kc	ETm	P-ETm	ETR	DEF	EXC	ETR/ETm
09/Nov	0	1,84	0,53	0,98	-0,98	0,84	-0,1	0	0,86
10/Nov	0	4,39	0,54	2,36	-2,36	1,99	-0,4	0	0,84
11/Nov	0	3,93	0,54	2,14	-2,14	1,74	-0,4	0	0,82
12/Nov	0	5,78	0,55	3,19	-3,19	2,51	-0,7	0	0,79
13/Nov	0	5,07	0,56	2,85	-2,85	2,15	-0,7	0	0,75
14/Nov	0	4,36	0,57	2,50	21,30	2,50	0	0,4	1,00
15/Nov	23,8	6,16	0,59	3,61	-3,61	3,61	0	0	1,00
16/Nov	0	6,18	0,60	3,69	-3,69	3,51	-0,2	0	0,95
17/Nov	0	6,15	0,61	3,74	-3,74	3,39	-0,4	0	0,90
18/Nov	0	5,97	0,62	3,70	-3,70	3,18	-0,5	0	0,86
19/Nov	0	5,94	0,63	3,75	-3,75	3,06	-0,7	0	0,82
20/Nov	0	5,62	0,64	3,61	-3,61	2,81	-0,8	0	0,78
21/Nov	0	4,37	0,66	2,86	20,94	2,86	0	1,4	1,00
22/Nov	23,8	4,85	0,67	3,24	-3,24	3,25	0	0	1,00
23/Nov	11,8	4,43	0,68	3,01	8,79	3,01	0	5,5	1,00
24/Nov	3,4	5,41	0,69	3,74	-0,34	3,75	0	0	1,00
25/Nov	11,8	3,78	0,70	2,65	9,15	2,65	0	8,8	1,00
26/Nov	0	5,15	0,71	3,67	-3,67	3,68	0	0	1,00
27/Nov	0	2,84	0,72	2,06	-2,06	1,98	-0,1	0	0,96
28/Nov	0	3,32	0,73	2,44	-2,44	2,27	-0,2	0	0,93
29/Nov	0	5,12	0,74	3,81	19,99	3,81	0	12,1	1,00
30/Nov	23,8	3,63	0,76	2,74	-2,74	2,76	0	0	1,01
01/Dez	70,8	7,07	0,77	5,43	65,37	5,43	0	62,6	1,00
02/Dez	1,6	6,89	0,78	5,40	-3,80	5,39	0	0	1,00
03/Dez	0	5,09	0,80	4,06	-4,06	3,85	-0,2	0	0,95
04/Dez	0	2,00	0,81	1,62	-1,62	1,48	-0,1	0	0,91
05/Dez	0	6,08	0,83	5,02	-5,02	4,37	-0,6	0	0,87
06/Dez	6,2	5,33	0,84	4,47	1,73	4,47	0	0	1,00
07/Dez	0	3,70	0,85	3,13	-3,13	2,65	-0,5	0	0,85
08/Dez	0	4,49	0,86	3,84	-3,84	3,10	-0,7	0	0,81
09/Dez	0	4,77	0,87	4,14	-4,14	3,16	-1	0	0,76
10/Dez	0	3,45	0,88	3,03	-3,03	2,20	-0,8	0	0,73
11/Dez	0	6,36	0,89	5,66	-5,66	3,88	-1,8	0	0,69
12/Dez	21,4	6,15	0,90	5,56	15,84	5,56	0	0	1,00
13/Dez	0	4,40	0,92	4,03	-4,03	3,44	-0,6	0	0,85
14/Dez	2,8	3,30	0,93	3,07	-0,27	3,02	0	0	0,99
15/Dez	0	4,75	0,94	4,48	-4,48	3,59	-0,9	0	0,80
16/Dez	0	4,67	0,95	4,46	-4,46	3,36	-1,1	0	0,75
17/Dez	0	4,63	0,97	4,48	-4,48	3,18	-1,3	0	0,71
18/Dez	0	4,00	0,98	3,92	-3,92	2,63	-1,3	0	0,67
19/Dez	0	6,98	0,99	6,93	-6,93	4,31	-2,6	0	0,62
20/Dez	0	5,83	1,01	5,88	-5,88	3,35	-2,5	0	0,57
21/Dez	0	6,10	1,02	6,23	17,57	6,23	0	0	1,00
22/Dez	23,8	6,05	1,03	6,25	9,65	6,25	0	0	1,00
23/Dez	15,9	5,19	1,05	5,43	18,37	5,43	0	10,6	1,00
24/Dez	23,8	6,68	1,06	7,06	-7,06	6,91	-0,2	0	0,98
25/Dez	0	6,16	1,07	6,60	-6,60	5,87	-0,7	0	0,89
26/Dez	0	6,27	1,09	6,81	24,89	6,81	0	12,1	1,00
27/Dez	31,7	6,45	1,10	7,11	-7,11	6,95	-0,2	0	0,98
28/Dez	2,7	5,13	1,12	5,75	-3,05	5,48	-0,3	0	0,95
29/Dez	0,8	4,67	1,14	5,31	-4,51	4,70	-0,6	0	0,89
30/Dez	0	2,28	1,15	2,62	-2,62	2,16	-0,5	0	0,82
31/Dez	0	0,97	1,16	1,13	-1,13	0,91	-0,2	0	0,80



## Continuação... APÊNDICE 21.

Dia	P + I	ETo	Kc	ETm	P-ETm	ETR	DEF	EXC	ETR/ETm
01/jan	0	2,43	1,18	2,86	-2,86	2,23	-0,6	0	0,78
02/jan	0	5,64	1,19	6,70	-6,70	4,91	-1,8	0	0,73
03/jan	0	5,92	1,20	7,11	-5,61	5,28	-1,8	0	0,74
04/jan	1,5	4,23	1,21	5,13	22,67	5,13	0	0	1,00
05/jan	27,8	5,57	1,23	6,83	-6,83	6,24	-0,6	0	0,91
06/jan	0	7,08	1,24	8,78	-8,38	7,31	-1,5	0	0,83
07/jan	0,4	5,37	1,25	6,74	17,06	6,74	0	0	1,00
08/jan	23,8	5,52	1,27	7,01	-7,01	6,76	-0,2	0	0,96
09/jan	1,2	5,88	1,29	7,56	-6,36	6,80	-0,8	0	0,90
10/jan	8,4	5,88	1,30	7,66	0,74	7,66	0	0	1,00
11/jan	3,8	4,90	1,31	6,40	-2,60	5,98	-0,4	0	0,93
12/jan	0	5,76	1,30	7,50	16,30	7,50	0	1,5	1,00
13/jan	27	5,11	1,30	6,64	-3,44	6,64	0	0	1,00
14/jan	0	4,18	1,30	5,42	-5,42	5,11	-0,3	0	0,94
15/jan	12,4	4,73	1,29	6,11	6,29	6,11	0	0	1,00
16/jan	1,7	2,06	1,29	2,66	-0,96	2,64	0	0	1,00
17/jan	2,6	4,22	1,29	5,43	-2,83	5,32	-0,1	0	0,98
18/jan	0	4,26	1,28	5,46	-5,46	4,97	-0,5	0	0,91
19/jan	0	2,88	1,28	3,68	-3,68	3,15	-0,5	0	0,85
20/jan	0	5,29	1,28	6,75	-6,75	5,38	-1,4	0	0,80
21/jan	0	5,88	1,27	7,49	16,31	7,49	0	0	1,00
22/jan	23,8	6,66	1,27	8,46	-8,46	7,85	-0,6	0	0,93
23/jan	14,4	3,91	1,27	4,95	9,45	4,95	0	0	1,00
24/jan	0	2,26	1,26	2,86	-2,86	2,82	0	0	0,99
25/jan	0	4,49	1,26	5,66	-5,66	5,27	-0,4	0	0,93
26/jan	0	3,03	1,26	3,81	23,99	3,81	0	14,4	1,00
27/jan	27,8	5,61	1,26	7,05	-7,05	6,89	-0,2	0	0,98
28/jan	0	5,67	1,25	7,11	-7,11	6,31	-0,8	0	0,89
29/jan	0	6,20	1,25	7,76	-7,76	6,22	-1,5	0	0,80
30/jan	0	5,74	1,25	7,16	-7,16	5,19	-2	0	0,72
31/jan	0	2,05	1,24	2,55	25,25	2,55	0	0,6	1,00
01/fev	27,8	2,48	1,24	3,08	-3,08	3,09	0	0	1,00
02/fev	8,4	2,02	1,24	2,50	5,90	2,50	0	2,8	1,00
03/fev	0	2,50	1,24	3,09	-3,09	3,10	0	0	1,00
04/fev	0	1,64	1,23	2,02	-2,02	1,96	-0,1	0	0,97
05/fev	0	3,78	1,23	4,65	-4,65	4,31	-0,3	0	0,93
06/fev	0	5,50	1,23	6,76	17,04	6,76	0	7,7	1,00
07/fev	23,8	5,80	1,23	7,11	-7,11	6,95	-0,2	0	0,98
08/fev	8,2	5,58	1,22	6,82	1,38	6,82	0	0	1,00
09/fev	0	5,53	1,22	6,74	21,06	6,74	0	15,5	1,00
10/fev	27,8	4,83	1,22	5,87	-5,87	5,79	-0,1	0	0,99
11/fev	0	5,72	1,21	6,94	-6,94	6,27	-0,7	0	0,90
12/fev	0	5,71	1,21	6,91	-6,71	5,72	-1,2	0	0,83
13/fev	0,2	5,68	1,21	6,85	-6,85	5,14	-1,7	0	0,75
14/fev	0	4,60	1,20	5,53	22,27	5,53	0	0	1,00
15/fev	27,8	2,53	1,20	3,04	-3,04	3,03	0	0	1,00
16/fev	0	2,83	1,20	3,39	-3,39	3,24	-0,1	0	0,96

Onde: P, é a precipitação; EXC, o excesso hídrico e DEF, o déficit hídrico.

Fonte dos dados: Boletim Agrometeorológico da EEA/UFRGS (PDGA, 2000)

Fonte: Pereira (2001)

Dias de avaliação: 23/12 = 38 dias após a emergência (DAE); 06/01 = 52 DAE; 19/01 = 65 DAE; 28/01 = 74 DAE; 07/02 = 84 DAE; 16/02 = 93 DAE

APÊNDICE 22. Balanço hídrico diário da cultura do milho para o tratamento não irrigado (I0), para o período de 09 de novembro de 1999 a 16 de fevereiro de 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Tratamentos não irrigados (I0)									
Dia	P	ETo	Kc	ETm	P-ETm	ETR	DEF	EXC	ETR/ETm
09/Nov	0	1,84	0,53	0,98	-0,98	0,84	-0,1	0	0,86
10/Nov	0	4,39	0,54	2,36	-2,36	1,99	-0,4	0	0,84
11/Nov	0	3,93	0,54	2,14	-2,14	1,74	-0,4	0	0,82
12/Nov	0	5,78	0,55	3,19	-3,19	2,51	-0,7	0	0,79
13/Nov	0	5,07	0,56	2,85	-2,85	2,15	-0,7	0	0,75
14/Nov	0	4,36	0,57	2,50	-2,50	1,82	-0,7	0	0,73
15/Nov	0	6,16	0,59	3,61	-3,61	2,52	-1,1	0	0,70
16/Nov	0	6,18	0,60	3,69	-3,69	2,45	-1,2	0	0,66
17/Nov	0	6,15	0,61	3,74	-3,74	2,36	-1,4	0	0,63
18/Nov	0	5,97	0,62	3,70	-3,70	2,22	-1,5	0	0,60
19/Nov	0	5,94	0,63	3,75	-3,75	2,13	-1,6	0	0,57
20/Nov	0	5,62	0,64	3,61	-3,61	1,96	-1,7	0	0,54
21/Nov	0	4,37	0,66	2,86	-2,86	1,48	-1,4	0	0,52
22/Nov	0	4,85	0,67	3,24	-3,24	1,61	-1,6	0	0,50
23/Nov	11,8	4,43	0,68	3,01	8,79	3,01	0	0	1,00
24/Nov	3,4	5,41	0,69	3,74	-0,34	3,60	-0,1	0	0,96
25/Nov	11,8	3,78	0,70	2,65	9,15	2,65	0	0	1,00
26/Nov	0	5,15	0,71	3,67	-3,67	2,61	-1,1	0	0,71
27/Nov	0	2,84	0,72	2,06	-2,06	1,41	-0,7	0	0,68
28/Nov	0	3,32	0,73	2,44	-2,44	1,61	-0,8	0	0,66
29/Nov	0	5,12	0,74	3,81	-3,81	2,42	-1,4	0	0,64
30/Nov	0	3,63	0,76	2,74	-2,74	1,67	-1,1	0	0,61
01/Dez	70,8	7,07	0,77	5,43	65,37	5,43	0	34	1,00
02/Dez	1,6	6,89	0,78	5,40	-3,80	5,39	0	0	1,00
03/Dez	0	5,09	0,80	4,06	-4,06	3,85	-0,2	0	0,95
04/Dez	0	2,00	0,81	1,62	-1,62	1,48	-0,1	0	0,91
05/Dez	0	6,08	0,83	5,02	-5,02	4,37	-0,6	0	0,87
06/Dez	6,2	5,33	0,84	4,47	1,73	4,47	0	0	1,00
07/Dez	0	3,70	0,85	3,13	-3,13	2,65	-0,5	0	0,85
08/Dez	0	4,49	0,86	3,84	-3,84	3,10	-0,7	0	0,81
09/Dez	0	4,77	0,87	4,14	-4,14	3,16	-1	0	0,76
10/Dez	0	3,45	0,88	3,03	-3,03	2,20	-0,8	0	0,73
11/Dez	0	6,36	0,89	5,66	-5,66	3,88	-1,8	0	0,69
12/Dez	21,4	6,15	0,90	5,56	15,84	5,56	0	0	1,00
13/Dez	0	4,40	0,92	4,03	-4,03	3,44	-0,6	0	0,85
14/Dez	2,8	3,30	0,93	3,07	-0,27	3,02	0	0	0,99
15/Dez	0	4,75	0,94	4,48	-4,48	3,59	-0,9	0	0,80
16/Dez	0	4,67	0,95	4,46	-4,46	3,36	-1,1	0	0,75
17/Dez	0	4,63	0,97	4,48	-4,48	3,18	-1,3	0	0,71
18/Dez	0	4,00	0,98	3,92	-3,92	2,63	-1,3	0	0,67
19/Dez	0	6,98	0,99	6,93	-6,93	4,31	-2,6	0	0,62
20/Dez	0	5,83	1,01	5,88	-5,88	3,35	-2,5	0	0,57
21/Dez	0	6,10	1,02	6,23	-6,23	3,27	-3	0	0,52
22/Dez	0	6,05	1,03	6,25	-6,25	3,01	-3,2	0	0,48
23/Dez	0	5,19	1,05	5,43	-5,43	2,42	-3	0	0,44
24/Dez	0	6,68	1,06	7,06	-7,06	2,88	-4,2	0	0,41
25/Dez	0	6,16	1,07	6,60	-6,60	2,45	-4,1	0	0,37
26/Dez	0	6,27	1,09	6,81	-6,81	2,31	-4,5	0	0,34
27/Dez	0	6,45	1,10	7,11	-7,11	2,19	-4,9	0	0,31
28/Dez	2,7	5,13	1,12	5,75	-3,05	3,58	-2,2	0	0,62
29/Dez	0,8	4,67	1,14	5,31	-4,51	2,03	-3,3	0	0,38
30/Dez	0	2,28	1,15	2,62	-2,62	0,68	-1,9	0	0,26
31/Dez	0	0,97	1,16	1,13	-1,13	0,29	-0,8	0	0,25

## Continuação... APÊNDICE 22.

Dia	P	ETo	Kc	ETm	P-ETm	ETR	DEF	EXC	ETR/ETm
01/jan	0	2,43	1,18	2,86	-2,86	0,70	-2,2	0	0,25
02/jan	0	5,64	1,19	6,70	-6,70	1,55	-5,2	0	0,23
03/jan	0	5,92	1,20	7,11	-5,61	2,69	-4,4	0	0,38
04/jan	1,5	4,23	1,21	5,13	-5,13	1,01	-4,1	0	0,20
05/jan	0	5,57	1,23	6,83	-6,83	1,24	-5,6	0	0,18
06/jan	0	7,08	1,24	8,78	-8,38	1,77	-7	0	0,20
07/jan	0,4	5,37	1,25	6,74	-6,74	1,00	-5,7	0	0,15
08/jan	0	5,52	1,27	7,01	-7,01	0,94	-6,1	0	0,13
09/jan	1,2	5,88	1,29	7,56	-6,36	1,98	-5,6	0	0,26
10/jan	8,4	5,88	1,30	7,66	0,74	7,66	0	0	1,00
11/jan	3,8	4,90	1,31	6,40	-2,60	4,13	-2,3	0	0,64
12/jan	0	5,76	1,30	7,50	-7,50	0,88	-6,6	0	0,12
13/jan	3,2	5,11	1,30	6,64	-3,44	3,57	-3,1	0	0,54
14/jan	0	4,18	1,30	5,42	-5,42	0,55	-4,9	0	0,10
15/jan	12,4	4,73	1,29	6,11	6,29	6,11	0	0	1,00
16/jan	1,7	2,06	1,29	2,66	-0,96	1,88	-0,8	0	0,71
17/jan	2,6	4,22	1,29	5,43	-2,83	3,10	-2,3	0	0,57
18/jan	0	4,26	1,28	5,46	-5,46	0,92	-4,5	0	0,17
19/jan	0	2,88	1,28	3,68	-3,68	0,58	-3,1	0	0,16
20/jan	0	5,29	1,28	6,75	-6,75	1,00	-5,8	0	0,15
21/jan	0	5,88	1,27	7,49	-7,49	1,00	-6,5	0	0,13
22/jan	0	6,66	1,27	8,46	-8,46	1,02	-7,4	0	0,12
23/jan	14,4	3,91	1,27	4,95	9,45	4,95	0	0	1,00
24/jan	0	2,26	1,26	2,86	-2,86	0,68	-2,2	0	0,24
25/jan	0	4,49	1,26	5,66	-5,66	1,27	-4,4	0	0,22
26/jan	0	3,03	1,26	3,81	-3,81	0,80	-3	0	0,21
27/jan	0	5,61	1,26	7,05	-7,05	1,38	-5,7	0	0,20
28/jan	0	5,67	1,25	7,11	-7,11	1,26	-5,8	0	0,18
29/jan	0	6,20	1,25	7,76	-7,76	1,24	-6,5	0	0,16
30/jan	0	5,74	1,25	7,16	-7,16	1,04	-6,1	0	0,14
31/jan	0	2,05	1,24	2,55	-2,55	0,35	-2,2	0	0,14
01/fev	0	2,48	1,24	3,08	-3,08	0,40	-2,7	0	0,13
02/fev	8,4	2,02	1,24	2,50	5,90	2,50	0	0	1,00
03/fev	0	2,50	1,24	3,09	-3,09	0,63	-2,5	0	0,20
04/fev	0	1,64	1,23	2,02	-2,02	0,40	-1,6	0	0,20
05/fev	0	3,78	1,23	4,65	-4,65	0,87	-3,8	0	0,19
06/fev	0	5,50	1,23	6,76	-6,76	1,18	-5,6	0	0,17
07/fev	0	5,80	1,23	7,11	-7,11	1,12	-6	0	0,16
08/fev	8,2	5,58	1,22	6,82	1,38	6,82	0	0	1,00
09/fev	0	5,53	1,22	6,74	-6,74	1,09	-5,7	0	0,16
10/fev	0	4,83	1,22	5,87	-5,87	0,87	-5	0	0,15
11/fev	0	5,72	1,21	6,94	-6,94	0,94	-6	0	0,14
12/fev	0	5,71	1,21	6,91	-6,71	1,03	-5,9	0	0,15
13/fev	0,2	5,68	1,21	6,85	-6,85	0,77	-6,1	0	0,11
14/fev	0	4,60	1,20	5,53	-5,53	0,57	-5	0	0,10
15/fev	0	2,53	1,20	3,04	-3,04	0,30	-2,7	0	0,10
16/fev	0	2,83	1,20	3,39	-3,39	0,32	-3,1	0	0,09

Onde: P, é a precipitação; EXC, o excesso hídrico e DEF, o déficit hídrico.

Fonte dos dados: Boletim Agrometeorológico da EEA/UFRGS (PDGA, 2000)

Fonte: Pereira (2001)

Dias de avaliação: 23/12 = 38 dias após a emergência (DAE); 06/01 = 52 DAE; 19/01 = 65 DAE; 28/01 = 74 DAE; 07/02 = 84 DAE; 16/02 = 93 DAE

APÊNDICE 23. Análise de variância para taxa fotossintética de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha<sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha<sup>-1</sup>), aos 38, 52 e 65 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

## 38 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	2	188,661	94,330	2,77	0,0894
Água	1	1033,594	1033,594	30,34	0,0001
Nitrogênio	1	113,100	113,100	3,32	0,0851
Nitrogênio * Água	1	19,620	19,620	0,58	0,4577

## 52 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	63,324	21,108	0,81	0,5013
Água	1	13.537,352	13.537,352	518,30	0,0001
Nitrogênio	1	37,110	37,110	1,42	0,2445
Nitrogênio * Água	1	1,001	1,001	0,04	0,8464

## 65 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	147,316	49,105	2,62	0,0732
Água	1	971,303	971,303	51,77	0,0001
Nitrogênio	1	7,703	7,703	0,41	0,5275
Nitrogênio * Água	1	61,328	61,328	3,27	0,0827

APÊNDICE 24. Análise de variância para condutância foliar de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha<sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha<sup>-1</sup>), aos 38, 52, 65, 74, 84, 93 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

## 38 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	2	10.521,813	5.260,907	0,20	0,8215
Água	1	767.266,560	767.266,560	28,98	0,0001
Nitrogênio	1	129.536,427	129.536,427	4,89	0,0401
Nitrogênio * Água	1	39.171,840	39.171,840	1,48	0,2395

## 52 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	24.212,975	8.070,992	0,67	0,5797
Água	1	4.198.549,975	4.198.549,975	347,42	0,0001
Nitrogênio	1	17.522,856	17.522,856	1,45	0,2398
Nitrogênio * Água	1	5.360,784	5.360,784	0,44	0,5115

## 65 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	102.775,785	34.258,595	2,21	0,1125
Água	1	927.031,745	927.031,745	59,67	0,0001
Nitrogênio	1	10.863,380	10.863,380	0,70	0,4110
Nitrogênio * Água	1	54.780,500	54.780,500	3,53	0,0721

## 74 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	11.635,749	3.878,583	0,86	0,4750
Água	1	213.103,134	213.103,134	47,22	0,0001
Nitrogênio	1	13.925,260	13.925,260	3,09	0,0912
Nitrogênio * Água	1	10.524,430	10.524,430	2,33	0,1393

## 84 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	6.344,088	2.114,696	0,35	0,7881
Água	1	538.888,093	538.888,093	89,67	0,0001
Nitrogênio	1	1.712,295	1.712,295	0,28	0,5982
Nitrogênio * Água	1	2.761,360	2.761,360	0,46	0,5041

## 93 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	11.134,455	3.711,485	0,92	0,4439
Água	1	367.301,634	367.301,634	91,38	0,0001
Nitrogênio	1	7.492,104	7.492,104	1,86	0,1843
Nitrogênio * Água	1	1.207,861	1.207,861	0,30	0,5884

APÊNDICE 25. Análise de variância para teor de clorofila total de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha<sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha<sup>-1</sup>), aos 52 e 65 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

## 52 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	83.199,344	27.733,115	3,59	0,0276
Água	1	336.405,031	336.405,031	43,58	0,0001
Nitrogênio	1	57.885,031	57.885,031	7,50	0,0112
Nitrogênio * Água	1	20.655,281	20.655,281	2,68	0,1144

## 65 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.>F
Bloco	3	25.686,125	8.562,042	0,66	0,5820
Água	1	452.200,500	452.200,500	35,07	0,0001
Nitrogênio	1	32.385,125	32.385,125	2,51	0,1256
Nitrogênio * Água	1	1.860,500	1.860,500	0,14	0,7073

APÊNDICE 26. Análise de variância para potencial da água na folha de milho em diferentes níveis de água (I4 – irrigado e I0 – não irrigado) e nitrogênio mineral aplicado (N1 – 160 kg ha<sup>-1</sup> e N0 – 40 kg ha<sup>-1</sup>), aos 52, 65, 74, 84, 93 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1999/2000.

## 52 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.,>F
Bloco	3	0,046	0,015	0,61	0,6168
Água	1	0,772	0,772	30,59	0,0001
Nitrogênio	1	0,004	0,004	0,15	0,7002
Nitrogênio * Água	1	0,017	0,017	0,66	0,4242

## 65 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.,>F
Bloco	3	0,102	0,034	0,60	0,6196
Água	1	0,296	0,296	5,25	0,0307
Nitrogênio	1	0,003	0,003	0,06	0,8139
Nitrogênio * Água	1	0,006	0,006	0,11	0,7462

## 74 DAE

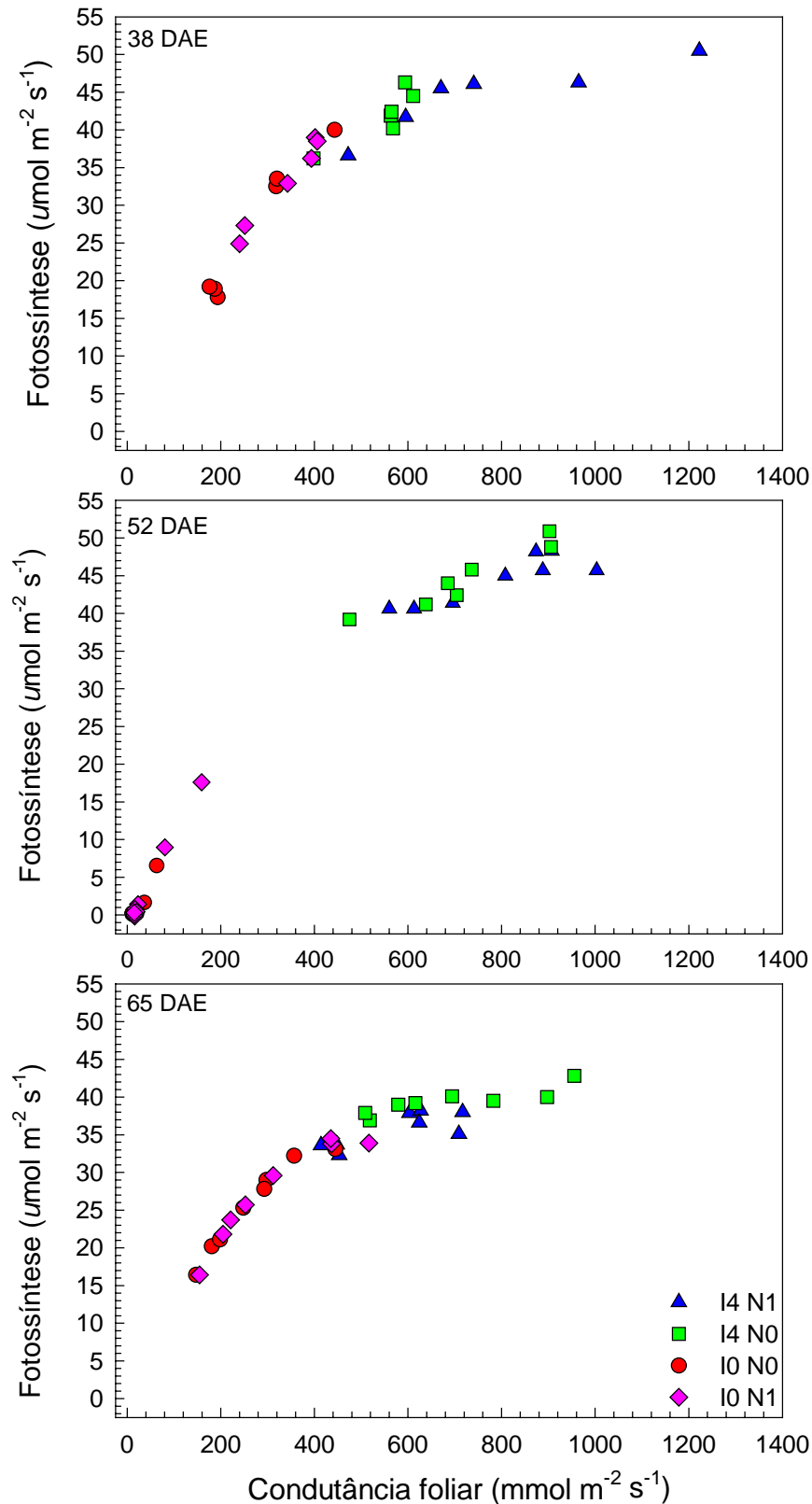
Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.,>F
Bloco	3	0,027	0,009	0,37	0,7740
Água	1	2,442	2,442	101,28	0,0001
Nitrogênio	1	0,026	0,026	1,10	0,3050
Nitrogênio * Água	1	0,016	0,016	0,67	0,4201

## 84 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.,>F
Bloco	3	0,079	0,026	1,40	0,2671
Água	1	1,593	1,593	84,00	0,0001
Nitrogênio	1	0,021	0,021	1,11	0,3026
Nitrogênio * Água	1	0,001	0,001	0,05	0,8191

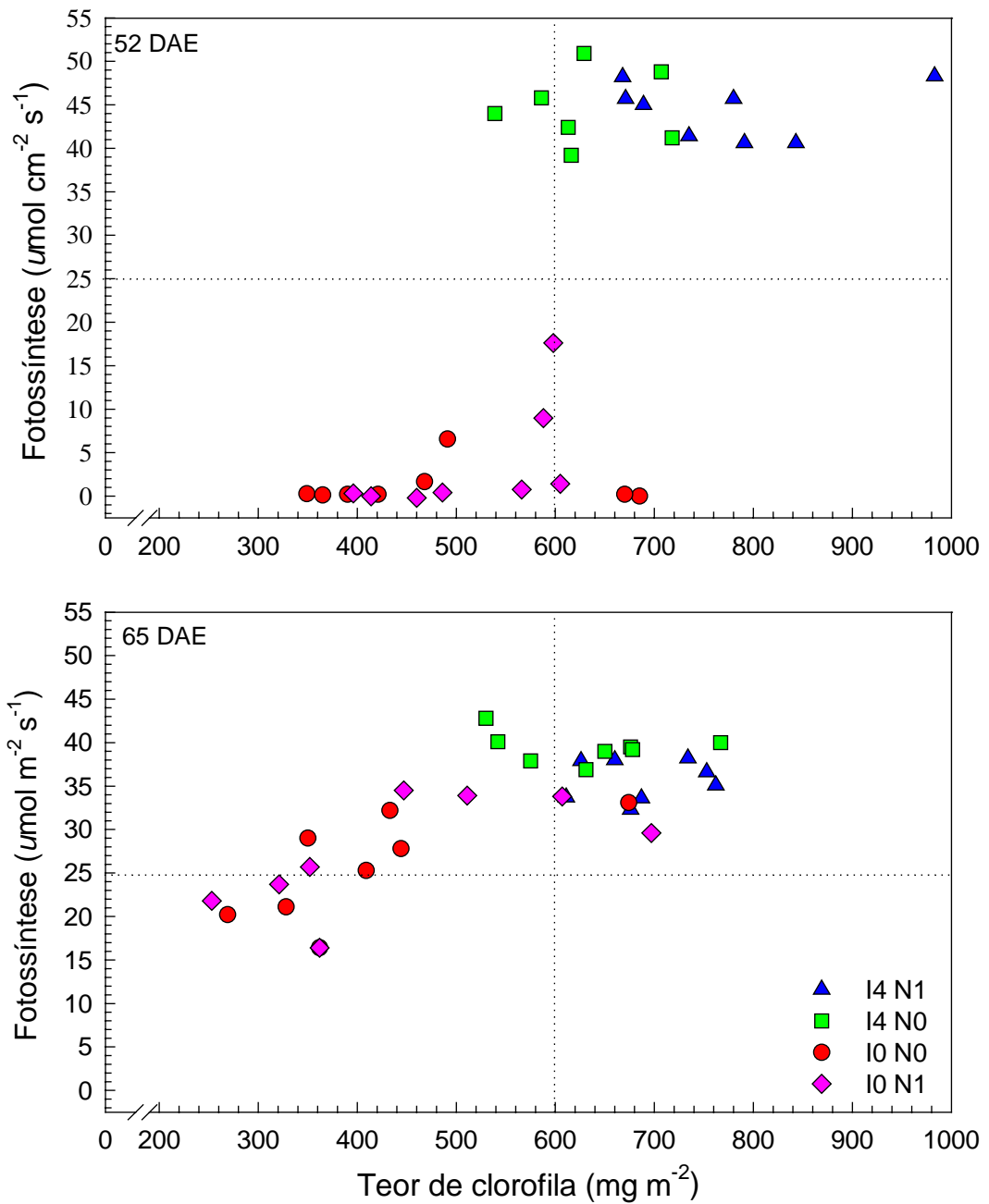
## 93 DAE

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Prob.,>F
Bloco	3	0,053	0,018	1,96	0,1458
Água	1	7,144	7,144	789,59	0,0001
Nitrogênio	1	0,005	0,005	0,55	0,4642
Nitrogênio * Água	1	0,034	0,034	3,74	0,0647

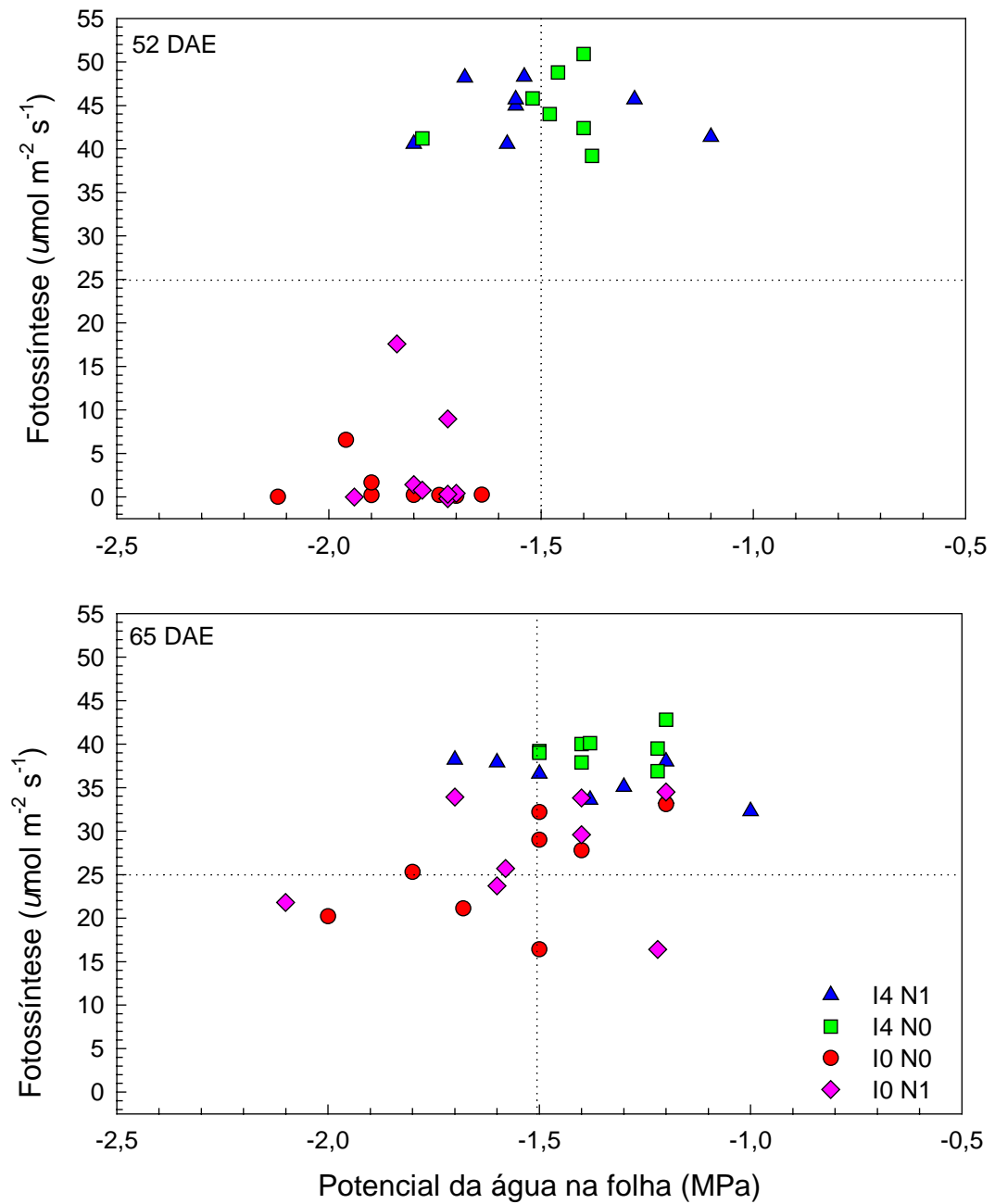


APÊNDICE 27. Fotossíntese em função da condutância foliar em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg  $\text{ha}^{-1}$ , N0 - 40 Kg  $\text{ha}^{-1}$ ), em três dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.

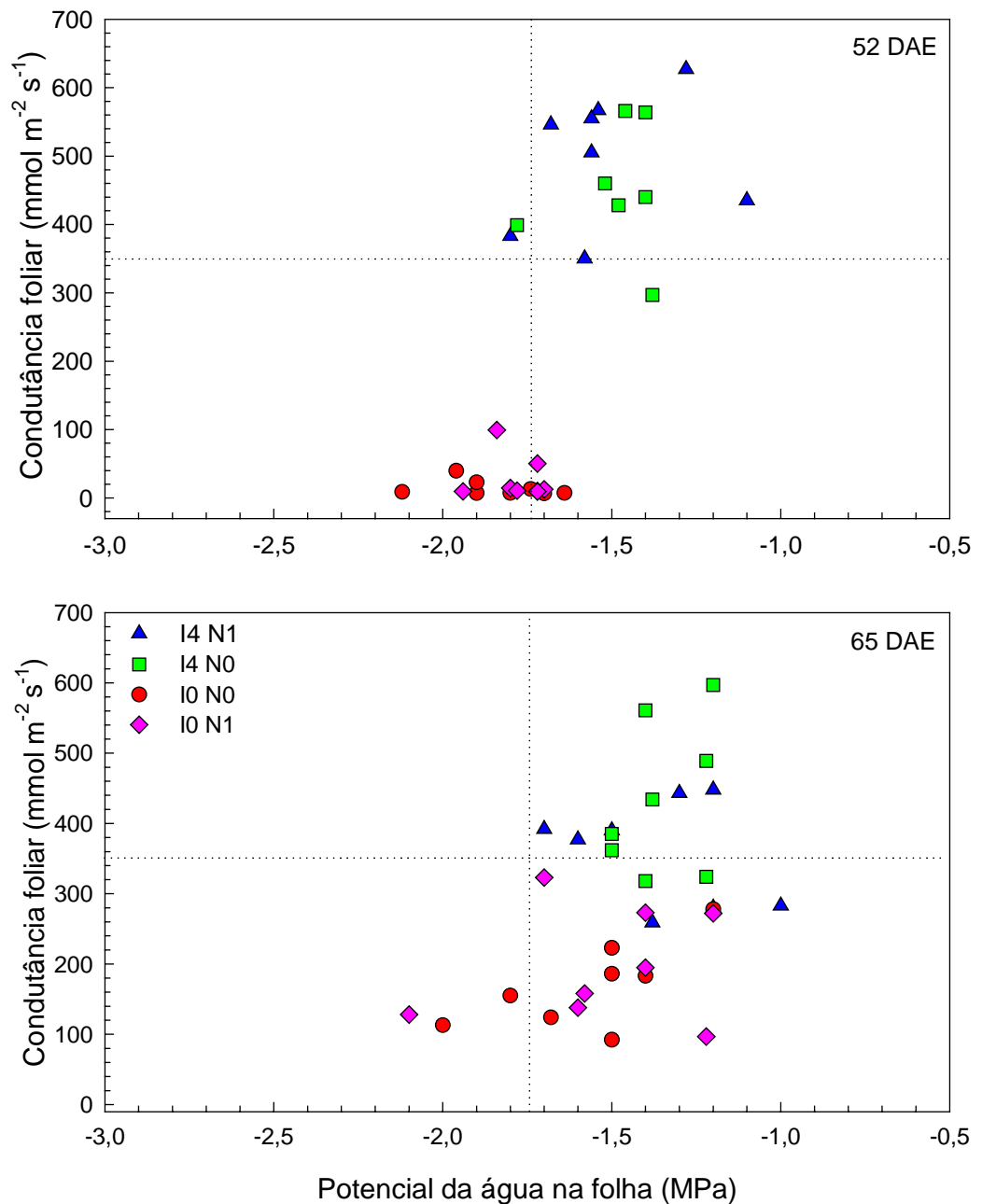




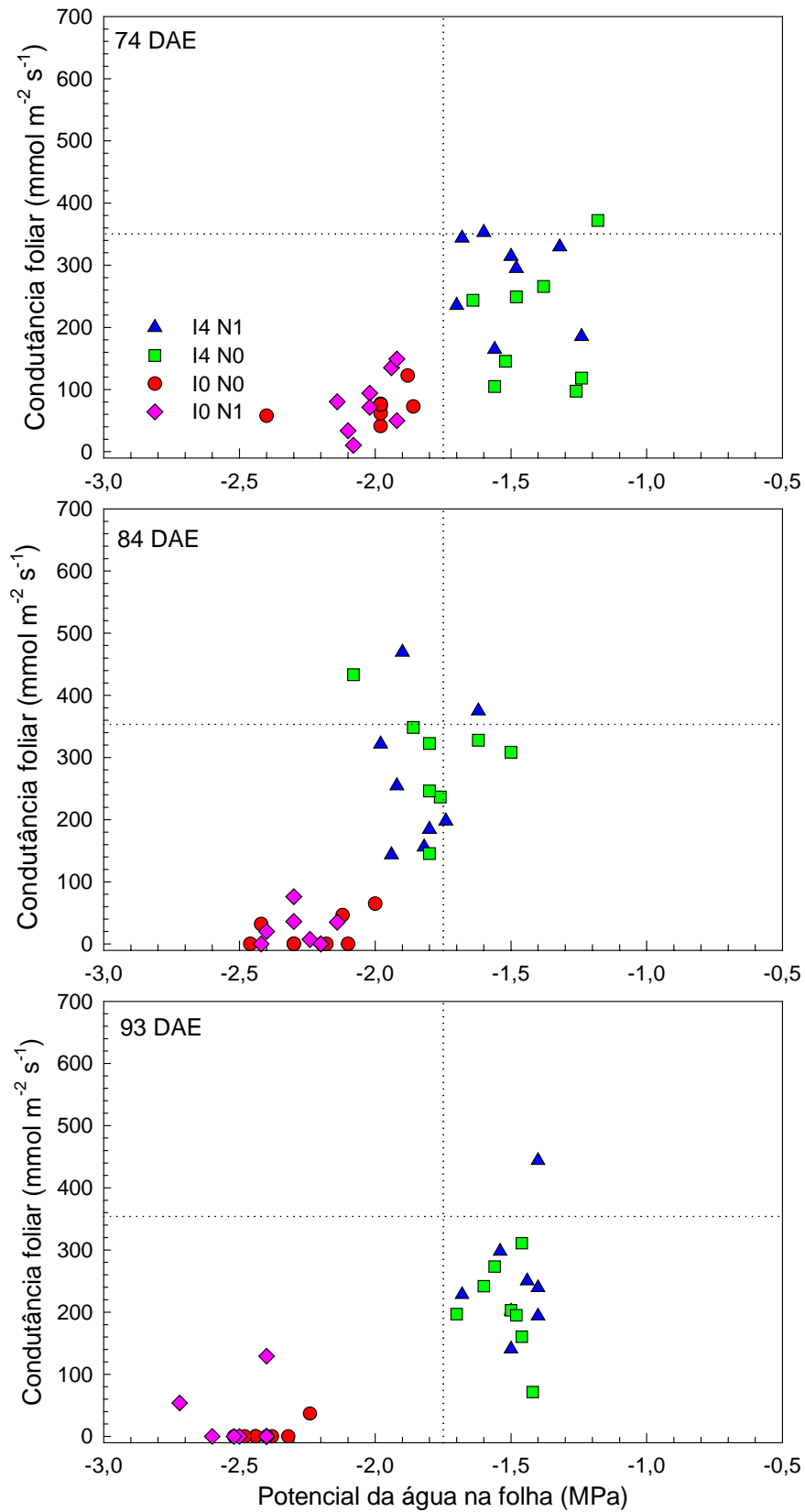
APÊNDICE 28. Fotossíntese em função do teor de clorofila na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha<sup>-1</sup>, N0 - 40 Kg ha<sup>-1</sup>), em dois dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.



APÊNDICE 29. Fotossíntese em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg  $\text{ha}^{-1}$ , N0 - 40 Kg  $\text{ha}^{-1}$ ), em dois dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.



APÊNDICE 30. Condutância foliar em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 -  $160 \text{ Kg ha}^{-1}$ , N0 -  $40 \text{ Kg ha}^{-1}$ ), em dois dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.



APÊNDICE 31. Condutância foliar em função do potencial da água na folha em milho, em quatro tratamentos (I4 - irrigado, I0 - não irrigado, N1 - 160 Kg ha<sup>-1</sup>, N0 - 40 Kg ha<sup>-1</sup>), em três dias de medições. Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.