

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

CRESCIMENTO DO TOMATEIRO (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

ADUBADO COM FÓSFORO E COLONIZADO COM

FUNGOS MICORRÍZICOS VESÍCULO-ARBUSCULARES

Tese apresentada por

ADELSON PAULO DE ARAÚJO

Sob orientação dos professores

DEJAIR LOPES DE ALMEIDA

ELIANE MARIA RIBEIRO DA SILVA

ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção  
do grau de Mestre em Agronomia,  
área de concentração em Ciência do Solo  
da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Itaguaí, novembro de 1992

CRESCIMENTO DO TOMATEIRO (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

ADUBADO COM FÓSFORO E COLONIZADO COM  
FUNGOS MICORRÍZICOS VESÍCULO-ARBUSCULARES

AUTOR

ADELSON PAULO DE ARAÚJO

DEJAIR LOPES DE ALMEIDA

ELIANE MARIA RIBEIRO DA SILVA

ROBERTO OSCAR PEREYRA ROSSIELLO

Aprovado em 13 de novembro de 1992

À minha mãe  
Que não pôde estar presente  
Nos momentos mais felizes  
De minha vida

### **AGRADECIMENTOS**

Ao pesquisador Dejair Lopes de Almeida, pela concepção do trabalho e orientação.

À pesquisadora Eliane Maria Ribeiro da Silva, pelo acompanhamento constante em todas as etapas do trabalho.

Ao professor Roberto Oscar Pereyra Rossiello, pela atenção e interesse na elaboração dessa tese.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo da EMBRAPA, pela oportunidade oferecida para condução dos experimentos e realização de análises laboratoriais.

Aos pesquisadores José Guilherme Marinho Guerra e Mauro Augusto de Paula, pelas discussões e opiniões durante o desenrolar dos trabalhos.

Aos técnicos de laboratório Itamar Garcia Ignacio, pelo auxílio nas coletas dos experimentos e análises laboratoriais, e Adilson Vieira de Souza, Carlos Alberto Gonçalves Cavalcante e Selmo Oliveira de Souza, pelo apoio nas análises de solo e material vegetal.

Aos funcionários Almir Correa dos Santos, Helio Ribeiro dos Santos e Rosinaldo Feital do Couto, sem os quais teria sido impossível a instalação, condução e coleta dos experimentos.

Às bibliotecárias Dorimar dos Santos Felix e Margarida Maria Ambrosio, pelo apoio na consulta e comutação bibliográficas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo fornecimento da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Solos da UFRRJ, pela contribuição na minha formação científica e profissional.

À Maria Lúcia França Teixeira, pela solidariedade em todas as horas, alegres e tristes, dessa caminhada.

A todos os colegas da Pós-Graduação da UFRRJ e bolsistas do CNPq/EMBRAPA, que me acompanharam em toda essa jornada.

### **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Nascido em 17 de junho de 1963, no Rio de Janeiro - RJ, realizou seus estudos de 1º grau no Colégio Pedro II, e de 2º grau na Escola Técnica Federal. Ingressou em 1981 no curso de Engenharia Agrônômica da UFRRJ, concluindo-o em 1986. Durante a graduação foi monitor da disciplina de Física do Solo, no Departamento de Solos da UFRRJ, e bolsista de iniciação científica do CNPq, no Centro Nacional de Pesquisa de Biologia do Solo - EMBRAPA.

Entre os anos de 1986 e 1990, trabalhou em Consultoria de Engenharia, nas áreas de Irrigação e Meio-Ambiente, tendo sido diretor da empresa Engehidro Consultoria, Estudos e Projetos Ltda., e consultor de várias empresas na cidade do Rio de Janeiro.

Em 1990 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRRJ, no nível de Mestrado, concluindo-o em 1992.

**ÍNDICE DO TEXTO**

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1.	A cultura do tomateiro .....	3
2.1.1.	Adubação fosfatada .....	3
	Localização do fertilizante .....	3
	Resposta à adubação .....	5
	Recomendações de adubação .....	7
2.1.2.	Nutrição de P .....	9
	Sintomas de deficiência .....	9
	Acumulação de nutrientes .....	10
	Absorção de P .....	11
	Composição da planta .....	13
	Interação com outros nutrientes .....	14
2.1.3.	Efeito de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares ..	16
	Fitomassa e acumulação de nutrientes .....	17
	Produção de frutos .....	20

Fisiologia .....	20
Resistência a estresses abióticos .....	21
Resistência a fitopatógenos .....	22
2.2. A análise de crescimento .....	24
2.2.1. Introdução .....	24
2.2.2. O método funcional .....	25
2.2.3. Expressões matemáticas .....	27
Exponencial polinomial .....	27
Curva de Gompertz .....	29
Curva Logística .....	30
2.2.4. Tratamento estatístico .....	31
3. SELEÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS VESÍCULO-ARBUSCULARES PARA O TOMATEIRO EM SUBSTRATO COM TEOR MÉDIO DE P DISPONÍVEL .....	34
3.1. Resumo .....	34
3.2. Introdução .....	35
3.3. Material e métodos .....	36
Tratamentos .....	36
Substrato .....	37
Condições de crescimento .....	37
Inoculação .....	38
Avaliação da colonização micorrízica .....	38
Análise de P .....	39
Análises estatísticas .....	39
3.4. Resultados e discussão .....	39
3.5. Conclusões .....	42



4.	EFETIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS VESÍCULO- ARBUSCULARES PARA O TOMATEIRO EM DIFERENTES NÍVEIS DE P NO SOLO .....	43
4.1.	Resumo .....	43
4.2.	Introdução .....	44
4.3.	Material e Métodos .....	45
	Tratamentos .....	45
	Substrato .....	46
	Condições de crescimento .....	47
	Inoculação .....	47
	Avaliação da colonização micorrízica .....	48
	Análises de nutrientes .....	48
	Relações calculadas .....	49
	Análises estatísticas .....	49
4.4.	Resultados .....	49
	Análises de solo .....	49
	Fitomassa .....	50
	Teor e conteúdo de P .....	56
	Teor e conteúdo de N .....	56
	Colonização micorrízica .....	60
4.5.	Discussão .....	62
4.6.	Conclusões .....	66

5.	ANÁLISE DE CRESCIMENTO DO TOMATEIRO COLONIZADO COM FUNGO MICORRÍZICO VESÍCULO-ARBUSCULAR, EM DOIS NÍVEIS DE P NO SOLO .....	67
5.1.	Resumo .....	67
5.2.	Introdução .....	68
5.3.	Material e métodos .....	70
	Tratamentos .....	70
	Substrato .....	71
	Condições de crescimento .....	72
	Inoculação .....	72
	Avaliação da colonização micorrízica .....	74
	Determinações na parte aérea .....	74
	Determinações nas raízes .....	75
	Cálculo das taxas de crescimento .....	76
	Cálculo das taxas de acumulação e de utilização de P ..	77
	Análises estatísticas .....	78
5.4.	Resultados .....	79
	Análises de solo .....	79
	Fitomassa .....	79
	Parâmetros radiculares .....	92
	Teor e conteúdo de P .....	93
	Colonização micorrízica .....	103
	Modelos matemáticos .....	105
	Escolha do modelo .....	107
	Taxas de crescimento .....	117
	Taxas de acumulação e de utilização de P .....	118
5.5.	Discussão .....	131
	Comparação de valores de fluxo líquido de P em tomateiro .....	131
	Ontogenia .....	132

	Suprimento de P .....	135
	Colonização micorrízica .....	137
5.6.	Conclusões .....	140
6.	REFERÊNCIAS .....	141
7.	ANEXOS .....	169
7.1.	Glossário de abreviaturas .....	169
7.2.	Glossário de termos .....	170
7.3.	Periódicos e livros citados .....	172
7.4.	Autores mais citados .....	175

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 3

Tabela 3.1: Matéria seca de parte aérea e raiz, percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA, teor e conteúdo de P na parte aérea do tomateiro, inoculado com diferentes FMVA .....	40
---	----

### Capítulo 4

Tabela 4.1: P disponível e pH do solo dos vasos ao final do experimento, em função das doses de P e da inoculação com FMVA .....	52
Tabela 4.2: Matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	54
Tabela 4.3: Área foliar, área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e relação R:S do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	55

Tabela 4.4: Teor e conteúdo de P na matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	57
Tabela 4.5: Quociente de utilização de P (QU) e índice de utilização de P (IU) do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	58
Tabela 4.6: Teor e conteúdo de N na matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	59
Tabela 4.7: Percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA e número de esporos de FMVA em 50 cm <sup>3</sup> de solo, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	61

## Capítulo 5

Tabela 5.1: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função da época de coleta .....	83
Tabela 5.2: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	84
Tabela 5.3.: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P ..	85
Tabela 5.4: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA .....	86
Tabela 5.5: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função da época de coleta .....	87

Tabela 5.6: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	88
Tabela 5.7: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P .....	89
Tabela 5.8: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA .....	90
Tabela 5.9: Matéria fresca de frutos e índice de colheita do tomateiro aos 90 dias após transplante, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação ...	91
Tabela 5.10: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função da época de coleta .....	95
Tabela 5.11: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	96
Tabela 5.12: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P .....	97
Tabela 5.13: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA .....	98
Tabela 5.14: Conteúdo de P no tomateiro, em função da época de coleta .....	99
Tabela 5.15: Conteúdo de P no tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação .....	100

Tabela 5.16: Conteúdo de P no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P .....	101
Tabela 5.17: Conteúdo de P no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA ...	102
Tabela 5.18: Percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA e número de esporos de FMVA em 50 cm <sup>3</sup> de solo, em função da época de coleta e das doses de P ..	104
Tabela 5.19: Coeficientes de determinação (r <sup>2</sup> ) de cada modelo testado, para cada parâmetro e tratamento avaliados .....	108
Tabela 5.20: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo exponencial de 2 <sup>o</sup> grau, para cada parâmetro e tratamento avaliados .....	109
Tabela 5.21: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo exponencial de 3 <sup>o</sup> grau, para cada parâmetro e tratamento avaliados .....	109
Tabela 5.22: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo de Gompertz, para cada parâmetro e tratamento avaliados .	110
Tabela 5.23: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo da Logística, para cada parâmetro e tratamento avaliados	110
Tabela 5.24: Valores médios dos parâmetros originais, para cada tratamento, obtidos pela média dos dados experimentais ou pelo modelo exponencial de 3 <sup>o</sup> grau .....	119
Tabela 5.25: Valores médios das taxas de crescimento, de acumulação e de utilização de P, estimadas pelo modelo exponencial de 3 <sup>o</sup> grau .....	119
Tabela 5.26: Valores de parâmetros morfológicos radiculares e de fluxos e influxos líquidos de P no tomateiro obtidos por outros autores .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 4

Figura 4.1: P disponível no solo, avaliado num ensaio paralelo ao experimento, em função das doses de P .....	51
---	----

### Capítulo 5

Figura 5.1: Temperatura média e insolação durante o período experimental .....	73
Figura 5.2: P disponível (Pd) e pH no solo dos vasos em cada coleta, em função das doses de P .....	80
Figura 5.3: Distribuição da matéria seca do tomateiro durante o período experimental .....	82
Figura 5.4: Distribuição do conteúdo de P do tomateiro durante o período experimental .....	94
Figura 5.5: Coeficientes de variação dos parâmetros originais durante o período experimental .....	106
Figura 5.6: Matéria seca do tomateiro, estimada pelos	



diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P.kg <sup>-1</sup> e inoculação com FMVA) .....	111
Figura 5.7: Conteúdo de P do tomateiro, estimado pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P.kg <sup>-1</sup> e inoculação com FMVA) .....	112
Figura 5.8: Taxa de crescimento relativo do tomateiro, estimada pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P.kg <sup>-1</sup> e inoculação com FMVA) .....	113
Figura 5.9: Taxa de crescimento absoluto do tomateiro, estimada pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P.kg <sup>-1</sup> e inoculação com FMVA) .....	114
Figura 5.10: Taxa de assimilação líquida do tomateiro, com a matéria seca estimada pelos diferentes modelos matemáticos e a área foliar estimada pelo modelo exponencial de 3° grau (tratamento com 120 mg P.kg <sup>-1</sup> e inoculação com FMVA) .....	115
Figura 5.11: Matéria seca do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	120
Figura 5.12: área foliar do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	121
Figura 5.13: Taxa de crescimento relativo do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	122
Figura 5.14: Taxa de crescimento absoluto do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	123
Figura 5.15: Taxa de assimilação líquida do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	124
Figura 5.16: Conteúdo de P do tomateiro, estimado pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	125

Figura 5.17: área radicular do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	126
Figura 5.18: Taxa de acumulação absoluta de P do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	127
Figura 5.19: Taxa de acumulação relativa de P do tomateiro, estimada pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	128
Figura 5.20: Fluxo líquido de P nas raízes do tomateiro, estimado pelo modelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	129
Figura 5.21: Taxa de utilização específica de P do tomateiro, estimada pelo exponencial de 3° grau, para cada tratamento .....	130

## RESUMO

Foram conduzidos três experimentos em casa-de-vegetação, em solos desinfestados, para avaliar a efetividade de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) para o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. Angela I-5100). No primeiro experimento, oito espécies de FMVA e um controle foram testados. *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* foram selecionados, pelo aumento do teor e conteúdo de P na parte aérea e pela sua capacidade infectiva.

No segundo experimento, estas três espécies de FMVA e um controle foram comparados em quatro doses de P aplicado (30, 60, 120 e 240 mg P.kg<sup>-1</sup> solo). Houve resposta para P até 120 mg.kg<sup>-1</sup> na matéria seca de parte aérea e raiz, e até 240 mg.kg<sup>-1</sup> na área foliar, teor e conteúdo de P. Em 60 mg.kg<sup>-1</sup> as plantas micorrizadas apresentaram maior matéria seca de parte aérea que as não-micorrizadas, sem aumentos no teor e conteúdo de P. Em 30 mg.kg<sup>-1</sup> *G. clarum* e *G. margarita* foram superiores a *G. etunicatum*, e em 120 mg.kg<sup>-1</sup> *G. etunicatum* superior a *G. clarum*, na matéria seca de parte aérea. *G. clarum* elevou a matéria seca

e o conteúdo de P de raiz em relação ao controle. A infecção micorrízica foi maior em 30 e 60 mg.kg<sup>-1</sup> do que em 240 mg.kg<sup>-1</sup>.

No terceiro experimento o tomateiro, inoculado ou não com *G. etunicatum*, foi cultivado em duas doses de P aplicado (60 e 120 mg P.kg<sup>-1</sup> solo). Foi utilizado um método funcional de análise de crescimento, com dez coletas semanais (dos 27 aos 90 dias após transplante) e leitura fotométrica de área radicular. Entre os modelos matemáticos testados para ajuste dos dados - Gompertz, Logística, exponenciais polinomiais de 2º grau e de 3º grau - o último foi o escolhido. Foi observada contínua redução da relação matéria seca de raiz:parte aérea (R:S), da área foliar específica, do raio radicular e do teor de P nas partes vegetais. Em 120 mg.kg<sup>-1</sup> houve aumento de área foliar, matéria seca e raio radicular, e diminuição da relação R:S. FMVA aumentou a área e matéria seca radicular, e diminuiu o raio radicular. Em 60 mg.kg<sup>-1</sup> FMVA aumentou a matéria seca de caule, e em 120 mg.kg<sup>-1</sup> a relação R:S e a área foliar específica. FMVA aumentou o conteúdo de P no caule. Em 120 mg.kg<sup>-1</sup> FMVA aumentou o conteúdo de P na folha, fruto e total. Em 120 mg.kg<sup>-1</sup> houve aumento da taxa de crescimento relativo, das taxas de acumulação de P e do fluxo líquido de P, e diminuição da taxa de utilização específica de P. A taxa de assimilação líquida foi pouco afetada. Numa primeira fase, FMVA reduziu as taxas de crescimento, de assimilação líquida e de utilização de P, mais acentuadamente em 120 mg.kg<sup>-1</sup>. Depois observou-se aumento dessas taxas e retardamento da senescência vegetal. Em 120 mg.kg<sup>-1</sup> FMVA aumentou as taxas de acumulação de P, sem estímulo à fotossíntese, reduzindo a taxa de utilização específica de P. O estímulo de FMVA à produção de raízes acarretou a redução do fluxo líquido de P.

**GROWTH OF TOMATO PLANT (*Lycopersicum esculentum* Mill.)  
FERTILIZED WITH PHOSPHORUS AND COLONIZED  
WITH VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI**

**SUMMARY**

Three experiments were conducted in the greenhouse, in desinfested soils, to evaluate the effectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF) to the tomato plant (*Lycopersicum esculentum* Mill., cv. Angela I-5100). In the first experiment, eight species of VAMF and a control were tested. *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, and *Gigaspora margarita* were selected, due to their improve on shoot P concentration and content and their infectivity.

In the second experiment, these three VAMF species and a control were compared at four levels of added P (30, 60, 120 and 240 mg P.kg<sup>-1</sup> soil). Responses to P levels were observed on shoot and root dry matter up to 120 mg.kg<sup>-1</sup>, and on leaf area, P concentration and content up to 240 mg.kg<sup>-1</sup>. At 60 mg.kg<sup>-1</sup>, mycorrhizal plants showed higher shoot dry matter than the non-mycorrhizal ones, with no increases in P concentration and content. At 30 mg.kg<sup>-1</sup>, *G. clarum* and *G. margarita* were superior to *G. etunicatum*, and at 120 mg.kg<sup>-1</sup>, *G. etunicatum* was superior

to *G. clarum*, with respect to shoot dry matter. *G. clarum* increased root dry matter and root P content, when compared to the control. The mycorrhizal infection was higher at 30 and 60 mg.kg<sup>-1</sup> than at 240 mg.kg<sup>-1</sup>.

In the third experiment, tomato plants, inoculated or not with *G. etunicatum*, were cultivated at two levels of added P (60 and 120 mg P.kg<sup>-1</sup> soil). A functional method of growth analysis was used, with ten weekly harvests (27 until 90 days after transplant) and photometric measurement of root area. From the mathematical models tested for data adjustment - Gompertz, Logistic, second degree and third degree exponential polynomials - the last one was chosen. A continuous reduction of root:shoot (R:S) ratio (dry matter), specific leaf area, root radius, and P concentration in plant portions were observed. At 120 mg.kg<sup>-1</sup>, leaf area, dry matter, and root radius were increased, and R:S ratio was decreased. VAMF increased root dry matter and root area, and reduced root radius. At 60 mg.kg<sup>-1</sup>, VAMF increased stem dry matter, and at 120 mg.kg<sup>-1</sup>, increased R:S ratio and specific leaf area. VAMF increased stem P content. At 120 mg.kg<sup>-1</sup>, VAMF increased leaf, fruit and total P content. At 120 mg.kg<sup>-1</sup>, the relative growth rate, the P accumulation rates, and the net P flux were increased, and the specific P utilization rate was decreased. The net assimilation rate was little affected. In the early stages, VAMF reduced the growth, the net assimilation and the P utilization rates, mainly at 120 mg.kg<sup>-1</sup>. Thereafter, an increase of these rates was observed, and also a delay in plant senescence. At 120 mg.kg<sup>-1</sup>, VAMF enhanced P accumulation, with no photosynthetic stimulation, reducing the specific P utilization rate. The VAMF stimulation to root production caused a decrease in the net P flux.

## 1. INTRODUÇÃO

A simbiose com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) resulta, de modo geral, em benefícios para a planta hospedeira, com melhoria na absorção de nutrientes, maior produtividade em solos de baixa fertilidade, antecipação no tempo de permanência no viveiro e maior tolerância a estresses bióticos e abióticos (Lopes, Siqueira e Zambolim, 1983). Entre esses benefícios, o mais consistente e de maior interesse prático é o favorecimento na absorção de fósforo.

A cultura do tomateiro apresenta grande importância econômica no Estado do Rio de Janeiro, e está em geral implantada em solos de baixa fertilidade. O fósforo é um nutriente limitante à cultura, e os atuais sistemas de cultivo preconizam adubações pesadas, que nem sempre refletem-se na produção final, devido à intensa adsorção e imobilização do P em solos tropicais (Raij, Rosand e Lobato, 1982) e às inadequadas condições de manejo. Apresenta ainda grande incidência de pragas e doenças, com aplicações contínuas de defensivos agrícolas (Tokeshi e Carvalho, 1980).

O tomateiro beneficia-se do transplante, devido à inibição do crescimento da raiz pivotante e estímulo à formação de raízes laterais, e a produção de mudas em recipientes promove maior sistema radicular, precocidade na colheita e melhor qualidade de frutos (Fontes et al., 1976). A desinfestação do substrato é prática comum em viveiros, visando controlar patógenos de raízes e a germinação de sementes de plantas invasoras (Filgueira, 1982). Esse procedimento também elimina ou reduz bastante os propágulos de FMVA (Menge, 1982), o que pode limitar o desenvolvimento das mudas, ocasionando seu definhamento (Plenchette, Fortin e Furlan, 1983b), e prejudicando o estabelecimento após o transplante. Por outro lado, a presença de um substrato desinfestado pode favorecer a inoculação de FMVA mais efetivos para a cultura do tomateiro, abrindo perspectivas da utilização desta técnica ao nível do produtor.

No entanto, na literatura são escassos estudos de caracterização do crescimento e nutrição do tomateiro colonizado com FMVA, particularmente em níveis mais elevados de fertilidade do solo. Sendo assim, foram conduzidos três experimentos em casa-de-vegetação, com os seguintes objetivos:

- 1º Experimento: Seleção preliminar de FMVA em substrato com nível médio de P disponível;
- 2º Experimento: Avaliação da efetividade de espécies de FMVA em diferentes níveis de P no solo;
- 3º Experimento: Quantificação das taxas de crescimento, de acumulação e de utilização de P em dois níveis de P no solo, na ausência e presença de FMVA.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

A presente revisão tem como objetivo principal apresentar um quadro dos aspectos mais específicos sobre a adubação e nutrição do P no tomateiro e sobre sua simbiose com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA). Omitiu-se assim uma revisão genérica sobre a influência da micorriza na nutrição vegetal, pois trabalhos mais abrangentes sobre este tema foram publicados recentemente (Smith e Gianinazzi-Pearson, 1988; Sieverding, 1991; Silveira, 1992). Discutem-se ainda brevemente alguns aspectos matemáticos e estatísticos sobre o método funcional de análise de crescimento.

### **2.1. A CULTURA DO TOMATEIRO**

#### **2.1.1. Adubação fosfatada**

##### **Localização do fertilizante**

Numa semente tão pequena quanto a do tomateiro, a reserva de nutrientes é muito limitada, e o P deve estar disponível para as plântulas logo após a germinação (Locascio e Warren, 1959).

Devido à sua relativa imobilidade no solo, a adequada colocação do P é essencial para seu melhor aproveitamento, e diversos estudos têm demonstrado a superioridade da aplicação localizada do fertilizante. Wilcox (1967) concluiu que a dose de 50 mg P.kg<sup>-1</sup> misturada com o solo produziu um crescimento das plantas mais lento do que a colocação de 277 mg de P por metro de sulco, 5 cm abaixo da semente. Locascio, Warren e Wilcox (1960) obtiveram maiores produções de matéria seca e frutos colocando o adubo 3 cm abaixo da semente. A recuperação do fertilizante foi maior quando colocado apenas em 25% do volume do solo (Fontes, 1987).

Hipp (1970) e Baumgartner et al. (1983), em condições de campo, também registraram a inferioridade da distribuição do fertilizante por todo o solo, recomendando sua aplicação no sulco de semeadura. Deve-se considerar ainda que cerca de 65 % das raízes do tomateiro localizam-se nos 10 primeiros centímetros de profundidade do solo (Inforzato, Campos e Camargo, 1970).

Num solo com alta capacidade de adsorção de P, a aplicação do fertilizante em sulco foi melhor do que a lanço, em cultivo sem limitação hídrica; já em ano seco, a aplicação a lanço foi melhor em algumas situações. Num solo com baixa capacidade de adsorção de P, os métodos de aplicação não diferiram (Sobulo, Agboola e Fayemi, 1978). A adubação em sulco apresentou maior rendimento que em cova, quando foi efetuada irrigação por aspersão, ocorrendo o contrário quando a irrigação foi por sulco (Soares e Faria, 1983).

### Resposta à adubação

A cultura responde à adubação fosfatada, e níveis adequados de P no solo são necessários para obtenção de altas produções e frutos de qualidade. Tanaka, Freitas e Tyler (1970) registraram aumento da produção de frutos de 2,6 para 8,5 kg.pl<sup>-1</sup> com aplicação de 27 g P.pl<sup>-1</sup>, e com a aplicação de esterco de curral. Nakagawa e Conceição (1975), combinando adubação orgânica e mineral, obtiveram melhores produções com esterco de galinha e torta de mamona, seguidos de esterco de curral. Nesses trabalhos os autores não explicitam a composição dos adubos orgânicos utilizados, dificultando a extrapolação dos resultados para outras condições.

Faria, Pereira e Morgado (1986), trabalhando com cultivo rasteiro em Latossolo VA arenoso, estabeleceram 5 níveis de P disponível (com os extratores Mehlich e Bray 1) e doses de P a serem aplicadas para obtenção de produtividade de 60 t.ha<sup>-1</sup>. Valores de P disponível acima de 30 ug.g<sup>-1</sup> dispensariam adubação, e a dose máxima recomendada foi de 52 kg P.ha<sup>-1</sup>.

Hogue, Wilcox e Cantliffe (1970), em casa-de-vegetação, obtiveram aumentos na matéria seca de parte aérea até a dose de 100 mg P.kg<sup>-1</sup>, e Föhse, Claassen e Jungk (1988) verificaram que 80 % da produção máxima de matéria seca de parte aérea foi obtida com colocação de 110 mg P.kg<sup>-1</sup>, que correspondeu a um nível de 0,18 ug P.ml<sup>-1</sup> em solução e a um teor de P na parte aérea de 4,5 mg.g<sup>-1</sup>.

Hipp (1970), em condições de campo com solos argiloso e argilo-arenoso, obteve aumento na produção de frutos até a dose

de 100 kg P.ha<sup>-1</sup>, e Baumgartner et al. (1983), em Terra Roxa estruturada, recomendaram a dose de 87 kg P.ha<sup>-1</sup> aplicada no sulco, enquanto a dose de 131 kg P.ha<sup>-1</sup> aplicada a lanço e incorporada foi insuficiente para a produção de 35 t.ha<sup>-1</sup> de frutos.

A utilização de isotermas de adsorção de P para a previsão dos níveis de P em solução do solo (Olsen e Watanabe, 1957; Fox e Kamprath, 1970) parece permitir a padronização das respostas à adubação fosfatada, de forma mais precisa do que doses aplicadas de fertilizante. Respostas similares de matéria seca e conteúdo de P em tomateiro foram observadas quando seis solos de origem vulcânica receberam adições de P necessárias para obtenção de um nível de 0,2 ug P.ml<sup>-1</sup> em solução (Macfarlane e Walmsley, 1977).

Em trabalhos de campo, 95 % da produção máxima de matéria seca foi obtida com um nível de 0,2 ug P.ml<sup>-1</sup> em solução, resultante da aplicação de 287 a 579 kg P.ha<sup>-1</sup>, quando a análise foliar indicou teores de P entre 3 e 5 mg.g<sup>-1</sup> (Nishimoto, Fox e Parvin, 1977). Swiader e Morse (1982) verificaram que a maior produção de frutos foi registrada no nível de 0,2 ug P.ml<sup>-1</sup> em solução (obtido com aplicações de 271 e 131 kg P.ha<sup>-1</sup>), onde o teor foliar de P era de 4,1 mg.g<sup>-1</sup>; quando o nível de P em solução foi elevado para 2,4 ug.ml<sup>-1</sup>, apareceram necroses marginais nas folhas e reduções na produção.

As respostas do tomateiro à adubação fosfatada apresentam interações com as condições climáticas, em particular a temperatura e a umidade do solo. Cannell et al. (1963)

observaram maior produção de matéria seca na temperatura do solo de 20 °C, e nos maiores valores de potencial de água no solo e de dose de P (no caso, 450 mg P.kg<sup>-1</sup>). Já em outro trabalho, a maior produção de frutos esteve associada a um nível médio de umidade do solo e adequado suprimento de P, apesar de não haver resposta significativa para adubação fosfatada (Cannell, Bingham e Asbell, 1965). A matéria seca do tomateiro respondeu mais acentuadamente a P na temperatura de 13 °C no solo do que em 21 e 29 °C, e nas temperaturas mais altas o crescimento atingiu seu máximo na dose de 270 kg P.ha<sup>-1</sup> (Locascio e Warren, 1960).

#### **Recomendações de adubação**

Em virtude das respostas acentuadas à aplicação de P, e do grande retorno econômico propiciado pela cultura, as recomendações de adubação são em geral elevadas. No Estado de São Paulo, para 1 ha de tomateiro estaqueado, as recomendações atingem 30 t de esterco de curral, 286 kg de N, 312 kg de P e 427 kg de K, para uma produção esperada de 50 a 100 t.ha<sup>-1</sup> (Raij et al., 1985). Em Minas Gerais, para solos de baixos teores de P, recomenda-se para 1 ha, 50 t de esterco de curral, 200 kg de N, 201 de P e 299 kg de K (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1978).

No Estado do Rio de Janeiro a recomendação, também para 1 ha de tomateiro estaqueado, é de 40 t de esterco de curral, 60 kg de N, 35 kg de P e 50 kg de K, para uma produção esperada entre 60 e 80 t.ha<sup>-1</sup> (De-Polli et al., 1988). Já Filgueira (1982)

recomenda para 1 ha a aplicação de 293 kg de P no sulco de plantio, além do parcelamento de 473 kg de N e 775 kg de K.

Por outro lado, as exigências nutricionais do tomateiro são bem inferiores, pois estudos de acumulação de nutrientes indicam um conteúdo total de P, em 1 ha de cultivo estaqueado, variando de 14 kg (Ward, 1964) a 21 kg (Gargantini e Blanco, 1963). Estes valores denotam a pequena eficiência de recuperação de P da adubação mineral nos atuais sistemas de produção.

As grandes diferenças observadas nas recomendações de adubação são resultantes da ausência de uma metodologia de uso generalizado para estabelecimento dos níveis de P disponível no solo, o que tem dificultado sobremaneira a extrapolação de um determinado resultado para condições experimentais diferentes. Com a utilização da isoterma de adsorção de P (Fox e Kamprath, 1970), os trabalhos convergiram para um nível de  $0,2 \text{ ug P.ml}^{-1}$  em solução (obtido com diferentes doses de fertilizante em diversos solos e cultivos), como necessário para obtenção de elevadas produções do tomateiro.

A determinação desta isoterma para cada classe de solo poderia permitir o estabelecimento de doses de adubação com maior acurácia do que os métodos de rotina de análise de fertilidade. É possível que uma curva de adsorção de P, obtida por adição de nutrientes e ciclos de molhamento e secagem do solo em casa-de-vegetação, possa prever os níveis de P em solução com maior precisão que a isoterma obtida em laboratório (Manjunath e Habte, 1990).

### **2.1.2. Nutrição de P**

#### **Sintomas de deficiência**

Wooley e Broyer (1957) apresentaram uma interessante chave de classificação dos sintomas de deficiência nutricional no tomateiro, identificando para o P que a superfície abaxial (dorsal) dos folíolos jovens mostram uma cor lilás escuro acentuada, que inclui áreas nervais e internervais. A superfície adaxial (ventral) dos folíolos apresentam-se de cor verde escuro intensa, e os folíolos são menores e enrolados para baixo, com as folhas mais velhas podendo mostrar leves clorose e necrose internervais.

Já Smilde e Van Eysinga (1968, citados por Minami e Haag, 1989), observaram que há redução no crescimento, o caule torna-se fino, as folhas velhas amareladas e com manchas marrom-roxas, caindo frutos. Lorenz e Tyler (1976), citados por Minami e Haag (1989), estabeleceram, para o tomateiro rasteiro, os teores de suficiência e deficiência de fosfato como de respectivamente 3 e 2  $\text{mg.g}^{-1}$ , para a quarta folha, a partir do ponto de crescimento, em qualquer fase do ciclo. Teores de P de 5,6  $\text{mg.g}^{-1}$  no limbo e 4,3  $\text{mg.g}^{-1}$  no pecíolo foliar foram considerados limites abaixo dos quais a produção pode ser prejudicada (Baumgartner et al., 1983). As folhas adjacentes aos cachos florais, coletadas durante o aparecimento do segundo cacho floral, foram as partes da planta mais sensíveis à análise foliar de P (Hiroce et al., 1972).

Observa-se assim uma relativa faixa de variação nos teores ditos "críticos", abaixo dos quais a produção pode ser prejudicada, o que pode ser atribuído a diferenças genotípicas ou

a variações ontogenéticas que determinam efeitos de diluição do P (Jarrell e Beverly, 1981).

### **Acumulação de nutrientes**

Diversos trabalhos quantificaram a acumulação de matéria seca e de nutrientes no tomateiro. Gargantini e Blanco (1963), trabalhando com cultura estaqueada em casa de vegetação e coletas decenais, verificaram uma acumulação, em 1 ha, de 94 kg de N, 21 kg de P, 185 kg de K, 31 kg de Ca, 28 kg de S e 9 kg de Mg. A acumulação de P, assim como a de Ca, foi contínua durante todo o ciclo.

Ward (1967), trabalhando com cultura estaqueada em casa-de-vegetação, observou que a acumulação ontogenética de nutrientes segue uma típica curva de crescimento, com algumas variações devidas às práticas culturais; o acúmulo total de nutrientes, em termos equivalentes a 1 ha de cultivo, foi de 57 kg de N, 15 kg de P, 94 kg de K, 40 kg de Ca e 7 kg de Mg. Em outro trabalho semelhante, o acúmulo de nutrientes totalizou, em 1 ha, 63 kg de N, 14 kg de P, 131 kg de K, 54 kg de Ca e 8 kg de Mg (Ward, 1964).

Já em cultivo rasteiro de campo, Fernandes et al. (1975) registraram acumulação, em 1 ha, de 67 kg de N, 4,8 kg de P, 101 kg de K, 24 kg de Ca, 19 kg de Mg, 5,3 kg de S, além de quantificar a acumulação de micronutrientes. Também em cultivo rasteiro, Haag et al. (1978) registraram acúmulo, em 1 ha, de 119 kg de N, 13,6 kg de P, 179 kg de K, 70,6 kg de Ca, 15,6 kg de Mg, 10,7 kg de S, quantificando ainda a acumulação de micronutrientes.



Estas diferenças observadas nos conteúdos acumulados de nutrientes devem ser atribuídas, parcialmente, a diferenças varietais e de condições de crescimento entre os experimentos citados.

### **Absorção de P**

Diferentes espécies vegetais teriam acesso a um mesmo reservatório de P lábil no solo, independentemente de variações nas taxas de absorção de P em condições sub-ótimas de suprimento do nutriente (Nye e Foster, 1958). Diferenças entre espécies observadas no requerimento externo (nível de P na solução do solo para obtenção da produtividade ótima) não poderiam ser atribuídas às demandas internas do vegetal (teor de P na parte aérea para obtenção da produtividade ótima) (Föhse, Claassen e Jungk, 1988). Espécies com baixa eficiência de absorção de P (onde incluiria-se o tomateiro) apresentaram menores valores de influxo de P e de relação entre comprimento de raiz e matéria seca de parte aérea (Föhse, Claassen e Jungk, 1988).

A produção relativa de frutos em níveis sub-ótimos de P em solução no solo foi maior no tomateiro do que em plantas de beringela, sugerindo uma maior eficiência na absorção do nutriente nestas condições (Swiader e Morse, 1982). Há ainda diferenças entre variedades na absorção e acumulação de P (Coltman, Gerloff e Gabelman, 1985; Fontes, Barber e Wilcox, 1986), e variedades precoces apresentam maiores teores foliares de P do que variedades tardias (Pandita e Andrew, 1967).

A área radicular parece ter papel preponderante na absorção de P pelo tomateiro. Silva e Magalhães (1989), fazendo uma análise de sensibilidade para o modelo matemático de Cushman-Barber, observaram que a superfície da raiz teve grande efeito na

absorção de P, refletindo os aumentos do raio radicular médio, da taxa de crescimento radicular e do influxo máximo. Diferentes variedades com taxas de crescimento similares sob adequada disponibilidade de P, diferiram bastante quando crescidas sob deficiência de P, e a taxa de acumulação por unidade de comprimento ou massa de raiz foi um fator primário nessas diferenças (Coltman, Gerloff e Gabelman, 1985), indicando variações na eficiência de absorção em baixo nível de P.

Fontes e Barber (1984), trabalhando em solução nutritiva para determinação dos parâmetros de Michaelis-Menten, verificaram que o maior suprimento de P diminuiu a relação raiz:parte aérea e aumentou o influxo líquido de P, sem alterações significativas no Km. À medida que o suprimento de P aumenta e as plantas contêm o suficiente P para o máximo desenvolvimento, o influxo máximo tende a ser menor, e a absorção de P depende da área da raiz.

Fontes, Barber e Wilcox (1986), utilizando solução nutritiva, quantificaram vários parâmetros morfológicos e cinéticos em duas variedades de tomateiro sob dois níveis de P, com boa correlação entre os dados de P acumulado e os previstos pelo modelo mecanístico de Claassen-Barber; no entanto, no nível insuficiente de P o modelo subestimou a absorção.

De Willigen e Van Noordwijk (1987) apresentaram o conceito de "área radicular mínima requerida fisiologicamente" para absorção de nutrientes e água. A partir de resultados de outros autores, as estimativas para tomateiro foram: área radicular de  $2,9 \text{ m}^2.\text{pl}^{-1}$ , teor de P de  $5 \text{ mg.g}^{-1}$  e fluxo líquido máximo de P de  $0,5 \text{ mmol P.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . No entanto, registraram em seus próprios experimentos área radicular de  $1 \text{ m}^2.\text{pl}^{-1}$ , com valores de fluxo líquido de P 5 vezes maiores.

A absorção de P pelo tomateiro está relacionada ao potencial hídrico do solo, e qualquer alteração deste potencial afeta o equilíbrio de P na planta (Greenway, Hughes e Klepper, 1969). O déficit hídrico provoca a diminuição da acumulação de P, e a absorção e translocação do nutriente podem estar ligadas a diferenças de potencial hídrico entre parte aérea e raiz (Greenway e Keppler, 1969), já que a maioria do P absorvido pelas raízes do tomateiro transloca-se para as folhas pelo fluxo de água (Greenway e Keppler, 1968).

O teor de P em pecíolos foi diminuído pelo aumento da sucção de água no solo (Cannell, Bingham e Asbell, 1965), e a aplicação de P tende a diminuir o efeito da baixa umidade do solo (Cannell, Bingham e Garber, 1960).

#### **Composição da planta**

O P inorgânico nas folhas do tomateiro constituiu 1/4 do P total, mesmo em condições de deficiência do nutriente, e as plantas apenas o acumularam quando o suprimento excedeu os requerimentos de crescimento (Hogue, Wilcox e Cantliffe, 1970). Em baixa dose de P, aumentou o conteúdo de antocianina nas folhas, mas o teor de clorofila foi pouco afetado pelo aumento do teor de P nas folhas (Pattanaik e Lathwell, 1955). O aumento do teor de antocianina explica a cor lilás escuro observada em condições de deficiência de P.

Foi observada uma significativa correlação negativa entre o teor foliar de P e dias para maturação dos frutos (Pandita e Andrew, 1967). No entanto, a aplicação de P teve pouco efeito no tamanho dos frutos, e não alterou o teor de P e o pH dos frutos (Cannell, Bingham e Asbell, 1965).

A composição dos frutos parece estar mais condicionada à adubação com K, mas doses elevadas de P diminuíram o teor de ácido glutâmico e aspártico, com interações para doses de N no teor de ácido cítrico (Davies, 1964), diminuindo ainda a acidez, o conteúdo de K e a condutividade específica do suco do fruto, particularmente em baixo nível de K (Davies e Winsor, 1967).

#### **Interação com outros nutrientes**

Os efeitos da elevação das doses de P na acumulação de nutrientes pelos vegetais são um tanto complexas, e envolvem efeitos de diluição pelo estímulo ao crescimento vegetal (Jarrell e Beverly, 1981) e indução de deficiência de micronutrientes (Loneragan et al., 1979).

Trabalhando com tomateiro em três solos em casa-de-vegetação, Cannell, Bingham e Garber (1960) observaram que o aumento do suprimento de P elevou os teores foliares de P, Mg, N, Mo e Mn, diminuindo os de K, B, Cu, e Zn, com efeitos contraditórios para Ca. Em outro trabalho, a aplicação de P aumentou o teor foliar de P, Cu, Mn e N, diminuindo de Ca, Mg, K, Fe e Zn, observando-se ainda a interação entre doses de P e

umidade do solo na acumulação de P, Fe e Mn (Cannell et al., 1963).

Análise de pecíolo em plantas no campo não demonstraram variações significativas nos teores de N e K com as doses de P (Cannell, Bingham e Asbell, 1965). Já Baumgartner et al. (1983) verificaram efeitos depressivos das doses de P sobre os teores de Mg, S, Cu e Zn no pecíolo, sem atingir níveis de deficiência.

A adição de P induziu o aparecimento de sintomas de deficiência de Zn, com interação com a temperatura; a aplicação de P reduziu o teor foliar de Zn, e a aplicação de Zn reduziu o teor de P (Martin, McLean e Quick, 1965). No entanto, plantas com definhamento apresentando sintomas de deficiência de Zn apresentaram teores de Zn e P similares a plantas saudáveis, e a relação P:Zn parece não estar associada aos sintomas (Martin, McLean e Quick, 1965). A redução da produção de frutos e sintomas de necrose marginal nas folhas, observadas quando o nível de P na solução do solo atingiu  $2,4 \text{ ug.ml}^{-1}$ , não foram atribuídas à deficiência de Zn, que manteve-se dentro de faixa de teores adequada (Swiader e Morse, 1982).

Loneragan et al. (1979) demonstraram a complexidade destas interações entre P e Zn em *Trifolium subterraneum*, concluindo que o aumento da toxicidade de P pela deficiência de Zn explicariam por que altas doses de P aumentam o requerimento de Zn. No entanto, interações entre esses nutrientes no solo não devem descartadas.

### **2.1.3. Efeito de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares**

As respostas do tomateiro à inoculação com FMVA são um pouco contrastantes, e sua dependência micorrízica talvez não esteja adequadamente estabelecida. Alguns trabalhos registram ausência de resposta de matéria seca e acumulação de P à inoculação micorrízica (Baath e Hayman, 1983; Bagyaraj, Manjunath e Reddy, 1979; Caron, Fortin e Richard, 1985), e outros apresentam aumentos de matéria seca que não podem ser atribuídos à maior acumulação de P (Daft e Nicolson, 1969; Poss et al., 1985).

Como o tomateiro é uma planta que sofreu intenso trabalho de melhoramento genético, uma avaliação sobre a dependência micorrízica de diferentes genótipos poderia esclarecer alguns mecanismos da simbiose, quantificando com maior segurança sua importância para a cultura. Em trigo estas diferenças varietais da simbiose estão em geral associadas à relação raiz:parte aérea e à exudação de açúcares nas raízes do hospedeiro, e não aos conteúdos de nutrientes nos tecidos vegetais (Azcón e Ocampo, 1981), e em citrus às diferenças nos padrões de crescimento, teor de P nas folhas e raio radicular (Graham e Syvertsen, 1985). Associando este estudo com o conhecimento dos parâmetros que determinam a capacidade das plantas absorverem e utilizarem nutrientes, podem ser obtidas as características desejáveis a serem fixadas nas plantas, em programas de melhoramento orientados para estes objetivos (Anghinoni et al., 1989).

### **Fitomassa e acumulação de nutrientes**

Dentre os trabalhos que registram aumento de matéria seca com inoculação com FMVA em tomateiro, o de Fairwearher e Parbery (1982), trabalhando em solução nutritiva, apresenta os resultados mais espetaculares. Estes autores observaram que os quatro fungos testados aumentaram a matéria seca de raiz, mas apenas *Gigaspora margarita* aumentou a matéria seca de parte aérea, com níveis muito mais elevados de infecção. Com esta espécie, houve um aumento de doze vezes na matéria seca total com relação ao controle, que os autores atribuíram a uma possível maior resistência das plantas micorrizadas ao baixo suprimento de P e aos níveis elevados de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Mn}^{++}$  da solução nutritiva.

Daft e seus colaboradores estão entre os pioneiros nos estudos sobre a simbiose micorrízica, e o tomateiro foi objeto de trabalhos onde foram observadas respostas à inoculação. Daft e Nicolson (1966) registraram aumento de matéria seca apenas na dose mais baixa de P, quando a infecção micorrízica foi superior, com superioridade de um tipo de endófito. Utilizando outra variedade de tomateiro, encontraram uma resposta de matéria seca mais abrangente, mas ainda restrita às doses mais baixas de P. Apesar de aumentos no teor de P em raízes e folhas em todas as doses de P, estes dados não sofreram análise estatística.

Daft e Nicolson (1969) observaram que todas as quantidades de endófito utilizadas para inoculação (de 3 a 225 esporos por planta) estimularam significativamente a produção de matéria seca de folha, sem influenciar aparentemente os níveis finais de infecção. Nas maiores densidade de inóculo, as plantas produziram maior número de folhas superiores e retiveram por mais tempo as folhas inferiores. Outros trabalhos registram aumentos de matéria seca de folhas (Daft e Nicolson, 1972), comprimento de

plantas e de folhas, já a partir dos 21 dias (Daft e Okusanya, 1973a) e da quantidade de tecido vascular e da lignificação do xilema (Daft e Okusanya, 1973b). Daft e El-Giahmi (1978) observaram ainda que a defoliação reduziu a resposta à inoculação micorrízica e o desenvolvimento do endófito.

Daft e Nicolson (1972), comparando métodos para avaliação de colonização micorrízica, concluíram que o número de esporos produzidos foi positivamente correlacionado com o tamanho do hospedeiro. Quando a percentagem de infecção foi avaliada em todo o sistema radicular (e não apenas em amostras de lâminas), apresentou relação com o crescimento do hospedeiro. A pigmentação da raiz apresentou correlações significativas com a matéria seca da parte aérea do hospedeiro nas doses mais baixas de P, e com a percentagem de infecção em altos níveis de colonização.

Trabalhando com solução nutritiva de fluxo contínuo, Ojala e Jarrel (1980) registraram que plantas inoculadas com *Glomus fasciculatum* apresentaram aumento de área foliar e conteúdo de P nos dois níveis de P na solução (0,1 e 0,3  $\mu\text{g P. ml}^{-1}$ ), mas a matéria seca de parte aérea só foi significativamente aumentada no nível mais alto, e no mais baixo foi maior a infecção.

Riazi-Hamadami, Parbery e Beilharz (1977) observaram que, apesar das plantas micorrizadas apresentarem maiores acúmulos de N, P e K que plantas não micorrizadas, não houve aumento dos teores de P nos tecidos. Esses autores identificaram ainda nódulos radiculares, atribuindo-os à infecção fúngica, fenômeno que no entanto não foi confirmado em outros trabalhos na literatura.



Plenchette, Fortin e Furlan (1983a), trabalhando com doze espécies vegetais no campo, incluíram o tomate no grupo daquelas que formaram micorriza e tiveram melhor crescimento em solo fumigado. Houve resposta para matéria seca, mas no tomate a dependência micorrízica foi menor do que nas demais espécies do grupo. Em outro trabalho, Plenchette, Fortin e Furlan (1983b) observaram que o tomateiro apresentava *stunting* (ou definhamento das plantas) em solo fumigado, e a inoculação micorrízica permitiu o restabelecimento do crescimento normal. A produção de matéria seca nos solos não-fumigado e fumigado-inoculado foi superior à obtida no solo apenas fumigado, devido à supressão do inóculomicorrízico nativo.

Gaunt (1978) observou aumento significativo da produção de matéria seca na presença da inoculação micorrízica, sem diferença entre os métodos de inoculação (adição de esporos ao solo ou através de *pellet* na semente), enquanto Sanni (1976) inoculou endófitos coletados no campo em solo autoclavado, obtendo resposta para os teores de P e N acumulados. Garcia-Garrido e Ocampo (1988) observaram aumento de matéria seca de parte aérea, mas não de raiz, em plantas inoculadas com *Glomus mosseae*.

Já Waterer e Coltman (1988), trabalhando com doses e intervalos de aplicação de P, registraram que a inoculação micorrízica reduziu a matéria fresca quando a dose de P era alta. Para uma mesma dose total, aplicações freqüentes de soluções contendo baixos teores de P foram melhores do que aplicações menos freqüentes, mas de maiores teores.

### **Produção de frutos**

Poucos trabalhos avaliaram o efeito da inoculação na produção de frutos. Halos e Zorilla (1979), nas Filipinas, observaram que a inoculação micorrízica acelerou a floração e aumentou a produção de frutos; em solo não esterilizado, os efeitos da inoculação foram similares, mas o crescimento e produção menores.

Mohandas (1987), na Índia, obteve resposta de campo à inoculação com *Glomus fasciculatum*, com aumentos no crescimento, conteúdo de N e P e produção. A inoculação conjunta com *Azotobacter vinelandii*, uma bactéria diazotrófica de vida livre, trouxe ainda incrementos de área foliar, matéria seca e produção.

### **Fisiologia**

Num trabalho com  $^{32}\text{P}$ , Cress, Throneberry e Lindsey (1979) avaliaram a cinética de absorção de P em raízes destacadas de plantas colonizadas ou não com *Glomus fasciculatum*. As taxas de absorção de P em raízes micorrizadas foram cerca de duas vezes superiores ao controle. Foram definidas duas fases de absorção, relativas a dois níveis de P: no nível baixo (1 a 20  $\text{mmol P.l}^{-1}$ ),  $V_{\text{max}}$  não diferiu, mas  $K_m$  foi reduzido nas raízes micorrizadas; no nível alto (30 a 100  $\text{mmol P.l}^{-1}$ ),  $V_{\text{max}}$  foi aumentado e  $K_m$  diminuído nas raízes micorrizadas. Os autores concluíram que, no nível baixo, o fator de maior contribuição para o aumento de absorção foi uma aparente maior afinidade por fosfato dos sítios

de absorção. No entanto, estudos semelhantes realizados em soja (Karunaratne, Baker e Barker, 1986; Faquin, Malavolta e Muraoka, 1990) indicaram um aumento de  $V_{max}$  e de  $K_m$  em raízes micorrizadas, e o maior influxo de P seria devido ao aumento no número de sítios de absorção por unidade de área radicular.

Dehne (1986) observou uma diminuição da respiração e um aumento da fotossíntese (ambos avaliados em termos de evolução de  $O_2$ ) nas folhas do tomateiro, o que compensaria a maior demanda por assimilados no tecido radicular.

#### **Resistência a estresses abióticos**

A inoculação micorrízica trouxe aumento da resistência do tomateiro a condições de salinidade do solo. Pond, Menge e Jarrell (1984), testando diferentes inóculos obtidos em solos salinos, observaram que alguns destes materiais aumentaram significativamente o crescimento de tomateiro em casa-de-vegetação, sob salinização artificial. Já Poss et al. (1985) registraram que a inoculação com isolados de *Glomus fasciculatum* e *G. mosseae* trouxe aumentos de matéria seca nos níveis mais altos de salinidade do solo, efeito atribuído ao aumento significativo no potencial de água do xilema nessas plantas.

Por outro lado, trabalhos de Menge e equipe parecem indicar maior suscetibilidade de plantas de tomateiro micorrizadas a estresses causados pelo ozônio. A exposição a este gás retardou a infecção micorrízica e reduziu

significativamente as taxas de crescimento em plantas micorrizadas, não afetando as taxas de crescimento nas plantas não micorrizadas. Os teores de clorofila nas folhas não foram afetados pela inoculação ou pela exposição ao ozônio (McCool, Menge e Taylor, 1982).

McCool e Menge (1983) verificaram que a matéria seca total e o teor de amino-ácidos nos exsudatos e extratos radiculares de plantas micorrizadas foram reduzidos na presença de ozônio, enquanto plantas não-micorrizadas não foram afetadas. Em três variedades de tomateiro inoculadas com *Glomus fasciculatum* e em uma variedade inoculada com três espécies de FMVA, a exposição ao ozônio reduziu a produção de matéria seca (McCool e Menge, 1984).

### **Resistência a fitopatógenos**

Provavelmente o tomateiro seja a espécie mais estudada no que diz respeito às interações entre FMVA e agentes patogênicos, e os efeitos em geral são benéficos, mais ainda inexplicados. A interação entre patógenos e FMVA são marcadamente controlados pelo hospedeiro, e a micorriza deve ser encarada como parte do ambiente e da própria planta, que podem alterar a resistência vegetal a doenças, particularmente pelo estímulo ao crescimento e acumulação de nutrientes (Dehne, 1982).

A inoculação com *Glomus fasciculatus* reduziu o número e tamanho das galhas radiculares produzidas por *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*, e a presença desses nematóides estimulou

a infecção e a esporulação do fungo micorrízico (Bagyaraj, Manjunath e Reddy, 1979). O número de células-gigante formadas por *M. incognita* foi menor em plantas micorrizadas, mas a micorriza não preveniu a penetração da larva (Suresh, Bagyaraj e Reddy, 1985).

A inoculação com *Verticillium albo-atrum* reduziu o crescimento, independente do status micorrízico do hospedeiro, e plantas micorrizadas foram ligeiramente menores do que os controles (Baath e Hayman, 1983).

A inoculação de *Glomus intraradices* diminuiu as necroses radiculares causadas por *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* em diversos substratos (Caron, Fortin e Richard, 1985). Dehne e Schönbeck (1979) observaram que o menor dano causado por *F. oxysporum f.sp. lycopersici* em plantas micorrizadas foi devido principalmente a uma redução da taxa de propagação do patógeno, mas o aumento de sua densidade de inoculação diminuiu o efeito da micorriza, enquanto McGraw e Schenck (1981) verificaram que plantas micorrizadas foram mais sensíveis aos danos de *F. oxysporum*.

A inoculação micorrízica, precedendo a inoculação com *Pseudomonas solanacearum*, reduziu a incidência dessa bacteriose (Halos e Zorilla, 1979). A inoculação com *Glomus mosseae* aumentou a resistência a *Erwinia carotovora*, reduzindo as unidades de formas-colonizantes na rizosfera independentemente do teor de P na parte aérea e da época de inoculação (Garcia-Garrido e Ocampo, 1988).

Já a multiplicação do vírus do mosaico do tomate foi aumentada com a inoculação micorrízica, atribuindo-se este efeito ao aumento dos teores de fosfato nas plantas micorrizadas, já que incrementos na produção do vírus foram também observados em plantas suplementadas com P (Daft e Okusanya, 1973a).

## **2.2. A ANÁLISE DE CRESCIMENTO**

### **2.2.1. Introdução**

O estudo quantitativo do crescimento vegetal tem apresentado progressos ao longo dos anos, com aplicações impulsionadas pelos recursos computacionais atualmente disponíveis. Os conceitos de análise de crescimento foram largamente aplicados nas últimas décadas, por botânicos, fisiologistas e melhoristas, e ultimamente esta abordagem tem-se tornado ainda mais ampla.

A análise de crescimento pode ser usada para investigar a adaptação ecológica de culturas a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo e tratamentos culturais e a identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos (Kvet et al., 1971, citados por Pereira e Machado, 1987).

A metodologia utilizada no cálculo das taxas de crescimento pode ser aplicada na estimativa das taxas de acumulação de nutrientes, a partir de avaliações no sistema radicular (Brewster e Tinker, 1972), conjugando-as com estudos

sobre eficiência fotossintética. A utilização desta ferramenta em programas de melhoramento vegetal também assume interesse, já que os parâmetros morfológicos e de cinética de absorção em raízes já tiveram sua variabilidade genotípica comprovada (Manzatto, 1987; O'Toole e Bland, 1987; Anghinoni et al., 1989).

### **2.2.2. O método funcional**

Com o maior acesso aos recursos computacionais, que permitiu a disponibilidade de algoritmos para ajuste de funções não lineares (Calbo, Silva e Torres, 1989a), houve uma tendência a exprimir as diversas curvas de crescimento através de expressões matemáticas, que buscassem reproduzir os dados obtidos experimentalmente.

As vantagens do tratamento funcional para a análise de crescimento, em relação ao método integral, são consideráveis (Radford, 1967; Pereira e Machado, 1987): a única assunção necessária é de que as curvas que descrevam **W** e **A** em função de **t** sejam adequadas; as amostragens não precisam ser simultâneas em tratamentos diferentes e realizadas em intervalos regulares, podendo ser mais freqüentes nos períodos de maior interesse para o pesquisador; é possível utilizar dados de coletas efetuadas a qualquer momento de tempo, e não necessariamente apenas de duas coletas consecutivas; é possível trabalhar-se com amostras menores e mais freqüentes, e pequenos erros de amostragem podem ser compensados pelas funções; grande quantidade de informações é resumida numa única função.

O método funcional fornece valores instantâneos para os parâmetros de crescimento, enquanto o método integral fornece Médias por períodos experimentais. É possível ainda comparar diferentes conjuntos de dados a partir de um mesmo modelo, obtendo-se a estimativa mais precisa de parâmetros de crescimento (Ross, 1981).

O uso de modelos não-lineares tem-se ampliado, pela sua aparente habilidade em explicar todo um processo, admitir tendências assintóticas e incorporar parâmetros capazes de interpretação biológica (Ross, 1981). Apesar de seu uso generalizado, não há no entanto uma teoria estatística bem conhecida para guiar sua interpretação (Ross, 1981).

A procura de funções matemáticas superajustadas pode induzir a resultados de pouco significado biológico (Calbo, Silva e Torres, 1989a), e o ideal seria a seleção de uma função suficientemente complexa para descrever os dados originais, mas ao mesmo tempo simples para permitir seu manuseio matemático (Pereira e Machado, 1987).

Deve-se ressaltar que a análise funcional mascara eventuais estresses ambientais sofridos pela planta durante seu crescimento, ao ajustar todos os dados a uma curva hipotética, enquanto a análise integral, ao calcular as taxas de crescimento para cada intervalo entre colheitas, indica estas variações (Rossiello, Fernandes e Flores, 1981).



### 2.2.3. Expressões matemáticas

As expressões matemáticas usualmente utilizadas para a descrição do crescimento vegetal apresentam crescimento absoluto positivo, mas com incrementos que declinam com o correr do tempo (Croxtton e Cowden, 1952). Podem ser inicialmente citadas (sendo **W** a matéria seca vegetal e **t** o tempo):

- Polinômios modificados

$$W = a + b t^{1/2}$$

- Parabólica com log W

$$\log W = a t^b$$

- Exponencial modificada

$$W = k + ab^t$$

A exponencial modificada corresponde a uma série cujo crescimento absoluto diminui em proporção constante, quando **b** é menor que a unidade. Sua modificação através de logaritmos origina a curva de Gompertz, e através dos inversos a curva Logística (Croxtton e Cowden, 1952).

Os modelos utilizados no presente trabalho serão descritos pormenorizadamente.

#### **Exponencial polinomial**

A função exponencial polinomial constitui-se numa variante interessante, onde os logaritmos neperianos da série original variam de acordo com polinômios; constitui-se na verdade numa curva exponencial limitada parabolicamente. Polinômios de grau elevado podem apresentar excelente ajuste, mas muitas vezes têm significado biológico de difícil compreensão. As expressões quadráticas e cúbicas podem ser adequadamente utilizadas sem maiores restrições (Hunt, 1981).

Sua forma geral é:

$$W = \exp (a + bt + ct^2 + dt^3 + \dots)$$

Sua linearização é simples:

$$\ln W = a + bt + ct^2 + dt^3 + \dots$$

Portanto, partindo da transformação dos dados originais em logaritmos neperianos, é possível obter-se os coeficientes do polinômio através de modelos computacionais, que utilizam em geral o método dos mínimos quadrados para este ajuste.

A derivação desta equação segue a regra:

$$\frac{d (e^{h(x)})}{dx} = h' (x) \cdot e^{h(x)}$$

Utilizando como exemplo uma polinomial de 2º grau, a taxa de crescimento absoluto (TCA), que corresponde à derivada primeira em relação ao tempo, é obtida por:

$$\begin{aligned} \text{TCA} &= \frac{dW}{dt} = \frac{d (\exp (a + bt + ct^2))}{dt} \\ &= (b + 2ct) \cdot \exp (a + bt + ct^2) \end{aligned}$$

A taxa de crescimento relativo (TCR) é dada por:

$$\begin{aligned} \text{TCR} &= \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{(b + 2ct) \cdot \exp (a + bt + ct^2)}{\exp (a + bt + ct^2)} \\ &= b + 2ct \end{aligned}$$

Para uma polinomial de 3º grau:

$$\text{TCR} = b + 2ct + 3dt^2$$

**Curva de Gompertz**

Enquanto na exponencial modificada a série apresenta taxa de crescimento diminuindo em percentagem constante, a curva de Gompertz descreve uma série em que as taxa de crescimento dos logaritmos estão decrescendo em percentagem constante. Os valores naturais da série mostram taxa de crescimento que declina, mas a taxa não diminui em valor absoluto constante, nem em percentagem constante. Enquanto a exponencial modificada só tem limite superior, a de Gompertz é assintótica em ambos os extremos, sendo zero a assíntota inferior (Croxtton e Cowden, 1952).

Sua forma geral é:

$$W = a \cdot e^{-b e^{-kt}}$$

onde **a** é o limite assintótico superior de **W**, **b** está relacionado com o tamanho inicial do sistema e **k** é a taxa de incremento inerente do sistema (Hunt, 1981).

Sua derivação segue a mesma regra da anterior, e a TCA é dada por:

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} &= a \cdot \frac{d(-b e^{-kt})}{dt} \cdot e^{-b e^{-kt}} \\ &= a b k e^{-kt} e^{-b e^{-kt}} \end{aligned}$$

A TCR será obtida por:

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{a b k e^{-kt} \cdot e^{-b e^{-kt}}}{a e^{-b e^{-kt}}} = b k e^{-kt}$$

A linearização de sua forma geral é obtida por:

$$\begin{aligned}\ln W &= \ln a - b e^{-kt} \\ \ln a - \ln W &= b e^{-kt} \\ \ln \ln (a/W) &= \ln b - kt\end{aligned}$$

Em sua forma linearizada, é possível calcular-se os coeficientes da equação, por algoritmos computacionais ou por método iterativo, obtendo-se a reta de maior correlação.

### Curva Logística

Esta identifica-se também com a exponencial modificada, mas aqui é a taxa de crescimento dos inversos que vão declinando em percentagem constante. A equação resultante, em sua forma geral, é:

$$W = \frac{a}{1 + b e^{-kt}}$$

onde os coeficientes **a**, **b** e **k** têm o mesmo significado daqueles definidos para a curva de Gompertz.

Sua regra de derivação é diferente:

$$\frac{d (h(x))^n}{dx} = n (h(x))^{n-1} \cdot h'(x)$$

Sendo assim, a TCA é dada por:

$$\begin{aligned}\frac{dW}{dt} &= -a (1 + b e^{-kt})^{-2} \cdot \frac{d (1 + b e^{-kt})}{dt} \\ &= \frac{a b k e^{-kt}}{(1 + b e^{-kt})^2}\end{aligned}$$

A TCR será fornecida por:

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{a b k e^{-kt}}{(1 + b e^{-kt})^2} \cdot \frac{(1 + b e^{-kt})}{a}$$

$$= \frac{b k e^{-kt}}{1 + b e^{-kt}}$$

A linearização da sua forma geral é obtida por:

$$a/W = 1 + b e^{-kt}$$

$$a/W - 1 = b e^{-kt}$$

$$\ln((a-W)/W) = \ln b - kt$$

Também torna-se possível aqui o cálculo dos coeficientes da equação através de sua forma linearizada.

#### 2.2.4. Tratamento estatístico

Na escolha de um modelo matemático, é importante considerar primeiramente a distribuição do erro, pois uma avaliação inadequada desta distribuição irá afetar a estimativa dos coeficientes da regressão e invalidar análises estatísticas relacionadas ao ajuste e comparação de modelos (Ross, 1981). Uma avaliação da distribuição dos resíduos e a aplicação do teste de Durbin-Watson podem ser úteis (Neter e Wasserman, 1974). Quando há repetições nas observações, e os desvios-padrão são proporcionais às Médias, com pequenos coeficientes de variação, é menos arriscado considerar a distribuição do erro como normal, apesar de outras ponderações serem possíveis (Ross, 1981).

A significância do ajuste de uma função é testada pelo quadrado médio residual, mas quando as correlações são altas as comparações são mais difíceis, pois as expressões podem ser igualmente significativas. Quando há repetições, a soma dos quadrados do resíduo pode ser dividido em dois: dos desvios das

Médias e valores ajustados, e dos desvios das repetições em torno das Médias experimentais. Se a razão entre os quadrados médios obtidos não for significativa pelo teste F, o modelo estaria ajustando bem os valores (Nicholls e Calder, 1973; Neter e Wasserman, 1974).

Na escolha da ordem de um modelo polinomial, pode-se calcular o quadrado médio do resíduo para cada grau de polinomial ajustada, e através de um teste F avaliar se a elevação do grau resultaria na melhoria do ajuste (Eagles, 1969, citado por Nicholls e Calder, 1973). Outra possibilidade é a aplicação de um teste t no coeficiente do termo de grau mais elevado da polinomial, determinando se difere significativamente de zero (Elias e Causton, 1976).

É particularmente difícil a comparação estatística entre expressões obtidas para diferentes séries de dados, através das análises usuais de desvio-padrão e correlação. Há a possibilidade de efetuar uma análise de variância comparando as curvas obtidas para os tratamentos com uma única curva ajustada para todos os dados, identificando se há diferenças significativas pelo teste F (Neter e Wasserman, 1974). A construção de intervalos de confiância para as expressões ajustadas também é possível (Neter e Wasserman, 1974), permitindo uma comparação visual (Clawson, Specht e Blad, 1986).

Keuls e Garretsen (1982) apresentam algumas condições experimentais necessárias para uma análise estatística das diferenças entre curvas de crescimento. Descrevendo o crescimento de genótipos de tomateiro, mostraram a utilidade da análise de variância multivariada, para identificar quais os coeficientes estimados das expressões que mais contribuíram para as diferenças entre genótipos.

Os valores estimados das taxas de crescimento através das funções derivadas são necessariamente correlacionados entre si, e sua comparação através de métodos usuais de regressão pode induzir a erros (Chanter, 1981). Garretsen e Keuls (1986) buscaram explicitar as diversas taxas de crescimento por expressões matemáticas derivadas, cujos coeficientes podem ser comparados através da análise de variância multivariada.

Outro aspecto importante refere-se à linearização das expressões originais, pois esse procedimento muitas vezes permite a representação da tendência dos dados, mas os resultados podem ser insatisfatórios se as fontes de erro são grandes. A linearização de curvas exponenciais é perfeitamente justificável, mas no caso de curvas polinomiais inversas (do tipo  $x/y = a + bx$ ), a linearização é inconsistente, pois mistura variáveis dependentes e independentes (Ross, 1981).

Numa abordagem rigorosa, a curva exponencial modificada, com suas variações Logística e Gompertz, são exemplos de modelos não-lineares, e seu ajuste deve ser feito indiretamente, através de técnicas numéricas iterativas (Ross, 1981). No entanto, sua linearização pode ser justificável, particularmente quando são pequenos os erros amostrais (Bell, 1981).

### 3. SELEÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS VESÍCULO- ARBUSCULARES PARA O TOMATEIRO EM SUBSTRATO COM TEOR MÉDIO DE P DISPONÍVEL

#### 3.1. RESUMO

Em experimento conduzido em casa-de-vegetação, um controle não inoculado e oito espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) foram comparados, para avaliar sua efetividade para o tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill., cv. Angela I-5100). As espécies de FMVA foram: *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus occultum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora heterogama*, *Acaulospora scrobiculata*, *Entrophospora colombiana*, *Entrophospora sp.* O substrato foi uma mistura de solo franco-arenoso e vermiculita (2:1 v:v) autoclavada, com 21,1 ug P disponível.g<sup>-1</sup>, colocado em vasos de 2 kg. *G. clarum* elevou significativamente o teor de P na parte aérea do tomateiro em relação à testemunha e às demais espécies de FMVA. *G. clarum* e *Gigaspora margarita* aumentaram não significativamente a matéria



seca e o conteúdo de P na parte aérea em relação à testemunha. *G. clarum* foi a espécie de maior capacidade infectiva, seguido por *Gigaspora margarita* e *G. etunicatum*.

### 3.2. INTRODUÇÃO

O tomateiro beneficia-se do transplântio, e a formação de mudas em recipientes promove maior sistema radicular, precocidade na colheita e melhor qualidade dos frutos (Fontes et al., 1976). A desinfestação do substrato é prática comum em viveiros, visando controlar patógenos de raízes e plantas invasoras. Esse procedimento também elimina ou reduz bastante os propágulos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) (Menge, 1982), o que pode limitar o desenvolvimento das mudas no viveiro, ocasionando seu definhamento (Plenchette, Fortin e Furlan, 1983b) e prejudicando o estabelecimento após o transplante. Por outro lado, a presença de um substrato desinfestado pode favorecer a inoculação no viveiro de FMVA mais efetivos para a cultura do tomateiro, abrindo perspectivas da utilização desta técnica ao nível do produtor.

Crescem evidências de que endófitos diferem em sua capacidade de estimular o crescimento vegetal, com variações de efetividade em diferentes solos (Mosse, 1975). Entre os fatores que contribuem para estas diferenças estão o pH do solo (Hayman e Tavares, 1985; Siqueira, Mahmud e Hubbell, 1986), aplicação de fertilizantes (Hayman, 1975) e de pesticidas (Menge, 1982), além da capacidade de formar micorrizas de forma rápida e extensiva (Abbott e Robson, 1982).

No entanto, são escassos na literatura trabalhos de seleção de FMVA para o tomateiro, e os experimentos nesta direção em geral foram conduzidos em níveis muito baixos de P no solo (Daft e Nicolson, 1966) ou solução nutritiva (Fairweather e Parbery, 1982), condições inexistentes em um cultivo comercial. Sendo assim, foi instalado um experimento com o objetivo de avaliar a efetividade de FMVA para o tomateiro em um substrato com nível médio de P disponível.

### 3.3. MATERIAL E MÉTODOS

#### Tratamentos

O delineamento experimental foi completamente casualizado, com seis repetições, com um controle não inoculado e inoculação com cada uma das oito seguintes espécies de FMVA (com as respectivas origens):

- *Glomus clarum* Nicolson & Schenck, ESAL - Lavras
- *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann, ESAL - Lavras
- *Glomus occultum* Walker, CNPBS - Itaguaí
- *Gigaspora margarita* Becker & Hall, ESAL - Lavras
- *Scutellospora heterogama* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders, IAC  
- Campinas
- *Acaulospora scrobiculata* Trappe, ESAL - Lavras
- *Entrophospora colombiana* Spain et Schenck, ESAL - Lavras
- *Entrophospora sp.*, IAC - Campinas.

#### Substrato

Utilizou-se terra da camada superficial de um solo de textura franco-arenosa (horizonte A de um Planossolo série

Ecologia), com  $12,7 \text{ ug P disponível.g}^{-1}$  de solo, pH 6,3 e 0,62 % de C (EMBRAPA, 1979), misturado com vermiculita (2:1 v:v). Adicionou-se  $50 \text{ mg N.kg}^{-1}$  de substrato (na forma de sulfato de amônio),  $50 \text{ mg K.kg}^{-1}$  (na forma de cloreto de potássio) e  $50 \text{ mg FTE BR-12.kg}^{-1}$ . O substrato foi autoclavado, e colocado em vasos de 2 kg, apresentando então  $21,1 \text{ ug P disponível.g}^{-1}$  (considerado como nível médio para a cultura, de acordo com De-Polli et al., 1988) e pH 6,4. Cerligione, Liberta e Anderson (1988) observaram que a maior diferença entre os níveis de nutrientes entre solo autoclavado e não autoclavado foi para o P disponível (Olsen), que aumentou de 7,5 para  $17,3 \text{ ug P.g}^{-1}$ .

Todas as plantas receberam ainda uma aplicação de  $100 \text{ mg N.vaso}^{-1}$  (na forma de sulfato de amônio) e  $100 \text{ mg K.vaso}^{-1}$  (na forma de cloreto de potássio), 20 dias após o transplante.

### **Condições de crescimento**

Sementes de tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill., variedade Angela I-5100, de hábito precoce), obtidas de fonte comercial, foram pré-germinadas em vermiculita autoclavada. Três dias após a emergência, as plântulas foram transferidas, uma para cada vaso, e colocadas em casa-de-vegetação sob iluminação natural. Durante o período experimental, no inverno e primavera de 1990, a temperatura média foi de  $23,8 \text{ °C}$  (com erro padrão  $0,37 \text{ de °C}$ ), com  $5,2 \text{ horas.dia}^{-1}$  de insolação (com erro padrão de  $0,59 \text{ horas}$ ), de acordo com os dados agroclimatológicos da Estação Experimental de Itaguaí, da PESAGRO-RIO. As plantas foram regadas uma ou duas vezes ao dia, com drenagem livre dos vasos, e colhidas aos 52 dias após o transplante.

### **Inoculação**

Os esporos foram extraídos de vasos de cultivo com *Brachiaria decumbens* Stapf, mantidos em casa-de-vegetação, por peneiramento úmido e centrifugação (Gerdemann e Nicolson, 1963). Colocou-se 50 esporos por plântula, inoculados em suspensão antes do transplante das mesmas.

Preparou-se uma solução de filtrado de solo (1:10 v/v solo:água), passada em papel de filtro de média velocidade, isenta de propágulos de FMVA. Um dia após o transplante, colocou-se em todos os vasos 10 ml dessa solução, para reconstituição da microbiota original do solo.

### **Avaliação da colonização micorrízica**

Na coleta, as raízes foram separadas manualmente do solo e lavadas, retirando-se uma amostra de cerca de 0,4 g das raízes mais finas (diâmetro menor que 1 mm), que foram coloridas de acordo com a metodologia descrita por Koske e Gemma (1989). A quantificação da colonização micorrízica foi feita pelo método da placa quadriculada (Giovannetti e Mosse, 1980), avaliando-se a percentagem do comprimento de raízes finas colonizadas.

### **Análise de P**

A parte aérea das plantas coletadas foi seca em estufa a 70 °C, pesada e moída. Determinou-se o teor de P, por digestão nitro-perclórica e leitura colorimétrica (Murphy e Riley, 1962). Não foram efetuadas análises de nutrientes nas raízes, pois em algumas plantas a quantidade produzida foi insuficiente para obtenção de material para análise de infecção micorrízica e de teor de P.

### **Análises estatísticas**

Os dados obtidos sofreram análise de variância e de comparação de Médias (teste Duncan,  $P = 0,05$ ), utilizando-se o software MSTAT-C (Michigan State University).

### **3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi pequena a produção de matéria seca, indicando que o desenvolvimento das plantas não foi bom (Tabela 3.1). Isto pode ser devido à ausência de adubação com P, às pequenas doses de N e K aplicadas e ao inadequado suprimento de luminosidade às plantas, pois o experimento foi conduzido em casa-de-vegetação sem condições ideais de luminosidade, numa época do ano onde foi pequena a insolação natural (média de  $5,2 \text{ horas.dia}^{-1}$ ). Na verdade, variações sazonais de temperatura e insolação podem causar alterações nas taxas de crescimento da parte aérea do tomateiro (Cooper, 1972).

Tabela 3.1: Matéria seca de parte aérea e raiz, percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA, teor e conteúdo de P na parte aérea do tomateiro, inoculado com diferentes FMVA

Inóculo de FMVA	Matéria seca (g.pl <sup>-1</sup> )		Infecção micorrízica (%)		Teor de P (mg.g <sup>-1</sup> )		Conteúdo de P (mg.pl <sup>-1</sup> )	
	Parte aérea	Raiz						
Testemunha	2,508	0,355	0,00	f	1,75	bc	4,410	ab
<i>G. clarum</i>	2,912	0,410	43,16	a	1,99	a	5,649	a
<i>G. etunicatum</i>	2,569	0,364	14,45	bc	1,66	bc	4,337	ab
<i>G. occultum</i>	2,775	0,366	2,85	e	1,79	ab	4,916	ab
<i>G. margarita</i>	2,989	0,424	18,24	b	1,71	bc	5,120	a
<i>S. heterogama</i>	2,236	0,288	9,80	cd	1,55	c	3,523	b
<i>A. scrobiculata</i>	2,659	0,372	5,71	de	1,72	bc	4,579	ab
<i>E. colombiana</i>	2,879	0,373	5,53	de	1,80	b	5,199	a
<i>E. sp.</i>	2,557	0,323	4,35	de	1,63	bc	4,222	ab
Prob. de F	n.s.	n.s.	< .001		< .05		< .08	
CV (%)	20,50	28,51	29,14		10,20		23,70	

Os dados de infecção micorrízica são originais, e sofreram a transformação arc sen V x/100 antes da análise estatística.

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

A inoculação com FMVA não proporcionou resposta significativa na produção de matéria seca de parte aérea e raiz e na relação raiz:parte aérea. No entanto, observa-se uma tendência a uma maior produção de matéria seca de parte aérea na presença de *G. clarum* e *G. margarita*, com aumentos de respectivamente 16 e 19 % em relação à testemunha (Tabela 3.1). *S. heterogama* apresentou um efeito deletério, com diminuição da matéria seca de parte aérea e raiz (não significativa) em relação à testemunha.

*G. clarum* igualou-se a *G. occultum* no aumento dos teores de P na parte aérea, e a primeira espécie foi superior a todas as demais e à testemunha. Nenhuma das espécies aumentou significativamente o conteúdo de P na parte aérea em relação à testemunha, mas *G. clarum* e *G. margarita* trouxeram incrementos de respectivamente 28 e 16 %; além disto, *G. clarum*, *G. margarita* e *E. colombiana* foram significativamente superiores a *S. heterogama* para este parâmetro (Tabela 3.1).

O aumento da concentração de P no hospedeiro, sem grandes estímulos ao crescimento, pode indicar um aumento do dreno de carboidratos pelo endófito, que assume maior significância em condições de baixa radiação (Tester, Smith e Smith, 1985).

Houve uma significativa diferença da capacidade infectiva entre as espécies estudadas: *G. clarum* foi mais agressivo na infecção, seguido por *G. margarita* e *G. etunicatum*. Os demais fungos praticamente igualaram-se em termos de capacidade infectiva (Tabela 3.1). Estas diferenças de capacidade infectiva devem ser consideradas, pois endófitos de mais rápida infecção são desejáveis em cultivos anuais e mudas de viveiro (Davis, Young e Rose, 1984). A forma de inoculação utilizada (suspensão de esporos) pode ter propiciado ainda infecção mais lenta do que

fragmentos de hifas ou de raízes frescas, como num inóculo misto, e este aspecto assume maior importância em plantas jovens (Powell, 1976).

### 3.5. CONCLUSÕES

- *G. clarum* elevou significativamente o teor de P na parte aérea do tomateiro em relação à testemunha e às demais espécies de FMVA;
- *G. clarum* e *Gigaspora margarita* aumentaram não significativamente a matéria seca e o conteúdo de P na parte aérea do tomateiro em relação à testemunha;
- *G. clarum* foi a espécie de maior capacidade infectiva, seguido por *Gigaspora margarita* e *G. etunicatum*.



#### 4. EFETIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS VESÍCULO- ARBUSCULARES PARA O TOMATEIRO EM DIFERENTES NÍVEIS DE P NO SOLO

##### 4.1. RESUMO

Em um experimento em casa-de-vegetação, três espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) (*Glomus clarum*, *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita*) e um controle não inoculado foram comparados, em quatro doses de P aplicado (30, 60, 120 e 240 mg P.kg<sup>-1</sup> solo), avaliando-se sua efetividade para o tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill., cv. Angela I-5100). O substrato foi solo franco-argilo-arenoso fumigado, colocado em vasos de 5 kg. Houve resposta para P até 120 mg.kg<sup>-1</sup> na matéria seca de parte aérea e raiz, e até 240 mg.kg<sup>-1</sup> na área foliar, teor e conteúdo de N e P. Em 60 mg.kg<sup>-1</sup> foi maior o índice de utilização de P e menor a razão de área foliar. Em 60 mg.kg<sup>-1</sup> as plantas micorrizadas apresentaram maior matéria seca de parte aérea que o controle, sem aumentos no teor e conteúdo de P. Em

30 mg.kg<sup>-1</sup> *G. clarum* e *G. margarita* foram superiores a *G. etunicatum* na matéria seca de parte aérea. Em 120 mg.kg<sup>-1</sup> *G. etunicatum* foi superior a *G. clarum*, na matéria seca de parte aérea e conteúdo total de N. *G. clarum* elevou a matéria seca e o conteúdo de N e P de raiz em relação ao controle. A infecção micorrízica foi maior em 30 e 60 mg.kg<sup>-1</sup> que em 240 mg.kg<sup>-1</sup>.

#### 4.2. INTRODUÇÃO

Inúmeros trabalhos têm demonstrado respostas do tomateiro à adubação fosfatada, com aumentos da produção de frutos até a dose de 100 kg P.ha<sup>-1</sup> (Hipp, 1970) ou até o nível de 0,2 ug P.ml<sup>-1</sup> em solução do solo (Swiader e Morse, 1982), com interações da produção com a temperatura e umidade do solo (Cannell et al., 1963). As recomendações de adubação são em geral elevadas, como 312 kg P.ha<sup>-1</sup> (Raij et al., 1985) ou 293 kg P.ha<sup>-1</sup> (Filgueira, 1982).

Por outro lado, as exigências nutricionais do tomateiro são bem inferiores, pois estudos de acumulação de nutrientes indicam um conteúdo total de P, em 1 ha de cultivo estaqueado, variando de 14 kg (Ward, 1964) a 21 kg (Gargantini e Blanco, 1963). Estes valores denotam a pequena eficiência da adubação mineral nos atuais sistemas de produção.

O tomateiro é uma planta que beneficia-se da associação com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA), com registros de aumentos de matéria seca (Plenchette, Fortin e Furlan, 1983a,b), acumulação de N e P (Mohandas, 1987) e produção de frutos (Halos e Zorilla, 1979), além de maior resistência à

ação de fitopatógenos (Bagyaraj, Manjunath e Reddy, 1979; Caron, Fortin e Richard, 1985; Garcia-Garrido e Ocampo, 1988).

A efetividade de diferentes espécies de FMVA varia com a dose de P aplicada ao solo (Sieverding e Howeler, 1985; Medina, Sylvia e Kretschmer, 1988), e a seleção de inoculantes deve considerar as diferenças de comportamento apresentadas por diversos endófitos em solos com adição de P (Schubert e Hayman, 1986). Espécies de FMVA nativas de solos com altos níveis de P muitas vezes apresentam maior tolerância à aplicação de P (Sylvia e Schenck, 1983), o que oferece a possibilidade de obter isolados de FMVA superiores quando inoculados em condições de altos insumos (Davis, Young e Rose, 1984).

Na literatura são escassos estudos de crescimento e nutrição do tomateiro colonizado com FMVA em diferentes níveis de fertilidade do solo, e sua dependência micorrízica talvez não esteja adequadamente estabelecida. Foi conduzido um experimento com o objetivo de avaliar a efetividade de FMVA para o tomateiro em diferentes doses de P aplicado ao solo.

### **4.3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **Tratamentos**

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, num fatorial 4 x 5, com quatro repetições, dos seguintes tratamentos: controle não inoculado e três espécies de FMVA (*Glomus clarum* Nicolson & Schenck, *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann, *Gigaspora margarita* Becker & Hall), e cinco doses de P (0, 30, 60, 120 e 240 mg P.kg<sup>-1</sup> solo).

Além disto, foi realizado um ensaio complementar, onde o solo recebeu as mesmas doses de nutrientes do experimento, sendo colocado em vasos de 2 kg e fumigado com brometo de metila, com 4 repetições para cada dose de P. Estes vasos foram molhados diariamente, e a cada duas semanas amostras de solo foram coletadas para determinação do teor de P disponível.

### **Substrato**

Utilizou-se terra da camada subsuperficial (horizonte B de um Podzólico Vermelho Amarelo série Itaguaí), passado em peneira de malha de 6 mm, de textura franco-argilo-arenosa, com as seguintes características de fertilidade (EMBRAPA, 1979), em meq.100 g<sup>-1</sup> solo: 1,4 de Ca, 1,4 de Mg, 0,12 de K, 0,06 de Na, 0,3 de Al, 4,2 de H, 2,7 ug P disponível.g<sup>-1</sup>, pH 5,0, 0,72 % de C e 19,31 % de umidade equivalente.

Adicionou-se ao solo 300 mg CaCO<sub>3</sub>.kg<sup>-1</sup> (na forma de calcário calcítico), necessário para neutralização do Al (De-Polli et al., 1988), 200 mg N.kg<sup>-1</sup> (na forma de sulfato de amônio), 280 mg K.kg<sup>-1</sup> (na forma de cloreto de potássio), mantendo-se uma relação K:N de 1,4 (Friis-Nielsen, 1969), e 200 mg FTE BR-12.kg<sup>-1</sup>. Foram colocadas ainda as doses de P respectivas a cada tratamento, na forma de superfosfato triplo moído.

O substrato (com os fertilizantes) foi misturado em betoneira, colocado em vasos de 5 kg, e fumigado com brometo de metila na dose de 200 ml.m<sup>-3</sup> solo, sendo utilizado no experimento 18 dias após a fumigação.

### **Condições de crescimento**

Sementes de tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill., variedade Angela I-5100, de hábito precoce), obtidas de fonte comercial, foram pré-germinadas em vermiculita autoclavada. Três dias após a emergência, as plântulas foram transferidas, uma para cada vaso, e colocadas em casa-de-vegetação, sob iluminação natural. Durante o período experimental, no outono de 1991, a temperatura média foi de 24,3 °C (com erro padrão de 0,23 °C), com 7,0 horas.dia<sup>-1</sup> de insolação (com erro padrão de 0,42 horas), de acordo com os dados agroclimatológicos da Estação Experimental de Itaguaí, da PESAGRO-RIO. As plantas foram regadas uma ou duas vezes ao dia, com drenagem livre dos vasos, e colhidas aos 52 dias após o transplante.

Todas as plantas receberam ainda aplicações semanais de 100 mg N.vaso<sup>-1</sup> (na forma de nitrato de amônio) e 140 mg K.vaso<sup>-1</sup> (na forma de cloreto de potássio), iniciadas 15 dias após o transplante.

### **Inoculação**

Os esporos foram extraídos de vasos de cultivo com *Brachiaria decumbens* Stapf, mantidos em casa-de-vegetação, por peneiramento úmido e centrifugação (Gerdemann e Nicolson, 1963). Colocou-se 100 esporos por plântula, inoculados em suspensão antes do transplante das mesmas.

Preparou-se uma solução de filtrado de solo (1:10 v/v solo:água), passada em papel de filtro de média velocidade, isenta de propágulos de FMVA. Um dia após o transplante,

colocou-se em todos os vasos 10 ml dessa solução, para reconstituição da microbiota original do solo.

#### **Avaliação da colonização micorrízica**

Na coleta, as raízes foram separadas manualmente do solo e lavadas, retirando-se uma amostra de cerca de 0,4 g das raízes mais finas (diâmetro menor que 1 mm), que foram coloridas de acordo com a metodologia descrita por Koske e Gemma (1989). A quantificação da colonização micorrízica foi feita pelo método da placa quadriculada (Giovannetti e Mosse, 1980), avaliando-se a percentagem do comprimento de raízes finas colonizadas.

Avaliou-se ainda o número de esporos presentes em 50 cm<sup>3</sup> do solo de cada vaso, extraídos por peneiramento úmido e centrifugação e contados em placa canelada.

#### **Análises de nutrientes**

Na coleta, as folhas, caules, frutos mais inflorescências e raízes foram separados. Nas folhas, destacaram-se os folíolos, para leitura fotométrica de área foliar, através do aparelho LI-3100 Area Meter (Li-Cor, Inc.). O material foi seco em estufa a 70 °C, pesado e moído. Determinou-se os teores de N (pelo método semi-micro Kjeldahl) e de P (por digestão nitro-perclórica e leitura colorimétrica, como descrito por Murphy e Riley, 1962).

Ao final do experimento, o solo de cada vaso foi ainda caracterizado em termos de P disponível e pH (EMBRAPA, 1979).

### Relações calculadas

Com base nos dados obtidos experimentalmente, foram calculadas ainda a relação matéria seca de raiz:parte aérea (R:S), área foliar específica (AFE, ou relação área foliar:matéria seca de folha) e razão de área foliar (RAF, ou relação área foliar:matéria seca total). Calcularam-se ainda, com base na matéria seca total (W) e conteúdo de fósforo na matéria seca ( $U_p$ ), o quociente de utilização (QU) e o índice de utilização (IU) de P, através das expressões (Siddiqi e Glass, 1981):

$$QU = \frac{W}{U_p} \quad (\text{em g.g P}^{-1}) \quad \quad IU = \frac{W^2}{U_p} \quad (\text{em g}^2.\text{mg P}^{-1})$$

### Análises estatísticas

Os dados originais e as relações obtidas sofreram análise de variância e de comparação de Médias (teste Duncan,  $P = 0,05$ ), utilizando-se o software MSTAT-C (Michigan State University).

## 4.4. RESULTADOS

### Análises de solo

Os valores de P disponível no solo apresentaram variações significativas durante o ensaio complementar. Na 2ª semana houve um decréscimo, talvez devido à reação do fertilizante com o calcáreo adicionado, que poderia tornar temporariamente

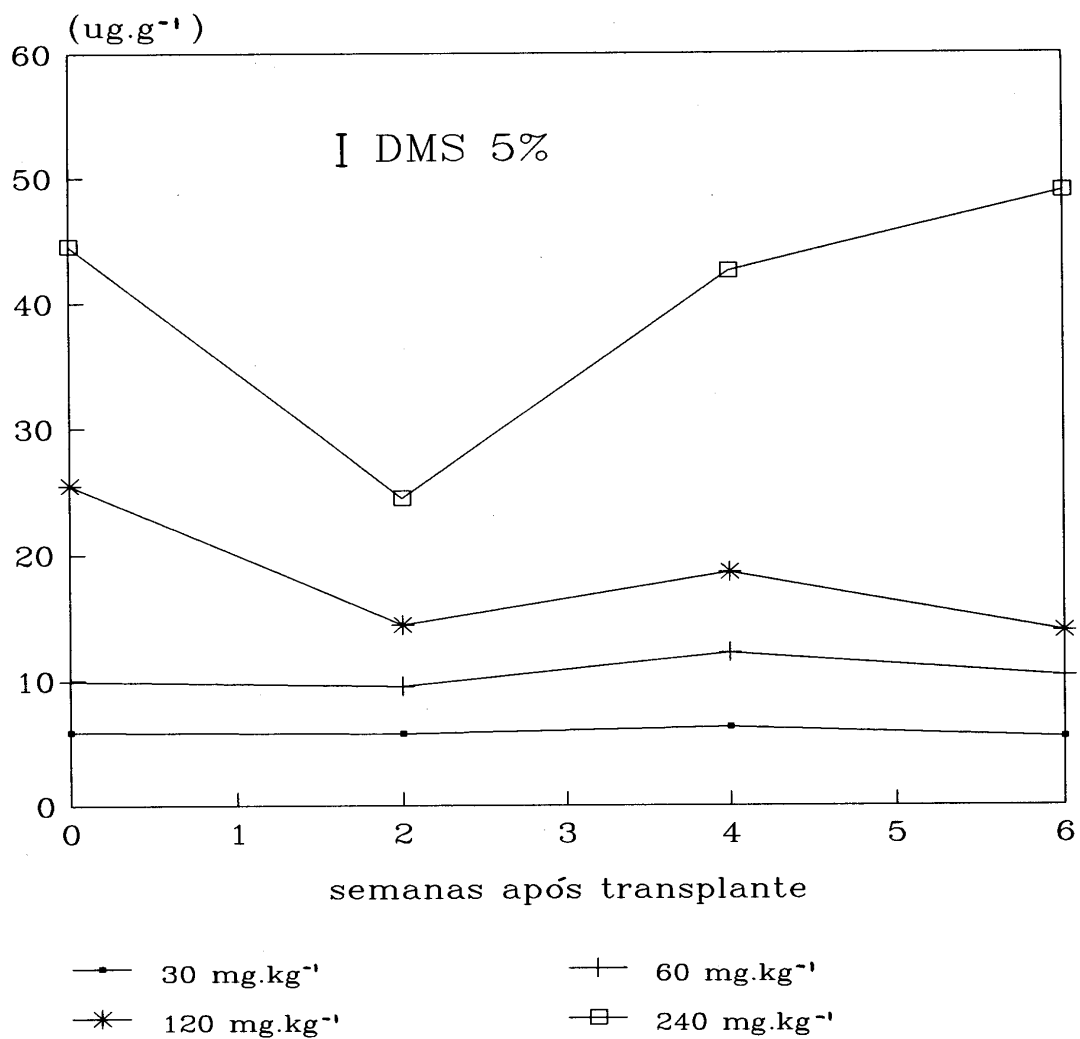
indisponível parte do P aplicado, através da formação de fosfatos de cálcio. Após esta semana, os níveis de P retornaram aos valores iniciais (Figura 4.1). Ao final do experimento, as análises de P disponível no solo dos vasos apresentaram valores de 2,4, 4,9, 7,8, 14,4 e 33,9  $\mu\text{g P.g}^{-1}$ , respectivamente para as doses de P de 0, 30, 60, 120 e 240  $\text{mg.kg}^{-1}$  (Tabela 4.1).

O pH do solo reduziu-se bastante em relação ao início do experimento, decaindo de 6,0 para 4,3. A acidificação do meio pode ser conseqüência de uma série de fatores: a nitrificação do  $\text{NH}_4^+$ , aplicado como  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  no preparo do substrato, ou como  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  em cobertura; ao mecanismo de extrusão de prótons nas raízes, na absorção do  $\text{NH}_4^+$  (Fernandes e Rossiello, 1978) ou do  $\text{K}^+$  (Mengel e Kirkby, 1980); a intensa extração de bases (K, Ca e Mg) característica da cultura (Mengel e Kirkby, 1987). Nas doses de 60, 120 e 240  $\text{mg.kg}^{-1}$ , o pH final foi significativamente inferior do que em 30  $\text{mg.kg}^{-1}$ , devido à ação acidificante da dissolução do superfosfato triplo (Tabela 4.1). A inoculação com FMVA não afetou significativamente estes parâmetros.

### **Fitomassa**

Na dose de 0  $\text{mg.kg}^{-1}$ , foram acentuados os sintomas de deficiência de P, e muitas plantas não conseguiram manter-se vivas até o final do experimento, e esta dose foi eliminada da análise estatística.





CV = 31,49 %

Figura 4.1: P disponível no solo, avaliado num ensaio paralelo ao experimento, em função das doses de P.

Tabela 4.1: P disponível e pH do solo dos vasos ao final do experimento, em função das doses de P e da inoculação com FMVA

Tratamento	P disponível (ug.g <sup>-1</sup> )	pH
30	4,9 d	4,7 a
60	7,8 c	4,2 b
120	14,4 b	4,1 b
240	33,9 a	4,2 b
Prob. F	< .001	< .001
TT	14,5	4,3
GC	16,4	4,3
GE	15,1	4,3
GM	15,0	4,2
Prob. F	n.s.	n.s.
CV (%)	17,82	3,87

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)

TT: Testemunha      GC: *Glomus clarum*

GE: *Glomus etunicatum*      GM: *Gigaspora margarita*

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P ou inoculação com FMVA), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Verificou-se resposta significativa para P até a dose de 120 mg.kg<sup>-1</sup> para matéria seca de caule, folha, raiz e total (Tabela 4.2), e até 240 mg.kg<sup>-1</sup> para área foliar (Tabela 4.3). Em 120 e 240 mg.kg<sup>-1</sup>, houve aumento da área foliar específica, permitindo à planta obter uma taxa de fixação de C com um menor investimento em fitomassa foliar. A eficiência fotossintética parece ter sido superior em 60 mg.kg<sup>-1</sup>, onde menor foi a razão de área foliar, indicando uma maior produção de matéria seca por unidade de área foliar (Tabela 4.3).

As três espécies de FMVA aumentaram significativamente a matéria seca da parte aérea em relação à testemunha apenas em 60 mg.kg<sup>-1</sup> (com acréscimos da ordem de 16 %). Nesta dose, *G. margarita* foi ainda superior à testemunha para matéria seca total (Tabela 4.2).

Nas demais doses, não houve diferença significativa entre as espécies de FMVA e a testemunha, mas em 30 mg.kg<sup>-1</sup> *G. clarum* e *G. margarita* foram superiores a *G. etunicatum* para matéria seca de parte aérea e total, e em 120 mg.kg<sup>-1</sup> *G. etunicatum* foi superior a *G. clarum* para matéria seca de parte aérea (Tabela 4.2).

*G. clarum* elevou a matéria seca de raiz em relação à testemunha e a *G. etunicatum*, aumentando a relação R:S quando comparado a *G. etunicatum*. Apesar da interação não significativa com as doses de P, observa-se que este aumento devido a *G. clarum* ocorreu em 120 e 240 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabelas 4.2 e 4.3).

Tabela 4.2: Matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Tratamento	Matéria seca (g.pl-1)									
	Caule	Folha	Flor	P. aérea	Raiz	Total				
30	5,37 c	9,48 c	0,25 b	15,10 c	1,32 c	16,42 c				
60	7,40 b	12,93 b	0,43 a	20,76 b	1,78 b	22,54 b				
120	8,81 a	15,01 a	0,50 a	24,32 a	2,15 a	26,47 a				
240	9,13 a	15,76 a	0,51 a	25,40 a	2,08 a	27,48 a				
Prob.F	< .001	< .001	< .01	< .001	< .001	< .001				
TT	7,48	13,24	0,42	21,14	1,75 b	22,89				
GC	7,91	13,19	0,40	21,50	2,02 a	23,52				
GE	7,56	13,37	0,40	21,33	1,71 b	23,04				
GM	7,76	13,37	0,47	21,60	1,86 ab	23,46				
Prob.F	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	< .07	n.s.				
30 TT	5,03	hi	9,72	fg	0,24	14,98	fg	1,32	16,31	gh
GC	6,05	gh	10,17	fg	0,24	16,47	ef	1,36	17,83	fg
GE	4,36	i	8,42	g	0,16	12,94	g	1,10	14,04	h
GM	6,04	gh	9,60	fg	0,37	16,01	ef	1,49	17,50	fg
60 TT	6,84	fg	11,28	ef	0,44	18,56	e	1,68	20,24	ef
GC	7,59	def	13,13	de	0,44	21,15	d	1,81	22,96	de
GE	7,46	ef	13,57	cd	0,45	21,49	cd	1,85	23,33	cde
GM	7,72	cdef	13,72	cd	0,40	21,84	cd	1,79	23,63	bcd
120 TT	8,97	abcd	15,30	abc	0,53	24,81	ab	1,91	26,72	abc
GC	8,25	bcde	14,03	bcd	0,52	22,79	bcd	2,52	25,32	abcd
GE	9,28	ab	15,90	ab	0,49	25,67	a	2,15	27,82	a
GM	8,74	abcde	14,81	abcd	0,46	24,00	abc	2,03	26,03	abcd
240 TT	9,10	abc	16,68	a	0,46	26,23	a	2,07	28,30	a
GC	9,74	a	15,45	abc	0,40	25,58	ab	2,40	27,98	a
GE	9,13	abc	15,59	abc	0,52	25,24	ab	1,74	26,98	ab
GM	8,56	abcde	15,35	abc	0,66	24,57	ab	2,11	26,68	abc
Prob.F	< .08	< .05	n.s.	< .05	n.s.	< .07				
CV (%)	11,50	9,92	48,52	9,17	19,70	9,18				

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)

TT: Testemunha      GC: *Glomus clarum*  
 GE: *Glomus etunicatum*      GM: *Gigaspora margarita*

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 4.3: Área foliar, área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e relação R:S do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Tratamento	Área foliar (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	AFE (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	RAF (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	R:S (mg.g <sup>-1</sup> )
30	2375 d	253 c	146 c	86,8
60	3015 c	235 c	134 d	85,8
120	4188 b	281 b	159 b	89,7
240	4879 a	311 a	178 a	81,8
Prob.F	< .001	< .001	< .001	n.s.
TT	3460	258	149	83,4 ab
GC	3635	274	153	92,9 a
GE	3706	278	161	80,9 b
GM	3655	271	154	86,9 ab
Prob.F	n.s.	n.s.	n.s.	< .10
30 TT	2253	235	139	87,5
GC	2501	247	141	82,3
GE	2360	281	168	84,7
GM	2386	249	137	92,6
60 TT	2802	249	139	89,9
GC	3114	239	136	85,7
GE	3049	227	132	85,4
GM	3094	226	131	82,4
120 TT	4135	271	155	77,2
GC	3959	286	157	111,0
GE	4375	276	157	84,4
GM	4282	291	166	86,2
240 TT	4649	277	164	79,1
GC	4967	324	179	92,7
GE	5042	326	188	68,9
GM	4859	316	182	86,5
Prob.F	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	10,73	11,61	10,09	17,51

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)

TT: Testemunha GC: *Glomus clarum*

GE: *Glomus etunicatum* GM: *Gigaspora margarita*

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

### **Teor e conteúdo de P**

Houve resposta significativa dos teores e conteúdos de P na parte aérea e raiz até 240 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 4.4). O quociente de utilização de P (que corresponde ao inverso do teor) teve diminuição contínua com o aumento das doses de P, mas o índice de utilização apresentou maiores valores em 60 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 4.5).

Os incrementos de matéria seca de parte aérea ocasionados por FMVA não vieram acompanhados de respectivos aumentos nos teores ou conteúdos de P. Na verdade, em 60 mg.kg<sup>-1</sup>, onde maior foi a efetividade dos endófitos, observou-se uma diminuição não significativa dos teores de P na parte aérea, com aumentos significativos do índice de utilização do nutriente. Em 30 mg.kg<sup>-1</sup>, *G. etunicatum* diminuiu o índice de utilização de P em relação à testemunha (Tabelas 4.4 e 4.5).

Já *G. clarum* aumentou significativamente o conteúdo de P nas raízes quando comparado à testemunha e a *G. etunicatum*, principalmente devido ao incremento respectivo registrado para matéria seca (Tabela 4.4).

### **Teor e conteúdo de N**

Observou-se resposta significativa dos teores e conteúdos de N na parte aérea e raiz até 240 mg.kg<sup>-1</sup>, ou seja, o aumento do suprimento de P trouxe estímulo à absorção de N, como observado por Cannell, Bingham e Garber (1960) (Tabela 4.6).

Tabela 4.4: Teor e conteúdo de P na matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Tratamento	Teor de P (mg P.g <sup>-1</sup> )		Conteúdo de P (mg P.pl <sup>-1</sup> )		
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	Total
30	1,23 c	1,10 c	18,42 d	1,44 d	19,86 d
60	1,31 c	1,16 c	27,16 c	2,06 c	29,21 c
120	2,20 b	1,70 b	53,22 b	3,63 b	56,85 b
240	3,23 a	2,20 a	81,92 a	4,55 a	86,48 a
Prob. F	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
TT	1,96	1,54	44,55	2,81 b	47,36
GC	1,99	1,58	45,05	3,30 a	48,35
GE	2,02	1,51	45,78	2,65 b	48,42
GM	2,01	1,53	45,34	2,92 ab	48,26
Prob. F	n.s.	n.s.	n.s.	< .02	n.s.
30 TT	1,12	1,03	16,72	1,34	18,06
GC	1,25	1,17	20,56	1,62	22,18
GE	1,38	1,13	17,83	1,25	19,08
GM	1,17	1,06	18,56	1,55	20,11
60 TT	1,43	1,21	26,54	2,03	28,57
GC	1,32	1,29	28,01	2,31	30,31
GE	1,25	1,04	26,89	1,92	28,81
GM	1,25	1,10	27,21	1,96	29,17
120 TT	2,19	1,70	54,23	3,24	57,48
GC	2,14	1,63	48,74	4,02	52,76
GE	2,15	1,68	54,89	3,62	58,51
GM	2,33	1,79	55,03	3,61	58,65
240 TT	3,08	2,23	80,72	4,63	85,34
GC	3,26	2,21	82,90	5,27	88,17
GE	3,32	2,17	83,51	3,79	87,30
GM	3,28	2,17	80,54	4,57	85,11
Prob. F	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
CV (%)	9,83	10,75	12,90	20,77	10,17

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)

TT: Testemunha GC: *Glomus clarum*

GE: *Glomus etunicatum* GM: *Gigaspora margarita*

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 4.5: Quociente de utilização de P (QU) e índice de utilização de P (IU) do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Tratamento	QU (g.g-1 P)	IU (g2.mg-1 P)
30	832 a	13,7 b
60	773 b	17,5 a
120	468 c	12,4 b
240	318 d	8,8 c
Prob.F	< .001	< .001
TT	602	12,7
GC	591	13,2
GE	586	12,8
GM	319	13,7
Prob.F	n.s.	n.s.
30 TT	901 a	14,6 bcd
GC	804 bc	14,4 cd
GE	742 cd	10,4 efgh
GM	880 ab	15,5 bc
60 TT	708 d	14,3 cd
GC	760 cd	17,4 ab
GE	812 bc	18,9 a
GM	810 bc	19,2 a
120 TT	466 e	12,5 cdef
GC	483 e	12,2 def
GE	479 e	13,4 cde
GM	443 e	11,7 defg
240 TT	332 f	9,4 fgh
GC	317 f	8,9 h
GE	310 f	8,4 h
GM	316 f	8,4 h
Prob.F	< .01	< .01
CV (%)	8,46	14,81

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)

TT: Testemunha GC: *Glomus clarum*

GE: *Glomus etunicatum* GM: *Gigaspora margarita*

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)



Tabela 4.6: Teor e conteúdo de N na matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Tratamento	Teor de N (mg N.g <sup>-1</sup> )		Conteúdo de N (mg N.pl <sup>-1</sup> )		
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	Total
30	34,9 c	29,6 bc	522 d	27,1 c	550 d
60	33,5 c	20,0 c	694 c	35,7 b	730 c
120	38,5 b	21,4 b	937 b	45,7 a	982 b
240	40,1 a	23,4 a	1020 a	48,9 a	1069 a
Prob.F	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
TT	37,5 a	20,1 b	800	35,7 b	836
GC	36,0 b	21,3 ab	779	43,2 a	822
GE	37,2 ab	21,9 a	799	37,6 ab	836
GM	36,4 ab	22,0 a	795	40,9 ab	836
Prob.F	< .10	< .07	n.s.	< .07	n.s.
30 TT	35,8 defg	19,0	532 f	25,4	557 f
GC	34,2 fgh	20,4	563 ef	27,9	591 ef
GE	36,6 cdef	21,0	472 f	23,0	495 f
GM	32,8 gh	21,8	523 f	32,1	555 f
60 TT	34,7 efgh	17,4	643 de	29,1	673 de
GC	33,9 fgh	20,6	715 d	37,4	753 d
GE	33,1 gh	20,7	711 d	38,6	750 d
GM	32,4 h	21,1	708 d	37,8	745 d
120 TT	38,2 abcd	20,2	947 bc	38,9	986 bc
GC	37,5 bcde	21,0	857 c	51,1	908 c
GE	39,0 abc	22,3	1003 ab	47,6	1049 ab
GM	39,4 abc	22,1	940 bc	45,2	985 bc
240 TT	41,2 a	23,8	1080 a	49,3	1130 a
GC	38,3 abcd	23,1	980 ab	56,3	1037 ab
GE	40,0 ab	23,6	1009 ab	41,3	1050 ab
GM	41,1 a	23,0	1009 ab	48,6	1058 ab
Prob.F	< .10	n.s.	< .05	n.s.	< .06
CV (%)	5,11	9,07	8,83	21,58	8,75

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)

TT: Testemunha GC: *Glomus clarum*

GE: *Glomus etunicatum* GM: *Gigaspora margarita*

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

*G. etunicatum* e *G. margarita* trouxeram aumentos significativos do teor de N na raiz em relação à testemunha, e *G. clarum* reduziu este teor na parte aérea em relação à testemunha, equivalendo-se às demais espécies. Em 120 mg.kg<sup>-1</sup>, *G. etunicatum* aumentou o conteúdo de N na parte aérea e total quando comparado a *G. clarum*. *G. clarum* trouxe ainda aumento do conteúdo de N na raiz em relação à testemunha (Tabela 4.6).

Em 60 mg.kg<sup>-1</sup>, não ocorreram diferenças significativas entre os inóculos para teor e conteúdo total de N. No entanto, é possível verificar uma diferença não significativa entre os endófitos e a testemunha no conteúdo total de N, com acréscimos da ordem de 12 % (Tabela 4.6).

#### **Colonização micorrízica**

As plantas não inoculadas não formaram micorriza. A infecção micorrízica nas raízes foi superior em 30 e 60 mg.kg<sup>-1</sup> em relação a 240 mg.kg<sup>-1</sup>, sem efeito significativo para as espécies de FMVA. Já *G. etunicatum* apresentou estímulo à esporulação, com aumentos do número de esporos em 60, 120 e 240 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 4.7).

Tabela 4.7: Percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA e número de esporos de FMVA em 50 cm<sup>3</sup> de solo, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Tratamento	Infecção micorrízica (%)	Número de esporos
30	37,69 a	22 b
60	40,44 a	43 ab
120	33,15 ab	59 a
240	30,33 b	59 a
Probab. F	< .05	< .01
GC	33,96	20 b
GE	36,17	97 a
GM	36,08	20 b
Probab. F	n.s.	< .001
30 GC	37,10	15 b
GE	37,72	38 b
GM	38,37	14 b
60 GC	38,75	19 b
GE	39,51	97 a
GM	43,05	13 b
120 GC	26,33	17 b
GE	33,81	124 a
GM	39,33	38 b
240 GC	33,68	28 b
GE	33,62	130 a
GM	23,69	18 b
Probab. F	n.s.	< .10
CV (%)	13,85	29,99

Os valores 30, 60, 120 e 240 correspondem às doses de P (mg.kg<sup>-1</sup>)  
 GC: *Glomus clarum* GE: *Glomus etunicatum* GM: *Gigaspora margarita*

Os dados de infecção micorrízica e de número de esporos são originais, e sofreram respectivamente as transformações  $\arcsin \sqrt{V x / 100}$  e  $V x + 1$  antes da análise estatística

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

#### 4.5. DISCUSSÃO

As respostas de matéria seca à aplicação de P são similares às de outros experimentos em casa-de-vegetação, como as doses de P de 100 mg.kg<sup>-1</sup> (Hogue, Wilcox e Cantliffe, 1970) e 110 mg.kg<sup>-1</sup> (Föhse, Claassen e Jungk, 1988).

O maior suprimento de P afetou o crescimento preferencialmente através do estímulo à expansão foliar, com aumento da área foliar e da área foliar específica, mais do que por efeitos na fotossíntese, pois houve aumento da razão de área foliar (indicando uma menor produção de matéria seca para cada unidade de área foliar), como observado em feijão (Lynch, Läuchli e Epstein, 1991). Deste modo, a expansão foliar foi mais sensível às doses de P do que a matéria seca (tal como observado por Israel e Rufty, 1988).

Na dose intermediária de P (60 mg.kg<sup>-1</sup>) é que parece ter ocorrido a maior eficiência fotossintética do vegetal, pois foi menor a razão de área foliar e maior a eficiência de utilização de P; a partir desta dose o suprimento de P começa a exceder os requerimentos de crescimento. Smeets e Garretsen (1986) observaram que genótipos de tomateiro com maiores taxas de assimilação líquida apresentavam as menores razões de área foliar. Em soja, os maiores índices de utilização de P foram observados nas doses de P onde maior foi a produção de fitomassa, e associados a aumentos da área foliar e da razão de área foliar (Israel e Rufty, 1988).

A efetividade dos endófitos foi controlada principalmente pelo nível de P disponível no solo, mais do que propriamente pela espécie de fungo (como proposto por Clarke e Mosse, 1981). A

faixa de P disponível de maior efetividade foi estreita, com efeitos mais significativos de matéria seca apenas em níveis reduzidos de P (como observado em tomateiro por Daft e Nicolson, 1966), no caso  $10 \text{ ug P.g}^{-1}$ . A dependência micorrízica foi pequena (como concluíram Plenchette, Fortin e Furlan, 1983a), mas aspectos deletérios não foram observados nas doses mais elevadas (ao contrário de Waterer e Coltman, 1988).

Os efeitos benéficos foram maiores na dose intermediária de P, resultado comum na literatura (Bethlenfalvay, Bayne e Pacovsky, 1983; Fernandes et al., 1987; Howeler, Cadavid e Burckhardt, 1982), que coincidiu com a maior eficiência fotossintética do vegetal, sugerindo um melhor balanço fonte-dreno entre simbioses. Nesta dose foi também maior a infecção micorrízica, reforçando a hipótese de que a inibição da infecção é controlada mais pelo status nutricional do hospedeiro do que por um efeito direto de P no fungo (Menge et al., 1978). No entanto, um efeito de diluição da infecção devido ao maior volume do sistema radicular nas doses mais altas de P não pode ser descartado (Smith, 1982).

Apesar da simbiose ter sido controlada pelo nível de P disponível, a acumulação de P não foi o fenômeno determinante na efetividade de FMVA. Em geral, plantas micorrizadas apresentam maiores concentrações de P no tecido que plantas não infectadas de mesmo tamanho, devido ao aumento da demanda por C pelo endófito (Stribley, Tinker e Rayner, 1980), apresentando em consequência menor eficiência de utilização de P (Raju et al., 1990).

No entanto, o estímulo ao crescimento em plantas de soja micorrizadas não foi acompanhado de aumento significativo do teor e conteúdo de P (Bethlenfalvay, Bayne e Pacovsky, 1983; Paula e

Siqueira, 1987). Plantas de soja micorrizadas apresentaram menor concentração de P do que plantas não-micorrizadas de mesma matéria seca adubadas com P, sugerindo que o *input* de P teria sido imediatamente utilizado para o crescimento (Pacovsky e Fuller, 1986), apresentando inclusive aumento da taxa fotossintética por unidade de P acumulado (Brown e Bethlenfalvay, 1988). O conteúdo de P e os teores de nutrientes não explicaram o estímulo ao crescimento de plantas micorrizadas de alho porro e maçã, sugerindo que este estímulo poderia ser atribuído à interação de metabólitos do fungo com o processo de crescimento do hospedeiro (Plenchette, Furlan e Fortin, 1983).

Os efeitos dos endófitos na absorção de N não podem ser explicados apenas por uma melhoria na nutrição de P (como proposto por Carling et al., 1978), mas provavelmente pelo envolvimento do fungo na absorção, assimilação e translocação de N, particularmente em sua forma pouco móvel de  $\text{NH}_4^+$  (Ames et al., 1983). No experimento foram realizadas aplicações semanais de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , e parte do N das plantas deve ter sido absorvido como  $\text{NH}_4^+$ , antes de sua nitrificação no solo.

A aplicação de N afeta a resistência das raízes à infecção micorrízica (Sylvia e Neal, 1990), e a relação  $\text{NH}_4:\text{NO}_3$  altera as respostas à inoculação (Johnson, Jarrell e Menge, 1984). Estes aspectos podem assumir grande relevância na simbiose do tomateiro, planta bastante sensível às fontes de N (Kirkby e Mengel, 1967).

No experimento, é possível que a efetividade de FMVA não esteja restrita apenas a aspectos de nutrição mineral. Apesar de plantas micorrizadas apresentarem aumento dos teores de Cu e Zn (Pacovsky, 1986), estes aumentos talvez não sejam suficientes para justificar diferenças de matéria seca da magnitude das

registradas no atual experimento. Há possibilidade de um estímulo ao acúmulo de S, pouco estudado, que assumiria maior relevância em solos como o do experimento, com pequeno teor de matéria orgânica. Porém, o estímulo na absorção de S em plantas micorrizadas teria resultado do aumento do poder de absorção das raízes com a melhoria na nutrição de P (Rhodes e Gerdemann, 1978).

No tomateiro, a efetividade micorrízica pode estar associada ao status hídrico, com aumento de potencial hídrico do xilema (Poss et al., 1985) e diminuição da respiração nas folhas (Dehne, 1986). Aumentos da relação peso fresco:peso seco (Snellgrove et al., 1982; Son e Smith, 1988) e do conteúdo hídrico relativo (Paula e Siqueira, 1987) em plantas micorrizadas poderiam facilmente indicar este fenômeno.

Houve diferenças marcantes entre os endófitos, e *G. etunicatum* apresentou maior tolerância às doses mais elevadas de P, como observado por Medina, Sylvia e Kretschmer (1988), com estímulo à absorção de N. O aumento da esporulação do endófito poderia ser associado a uma maior tolerância a P, como proposto por Sylvia e Schenck (1983), mas estes autores registraram que *G. etunicatum* não foi infectivo em alto P, ao contrário de *G. clarum* e *G. margarita*.

O maior investimento em sistema radicular de plantas inoculadas com *G. clarum* pode ser um aspecto benéfico em solos de baixa fertilidade. Resultados semelhantes, embora não muito comuns, já foram observados em plantas micorrizadas de tomateiro (Fairweather e Parbery, 1982), sorgo (Pacovsky, Bethlenfalvay e Paul, 1986), soja (Bethlenfalvay et al., 1982) e feijão (Daft e El-Ghiami, 1974).

#### 4.6. CONCLUSÕES

- Houve resposta significativa para as doses de P até  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  na matéria seca de parte aérea e raiz, e até  $240 \text{ mg.kg}^{-1}$  na área foliar, teor e conteúdo de N e P.
- Em  $60 \text{ mg.kg}^{-1}$ , as plantas micorrizadas apresentaram maior matéria seca de parte aérea do que o controle, sem aumento do teor e conteúdo de P.
- Em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  *G. etunicatum* foi superior a *G. clarum*, com aumento de matéria seca de parte aérea e conteúdo total de N.
- *G. clarum* elevou a matéria seca e o conteúdo de N e P de raiz em relação ao controle.



**5. ANÁLISE DE CRESCIMENTO DO TOMATEIRO COLONIZADO COM FUNGO MICORRÍZICO VESÍCULO-ARBUSCULAR, EM DOIS NÍVEIS DE P NO SOLO**

**5.1. RESUMO**

Em um experimento em casa-de-vegetação, foram quantificadas as taxas de crescimento, acumulação e utilização de P (inclusive o fluxo líquido de P nas raízes) no tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill., cv. Angela I-5100), cultivado em duas doses de P (60 e 120 mg P.kg<sup>-1</sup> solo), e inoculado ou não com *Glomus etunicatum*. Foi utilizado um método funcional de análise de crescimento, com dez coletas semanais (dos 27 aos 90 dias após transplante) e leitura fotométrica de área radicular. Entre os modelos matemáticos testados para ajuste dos dados - Gompertz, Logística, exponenciais polinomiais de 2º grau e de 3º grau - o último foi o escolhido.

Foi observada contínua redução da relação matéria seca de raiz:parte aérea (R:S), da área foliar específica, do raio radicular e do teor de P nas partes vegetais. Em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  houve aumento de área foliar, matéria seca total e raio radicular, e diminuição da relação R:S. FMVA aumentou a área e matéria seca radicular, e diminuiu o raio radicular. Em  $60 \text{ mg.kg}^{-1}$  FMVA aumentou a matéria seca de caule, e em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  a relação R:S e a área foliar específica. FMVA aumentou o conteúdo de P no caule. Em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  FMVA aumentou o teor de P no caule, folha e fruto, e o conteúdo de P na folha, fruto e total. Em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  houve aumento da taxa de crescimento relativo, das taxas de acumulação de P e do fluxo líquido de P, e diminuição da taxa de utilização específica de P. A taxa de assimilação líquida foi pouco afetada. Numa primeira fase, FMVA reduziu as taxas de crescimento, de assimilação líquida e de utilização de P, mais acentuadamente em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Depois observou-se aumento dessas taxas e retardamento da senescência vegetal. Em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$  FMVA aumentou as taxas de acumulação de P, sem estímulo à fotossíntese, reduzindo a taxa de utilização específica de P. O estímulo de FMVA à produção de raízes acarretou a redução do fluxo líquido de P.

## 5.2. INTRODUÇÃO

A associação micorrízica sofre variações durante o desenvolvimento ontogenético do hospedeiro, pois relações fonte-dreno alteram a simbiose (Bethlenfalvay et al., 1982), com variações na proporção da biomassa fúngica, na relação entre micélio extra e intra-radicular (Bethlenfalvay, Brown e Pacovsky,

1982) e entre vesículas e arbúsculos (Saif, 1977). As micorrizas utilizaram 17 % do total de fotossintatos de plantas de soja de 6 semanas, valor que decaiu para 8 % após 9 semanas (Harris, Pacovsky e Paul, 1985).

A adição de P ou as micorrizas aumentariam o crescimento das plantas através do estímulo à expansão foliar, e não propriamente pelo aumento das taxas fotossintéticas por unidade de área foliar (Fredeen e Terry, 1988; Lynch, Läuchli e Epstein, 1991). Entretanto, há registros de aumentos da taxa fotossintética na presença de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (FMVA) (Kucey e Paul, 1982; Harris, Pacovsky e Paul, 1985), inclusive devido à diminuição da resistência estomática nas folhas (Allen et al., 1981).

A taxa de absorção de P pelo tomateiro depende fortemente da área radicular (Fontes e Barber, 1984), e é um fator primário nas diferenças de taxas de crescimento de variedades de tomateiro (Coltman, Gerloff e Gabelman, 1985). Espécies com baixa eficiência de absorção de P, onde incluiria-se o tomateiro, apresentam menores valores de influxo de P e de relação entre comprimento radicular e matéria seca de parte aérea (Föhse, Claassen e Jungk, 1988).

A simbiose micorrízica está em geral associada a aumentos dos fluxos líquidos de P nas raízes, através da ampliação da zona de absorção de P adjacente às raízes (Rhodes e Gerdemann, 1975), de uma maior capacidade das hifas fúngicas em absorver P de concentrações menores do que as raízes (Cress, Throneberry e Lindsey, 1979) ou do aumento do número de sítios de absorção por unidade de área radicular (Karunaratne, Baker e Barker, 1986; Faquin, Malavolta e Muraoka, 1990). Esses aumentos podem ser registrados numa ampla gama de níveis de P no solo (Smith, 1982),

mas em condições de baixa radiação luminosa o influxo de P pode ser deprimido (Son e Smith, 1988).

Com o maior acesso aos recursos computacionais, houve uma tendência a exprimir as diversas curvas de crescimento vegetal através de expressões matemáticas, de onde é possível obter-se, pela análise funcional, as taxas de crescimento (Calbo, Silva e Torres, 1989a). A mesma metodologia pode ser usada na determinação das taxas de acumulação de nutrientes, a partir de avaliações do sistema radicular (Brewster e Tinker, 1972).

Foi assim instalado um experimento em casa-de-vegetação com o objetivo de quantificar as taxas de crescimento, de acumulação e de utilização de P no tomateiro, em duas doses de P no solo e na presença ou ausência de inoculação micorrízica, através de um método funcional de análise de crescimento.

### 5.3. MATERIAL E MÉTODOS

#### Tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, num fatorial  $2 \times 2 \times 10$ , com 4 repetições, dos seguintes tratamentos: duas doses de P (60 e 120 mg P.kg<sup>-1</sup> solo), inoculado e não-inoculado com *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann e 10 coletas semanais, dos 27 aos 90 dias após transplante (DAT). Retirou-se uma amostra das plântulas utilizadas no transplante, obtendo-se os seguintes dados para uma planta em 0 DAT: matéria seca de 3,273 mg; área foliar de 0,26 cm<sup>2</sup>; área radicular de 0,01 cm<sup>2</sup>; teor de 9,76 mg P.g<sup>-1</sup>; conteúdo de 0,03 mg P.

### Substrato

Utilizou-se terra da camada superficial (horizonte A de um Podzólico Vermelho Amarelo série Itaguaí), passado em peneira de malha de 6 mm, de textura franco-areno-argilosa, com as seguintes características de fertilidade (EMBRAPA, 1979), em meq.100 g<sup>-1</sup>: 1,2 de Ca, 1,1 de Mg, 0,24 de K, 0,01 g de Na, 0,1 de Al, 2,1 de H, 2,4 ug P disponível.g<sup>-1</sup>, pH 5,4 e 0,96 % de C.

Adicionou-se ao solo 400 mg CaCO<sub>3</sub>.kg<sup>-1</sup> (na forma de calcário calcítico) necessário para elevação do nível de Ca+Mg a 3,0 meq.100 g<sup>-1</sup> (De-Polli et al., 1988), 100 mg N.kg<sup>-1</sup> (na forma de sulfato de amônio), 140 mg K.kg<sup>-1</sup> (na forma de cloreto de potássio), mantendo-se uma relação K:N de 1,4 (Friis-Nielsen, 1969), 12 mg Mg.kg<sup>-1</sup> (na forma de óxido de magnésio) e 100 mg micronutriente.kg<sup>-1</sup> (na forma de FTE BR-12). Foram colocadas ainda as doses de P respectivas a cada tratamento (60 e 120 mg P.kg solo<sup>-1</sup>), na forma de superfosfato triplo, moído e passado em peneira de 26 mesh.

O substrato (com os fertilizantes) foi misturado em betoneira, fumigado com brometo de metila na dose de 200 ml.m<sup>-3</sup> de solo, e colocado em vasos de 13 kg, sendo utilizado no experimento 19 dias após a fumigação.

### **Condições de crescimento**

Sementes de tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill., variedade Angela I-5100, de hábito precoce), obtidas de fonte comercial, foram pré-germinadas em vermiculita autoclavada. Três dias após a emergência, as plântulas foram transferidas, uma para cada vaso, e colocadas em casa-de-vegetação sob iluminação natural, durante a primavera e verão de 1991. A Figura 5.1 apresenta as médias semanais de temperatura média e insolação diária durante o período experimental (de acordo com os dados agroclimatológicos da Estação Experimental de Itaguaí, da PESAGRO-RIO). As plantas foram regadas de uma a três vezes ao dia, com drenagem livre dos vasos.

Todas as plantas receberam ainda aplicações semanais de 100 mg N.vaso<sup>-1</sup> (na forma de nitrato de amônio) e 140 mg K.vaso<sup>-1</sup> (na forma de cloreto de potássio), iniciadas 16 dias após o transplante. Em virtude da observação de sintomas de deficiência de Mg nas plantas (com o amarelecimento das folhas mais baixas), foram feitas duas aplicações no solo de solução de MgO, na dose de 78 mg Mg.vaso<sup>-1</sup>.

### **Inoculação**

Os esporos foram extraídos de vasos de cultivo com *Brachiaria decumbens* Stapf, mantidos em casa-de-vegetação, por peneiramento úmido e centrifugação (Gerdemann e Nicolson, 1963). Colocou-se 200 esporos por plântula, inoculados em suspensão antes do transplante das mesmas.

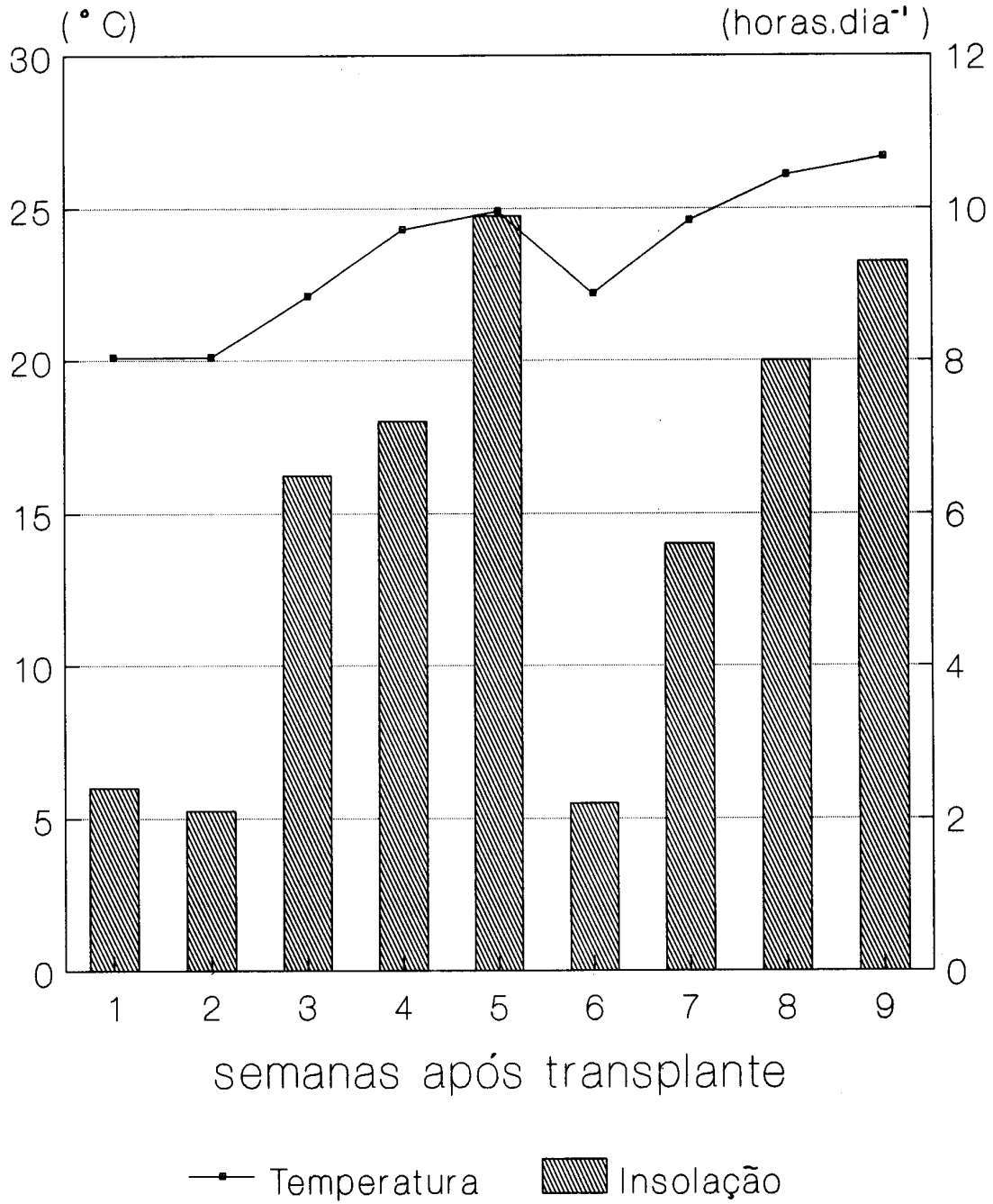


Figura 5.1: Temperatura média e insolação durante o período experimental.

Preparou-se uma solução de filtrado de solo (1:10 v/v solo:água), passada em papel de filtro de média velocidade, isenta de propágulos de FMVA. Um dia após o transplante, colocou-se em todos os vasos 10 ml dessa solução, para reconstituição da microbiota original do solo.

#### **Avaliação da colonização micorrízica**

Nas coletas, as raízes foram separadas manualmente do solo e lavadas, retirando-se uma amostra de cerca de 0,4 g das raízes mais finas (diâmetro menor que 1 mm), que foram coloridas de acordo com a metodologia descrita por Koske e Gemma (1989). A quantificação da colonização micorrízica foi feita pelo método da placa quadriculada (Giovannetti e Mosse, 1980), avaliando-se o comprimento de raízes finas colonizadas.

Avaliou-se ainda o número de esporos presentes em 50 cm<sup>3</sup> do solo de cada vaso, extraídos por peneiramento úmido e centrifugação e contados em placa canelada.

#### **Determinações na parte aérea**

Nas coletas, as folhas, caules, frutos mais inflorescências foram separados; na 9a e 10a coletas foram separadas as folhas senescentes, e na 10a coleta foi avaliada a matéria fresca de fruto. Nas folhas, destacou-se ainda os folíolos, para leitura fotométrica da área foliar (AF), através do aparelho LI-3100 Area Meter (Li-Cor, Inc.). O material de cada parte vegetal foi seco separadamente em estufa a 70 °C, pesado e moído. Determinou-se o teor de P, através da digestão nitro-perclórica e dosagem colorimétrica (Murphy e Riley, 1962).



### Determinações nas raízes

As raízes foram separadas do solo, e lavadas cuidadosamente. Determinou-se então a massa das raízes em turgidez, considerada como equivalente ao volume radicular (VR) (Nye e Tinker, 1977). Retirou-se uma sub-amostra das raízes que, espalhadas e colocadas entre folhas de acetato, forneceram uma leitura fotométrica da área transversal, através do aparelho LI-3100 Area Meter (Li-Cor, Inc.), sendo então pesadas. Usando a relação entre peso fresco da sub-amostra e da raiz total, assumindo-se que as raízes possuem seção uniforme, e multiplicando-se por  $\pi$ , obteve-se a área radicular total (AR), como proposto por Rossiello et al. (no prelo). A partir dessa estimativa, calculou-se o raio médio das raízes (RR) e o comprimento total da raiz (CR), através das expressões (Schenk e Barber, 1979):

$$RR = \frac{2 \cdot VR}{AR} \quad \text{e} \quad CR = \frac{AR}{2 \cdot \pi \cdot RR}$$

Separou-se ainda uma sub-amostra para determinação da infecção micorrízica, e o material restante das raízes foi colocado em estufa a 70 °C, pesado e moído, determinando-se o teor de P (Murphy e Riley, 1962). Em cada coleta, o solo de cada vaso foi ainda caracterizado em termos de P disponível e pH em água (EMBRAPA, 1979).

### Cálculo das taxas de crescimento

Utilizou-se um método funcional, testando-se diferentes expressões matemáticas para o ajuste dos dados, com repetições, de matéria seca total (parte aérea mais raiz) e área foliar. Foram testados os modelos exponenciais polinomiais de 2º e de 3º grau, Logística e Gompertz. Estas equações, tanto na sua forma original quanto na forma linearizada (Calbo, Silva e Torres, 1989b), estão apresentadas no Quadro a seguir:

Modelos testados para ajuste dos dados de matéria seca total, área foliar, conteúdo de P e área radicular

Nome	Equação	Linearização
Exp.2o grau	$W = \exp (a + bt + ct^2)$	$\ln W = a + bt + ct^2$
Exp.3o grau	$W = \exp (a + bt + ct^2 + dt^3)$	$\ln W = a + bt + ct^2 + dt^3$
Logística	$W = a / (1 + b \exp (-kt))$	$\ln ((a-W)/W) = \ln b - kt$
Gompertz	$W = a \exp (-b \exp (-kt))$	$\ln \ln (a/W) = \ln b - kt$

Por derivação da função para matéria seca, obteve-se as taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), e a partir da TCA e da função para área foliar, calculou-se a taxa de assimilação líquida (TAL), através das expressões:

$$TCA = \frac{dW}{dt} \quad (\text{em g.dia}^{-1})$$

$$TCR = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} \quad \text{ou} \quad TCR = \frac{TCA}{W} \quad (\text{em g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1})$$

$$TAL = \frac{1}{AF} \cdot \frac{dW}{dt} \quad \text{ou} \quad TAL = \frac{TCA}{AF} \quad (\text{em mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1})$$

### **Cálculo das taxas de acumulação e de utilização de P**

Por definição oriunda da Física, fluxo é a variação de uma grandeza num intervalo de tempo; quando esta variação é expressa em termos de uma unidade de área perpendicular à direção do fluxo, temos uma densidade de fluxo. No caso da acumulação de nutrientes por um vegetal, ocorrem simultaneamente um fluxo positivo (entrada) e um fluxo negativo (saída) de nutrientes no sistema radicular, e essa diferença é o fluxo líquido.

Ao quantificar a variação do conteúdo de nutrientes no tecido vegetal em relação ao tempo, e expressando esta taxa em termos da área radicular, estamos diante de uma densidade de fluxo líquido, que ser aqui denominada de fluxo líquido (F). O termo influxo, utilizado comumente na literatura para descrever as taxas de acumulação de nutrientes por unidade de comprimento radicular (Brewster e Tinker, 1972), seria incorreto num sentido estrito do termo, mas ser aqui mantido quando da referência a trabalhos de outros autores.

Em virtude dos elevados coeficientes de variação para os dados de comprimento radicular, tornou-se mais conveniente calcular os valores de taxas de acumulação em termos de área radicular. Foram então testadas as expressões para ajuste dos dados de área radicular (AR) e conteúdo de P ( $U_p$ ), com repetições. Por derivação da função para P total, obteve-se as taxas de acumulação absoluta (TAA) e relativa (TAR) de P, calculando-se a partir da TAA e da função para área radicular o fluxo líquido de P ( $F_p$ ), através das expressões:

$$TAA = \frac{dUp}{dt} \quad (\text{em mg P.dia}^{-1})$$

$$TAR = \frac{1}{Up} \cdot \frac{dUp}{dt} \quad \text{ou} \quad \frac{TAR}{Up} \quad (\text{em mg P.mg}^{-1} \text{ P.dia}^{-1})$$

$$Fp = \frac{1}{AR} \cdot \frac{dUp}{dt} \quad \text{ou} \quad Fp = \frac{TAA}{AR} \quad (\text{em ug P.cm}^{-2} \text{.dia}^{-1})$$

A taxa de utilização específica de P (TUE) foi calculada pela expressão (Keay, Biddiscombe e Ozanne, 1970):

$$TUE = \frac{1}{Up} \cdot \frac{dW}{dt} \quad \text{ou} \quad TUE = \frac{TCA}{Up} \quad (\text{em g.g}^{-1} \text{ P.dia}^{-1})$$

### **Análises estatísticas**

O ajuste das expressões matemáticas foi efetuado com o software MSTAT-C (Michigan State University), para os modelos exponenciais de 2° e 3° graus, com ajuste pelo método dos mínimos quadrados, e da planilha eletrônica SC4(R), para os modelos de Gompertz e Logística, por método de tentativas até a obtenção do maior coeficiente de determinação da expressão linearizada.

Com base nos dados obtidos experimentalmente, foram calculadas ainda a relação matéria seca de raiz:parte aérea (R:S), área foliar específica (AFE, ou relação área foliar:matéria seca de folha) e quociente de utilização de P (QU, ou relação matéria seca total:conteúdo de P na matéria seca) para cada planta.

Os dados originais e as relações obtidas sofreram análise de variância e de comparação de médias, utilizando-se o software MSTAT-C.

## 5.4. RESULTADOS

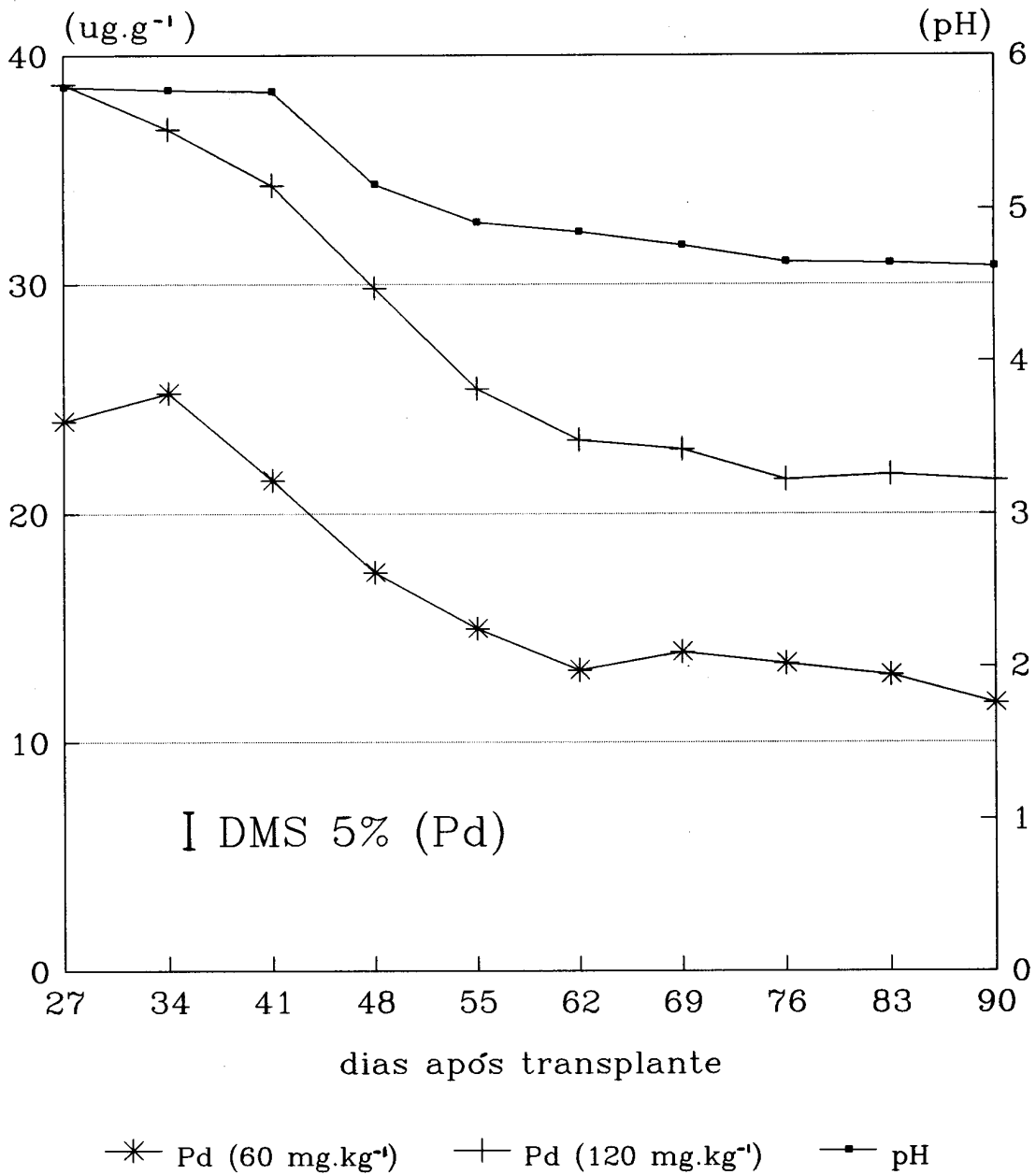
### Análises de solo

Os valores de P disponível no solo dos vasos em cada coleta decaíram continuamente durante o experimento, em ambas as doses de P (Figura 5.2). Este efeito deve ser atribuído à extração da cultura (como observado por Keay, Biddiscombe e Ozanne, 1970), pois ao final do experimento cada planta havia retirado cerca de 280 mg de P (ou 22 mg P.kg<sup>-1</sup> solo no vaso). A diminuição do pH observada no transcorrer do experimento foi conseqüência dos fatores já citados no experimento anterior (Capítulo 4).

A dose aplicada de 400 mg CaCO<sub>3</sub>.kg<sup>-1</sup> parece ter sido insuficiente, com aparecimento de ligeiros sintomas de deficiência de Ca (podridão apical de frutos) e Mg (amarelecimento internerval em folhas velhas). O aumento do nível de suficiência de 3,0 meq.100 g<sup>-1</sup> solo para Ca + Mg disponível, ou a utilização de um coeficiente de eficiência da calagem (mesmo em solos mais arenosos) talvez pudessem ser recomendados para a cultura do tomateiro estaqueado, garantindo um adequado suprimento destes nutrientes.

### Fitomassa

Pela análise de variância, registraram-se valores máximos de área foliar aos 69 DAT, de matéria seca de caule e folha aos 83 DAT, e de matéria seca de fruto, raiz e total aos 90 DAT (Tabela 5.1). Observou-se a translocação de fotossintatos de folhas e caule para os frutos após 83 DAT, quando acentuou-se a senescência foliar e iniciou-se o amadurecimento e colheita dos frutos frescos. Houve ainda redução contínua da relação R:S e da área foliar específica (Tabela 5.5).



CV (Pd) = 8,19 %

Figura 5.2: P disponível (Pd) e pH no solo dos vasos em cada coleta, em função das doses de P (valores de pH representam a média para as duas doses de P, pois não houve diferença significativa)

A Figura 5.3 apresenta a distribuição percentual da matéria seca vegetal durante o experimento, que foi pouco afetada pelos tratamentos. A folha vai diminuindo continuamente sua participação, e o fruto aumentando, enquanto o caule sofreu menores variações, em virtude do crescimento indeterminado da variedade utilizada.

Comparando as doses de P, em P2 houve resposta significativa de área foliar e matéria seca de caule e total a partir de 62 DAT, e de matéria seca de folha a partir dos 69 DAT (Tabela 5.3), com diminuição da relação R:S, mais intensa nas primeiras coletas (Tabela 5.7). Entre 34 e 48 DAT, houve aumento da área foliar específica na dose mais alta de P (Tabela 5.7).

No início do experimento, foram observados ligeiros sintomas de *stunting* (definhamento) nas plantas não inoculadas, não registrados nas plantas inoculadas; estes sintomas foram desaparecendo com o transcorrer do experimento. A micorriza elevou significativamente a matéria seca de raiz (mais intensamente em 90 DAT), a matéria seca de caule em P1, a relação R:S e a área foliar específica em P2 (Tabelas 5.2, 5.4 e 5.6). Apesar de não haver resposta significativa das doses de P para matéria fresca de frutos na 10<sup>a</sup> coleta, em P2 houve um aumento neste parâmetro; já FMVA diminuiu também não significativamente este valor (Tabela 5.9). Observou-se ainda na 10<sup>a</sup> coleta um aumento não significativo do índice de colheita (relação matéria seca de fruto:matéria seca total) na maior dose de P, e sua redução significativa na presença de FMVA, sem interação significativa entre os fatores (Tabela 5.9).

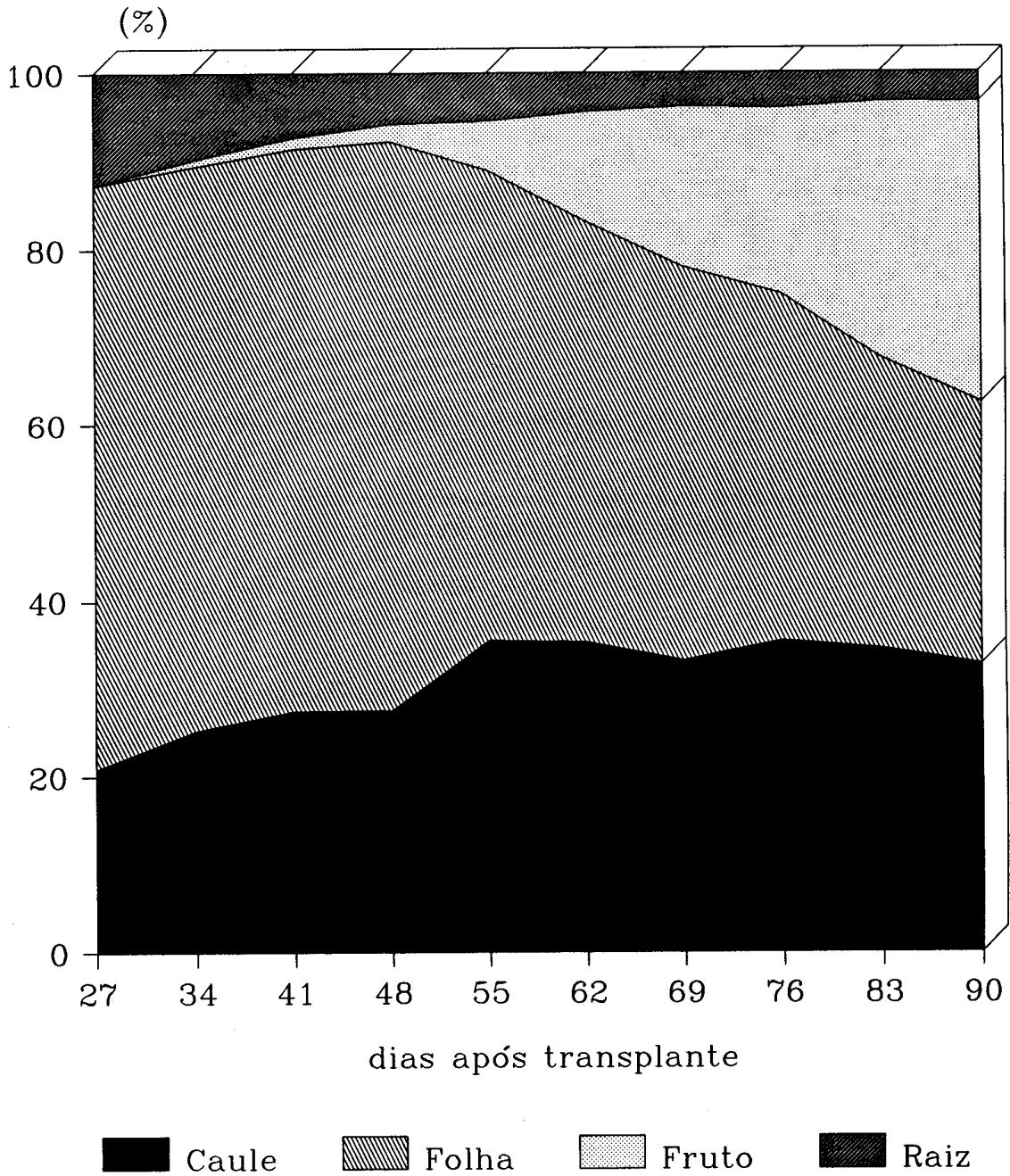


Figura 5.3: Distribuição da matéria seca do tomateiro durante o período experimental



Tabela 5.1: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função da época de coleta

Trata- mento -	Área Foliar (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Matéria seca (g.pl <sup>-1</sup> )				
		Caule	Folha	Fruto	Raiz	Total
27 D	625 h	0,36 h	1,15 i	0,00 g	0,21 g	1,73 i
34 D	2070 g	1,68 h	4,31 h	0,06 g	0,68 f	6,72 h
41 D	4072 f	4,66 g	10,86 g	0,21 g	1,25 e	16,97 g
48 D	6831 e	10,20 f	23,91 f	0,73 g	2,15 d	36,98 f
55 D	9135 c	25,12 e	37,70 e	3,91 f	3,84 c	70,57 e
62 D	9832 b	35,65 d	48,15 d	12,45 e	4,45 b	100,71 d
69 D	10589 a	41,23 c	55,42 ab	22,50 d	4,77 b	123,92 c
76 D	10356 a	48,32 b	53,63 bc	28,59 c	5,54 a	136,08 b
83 D	9425 bc	59,68 a	56,92 a	50,13 b	5,80 a	172,53 a
90 D	8573 d	57,90 a	52,23 c	60,20 a	5,99 a	176,32 a
Prob.F	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
CV (%)	9,43	13,77	11,91	24,51	17,85	7,21

D: dias após transplante

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.2: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e de sua interação

Tratamento	Área Foliar (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Matéria seca (g.pl <sup>-1</sup> )				
		Caule	Folha	Fruto	Raiz	Total
P1	6941 b	27,23 b	32,87 b	17,58	3,45	81,13 b
P2	7360 a	29,73 a	35,99 a	18,17	3,49	87,38 a
Prob. F	< .001	< .001	< .001	n.s.	n.s.	< .001
-M	7121	28,20	34,51	17,69	3,38 b	83,78
+M	7180	28,77	34,35	18,06	3,56 a	84,73
Prob. F	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<.06	n.s.
P1 -M	6966	26,38 c	32,87	17,71	3,41	80,37
P1 +M	6916	28,09 b	32,86	17,44	3,49	81,88
P2 -M	7276	30,02 a	36,15	17,67	3,34	87,19
P2 +M	7445	29,44 ab	35,83	18,67	3,63	87,58
Prob. F	n.s.	< .06	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.3: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P

Trata- mento	Área Foliar (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Matéria seca (g.pl <sup>-1</sup> )					Total
		Caule	Folha	Fruto	Raiz		
27D P1	715 i	0,35 k	1,29 h	0,00	0,27	1,91 l	
P2	534 i	0,37 k	1,02 h	0,00	0,16	1,54 l	
34D P1	2097 h	1,68 jk	4,55 h	0,04	0,75	7,01 l	
P2	2044 h	1,68 jk	4,06 h	0,07	0,61	6,43 l	
41D P1	4093 g	4,90 j	10,97 g	0,24	1,33	17,43 k	
P2	4051 g	4,42 jk	10,75 g	0,18	1,17	16,52 k	
48D P1	6606 f	9,69 i	25,09 f	0,61	2,17	37,56 j	
P2	7057 f	10,71 i	22,73 f	0,85	2,13	36,41 j	
55D P1	8888 d	25,69 h	36,80 e	3,71	3,85	70,05 i	
P2	9383 cd	24,55 h	38,61 e	4,11	3,84	71,10 i	
62D P1	9393 cd	33,01 g	47,47 d	12,56	4,64	97,68 h	
P2	10271 b	38,29 f	48,84 cd	12,34	4,26	103,73 g	
69D P1	10101 bc	38,40 f	48,78 cd	23,30	4,55	115,03 f	
P2	11077 a	44,06 e	62,06 a	21,70	4,99	132,81 e	
76D P1	10043 bc	45,84 e	51,73 bcd	28,30	5,47	131,35 e	
P2	10669 ab	50,81 d	55,52 b	28,87	5,62	140,82 d	
83D P1	9398 cd	56,93 bc	52,77 bc	50,53	5,81	166,05 c	
P2	9451 cd	62,43 a	61,07 a	49,73	5,79	179,02 b	
90D P1	8080 e	55,83 c	49,20 cd	56,50	5,66	167,20 c	
P2	9067 d	59,97 ab	55,25 b	63,90	6,32	185,44 a	
Prob. F	< .07	< .05	< .001	n.s.	n.s.	< .001	

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.4: Área foliar e matéria seca do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA

Tratamento	Área Foliar (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Matéria seca (g.pl <sup>-1</sup> )					Total
		Caule	Folha	Fruto	Raiz		
27D -M	584	0,34	1,09 h	0,00	0,18 i	1,61	
+M	665	0,38	1,22 h	0,00	0,25 i	1,85	
34D -M	2107	1,73	4,35 h	0,06	0,65 hi	6,79	
+M	2034	1,63	4,27 h	0,05	0,71 hi	6,65	
41D -M	4007	4,78	11,19 g	0,22	1,23 h	17,43	
+M	4137	4,54	10,52 g	0,20	1,27 h	16,52	
48D -M	6890	10,19	24,77 f	0,70	2,17 g	37,84	
+M	6773	10,20	23,04 f	0,75	2,13 g	36,12	
55D -M	8790	25,31	35,87 e	4,39	3,68 f	69,24	
+M	9480	24,93	39,54 e	3,43	4,01 ef	71,91	
62D -M	9700	35,48	50,92 c	12,60	4,71 cd	103,71	
+M	9965	35,82	45,38 d	12,30	4,19 def	97,70	
69D -M	10640	42,43	53,45 bc	22,12	4,91 c	122,91	
+M	10537	40,03	57,40 ab	22,88	4,63 cde	124,93	
76D -M	10467	47,80	53,69 bc	27,85	5,27 bc	134,61	
+M	10245	48,85	53,56 bc	29,32	5,81 b	137,55	
83D -M	9664	58,26	59,49 a	46,74	5,67 b	170,15	
+M	9185	61,10	54,36 bc	53,52	5,93 b	174,92	
90D -M	8365	55,64	50,27 c	62,28	5,29 bc	173,49	
+M	8782	60,16	54,18 bc	58,12	6,69 a	179,15	
Prob. F	n.s.	n.s.	< .01	n.s.	< .01	n.s.	

D: dias após transplante

-M: não inoculado +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.5: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função da época de coleta

Trata- mento	AFE (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	R:S (mg.g <sup>-1</sup> )	Volume raiz (cm <sup>3</sup> .pl <sup>-1</sup> )	área raiz (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Comprim. raiz (cm.pl <sup>-1</sup> )	Raio raiz (mm)
27 D	540,5 a	137,5 a	3,30 f	52,8 e	68,8 c	1,418 a
34 D	485,0 b	111,6 b	10,04 e	185,3 e	282,3 c	1,132 b
41 D	377,7 c	79,6 c	16,05 d	377,1 de	720,1 c	0,877 c
48 D	288,9 d	61,9 d	24,68 c	769,2 d	1976 c	0,669 d
55 D	244,0 e	57,6 d	44,36 b	1971 c	7298 b	0,478 e
62 D	205,7 f	46,2 e	51,61 a	2204 bc	7583 b	0,472 e
69 D	193,7 fg	40,3 ef	51,81 a	2259 bc	8136 b	0,482 e
76 D	194,1 fg	42,7 e	55,63 a	2528 b	9399 b	0,446 e
83 D	182,7 g	34,9 f	56,58 a	3092 a	13966 a	0,377 e
90 D	186,8 fg	35,2 f	57,02 a	2930 a	12638 a	0,416 e
Prob.F <	.001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
CV (%)	9,19	15,12	20,54	34,77	59,89	23,02

D: dias após transplante

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.6: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Trata- mento	AFE (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	R:S (mg.g <sup>-1</sup> )	Volume raiz (cm <sup>3</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Área raiz (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Comprim. raiz (cm.pl <sup>-1</sup> )	Raio raiz (mm)
P1	288,8	69,0 a	36,68	1611	6001	0,650 b
P2	291,0	60,5 b	37,54	1662	6412	0,704 a
Prob.F	n.s.	< .001	n.s.	n.s.	n.s.	< .05
-M	287,2 b	61,8 b	36,54	1548 b	5598 b	0,707 a
+M	292,6 a	67,7 a	37,67	1725 a	6815 a	0,646 b
Prob.F	n.s.	< .001	n.s.	< .05	< .05	< .05
P1-M	289,4 ab	68,4 a	36,58	1576	5844	0,675
P1+M	288,2 ab	69,7 a	36,78	1646	6158	0,624
P2-M	285,0 b	55,3 b	36,50	1519	5353	0,723
P2+M	297,0 a	65,7 a	38,57	1805	7472	0,668
Prob.F	< .04	< .01	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.7: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P

Trata- mento	AFE (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	R:S (mg.g <sup>-1</sup> )	Volume raiz (cm <sup>3</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Área raiz (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Comprim. raiz (cm.pl <sup>-1</sup> )	Raio raiz (mm)
27D P1	555,5 a	162,9 a	4,26	70,3	94,6	1,284 b
P2	525,4 b	112,1 b	2,33	34,2	43,0	1,552 a
34D P1	465,7 c	119,5 b	10,46	207,9	336,4	1,024 c
P2	504,2 b	103,7 c	9,61	162,8	228,3	1,240 b
41D P1	375,2 d	82,3 d	16,10	366,2	678,0	0,907 d
P2	380,3 d	76,9 d	16,01	388,1	762,3	0,847 d
48D P1	264,4 f	61,5 e	24,53	807,1	2196	0,645 ef
P2	313,5 e	62,3 e	24,83	731,3	1757	0,692 e
55D P1	243,0 f	58,2 ef	45,05	2178	8554	0,429 g
P2	245,1 f	57,0 ef	43,67	1763	6041	0,527 fg
62D P1	198,7 ghi	49,6 fg	53,84	2366	8404	0,462 g
P2	212,8 g	42,8 gh	49,39	2043	6762	0,483 fg
69D P1	207,7 gh	41,3 gh	50,06	2093	7242	0,494 fg
P2	179,7 hi	39,3 gh	53,56	2424	9029	0,470 g
76D P1	194,9 ghi	43,6 gh	52,93	2514	9709	0,429 g
P2	193,2 ghi	41,9 gh	58,33	2542	9088	0,464 g
83D P1	192,9 ghi	36,4 h	56,33	2964	12468	0,381 g
P2	172,5 i	33,3 h	56,83	3220	15464	0,374 g
90D P1	189,5 ghi	34,7 h	53,24	2545	10327	0,443 g
P2	183,6 ghi	35,3 h	60,81	3315	14949	0,390 g
Prob. F	< .05	< .001	n.s.	n.s.	n.s.	< .05

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup> P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.8: Área foliar específica (AFE), relação R:S, volume, área, comprimento e raio médio radicular do tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA

Trata- mento	AFE (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	R:S (mg.g <sup>-1</sup> )	Volume raiz (cm <sup>3</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Área raiz (cm <sup>2</sup> .pl <sup>-1</sup> )	Comprim. raiz (cm.pl <sup>-1</sup> )	Raio raiz (mm)		
27D -M	538,8	125,1	b	2,73	j	41,3	51,5	1,476
+M	542,2	149,9	a	3,87	j	63,2	86,1	1,359
34D -M	491,3	103,7	c	9,88	ij	173,1	250,0	1,119
+M	478,6	119,6	b	10,19	ij	197,6	314,7	1,065
41D -M	360,5	75,9	d	15,81	hi	359,9	663,6	0,897
+M	395,0	83,3	d	16,29	hi	394,4	776,7	0,858
48D -M	279,8	60,9	e	23,76	gh	644,3	1428	0,757
+M	298,1	62,9	e	25,60	g	894,0	2526	0,580
55D -M	247,6	56,2	ef	43,08	f	1973	7349	0,449
+M	240,5	59,0	e	45,64	ef	1970	7247	0,507
62D -M	191,5	47,5	fg	55,83	abcd	2284	7529	0,497
+M	219,9	44,9	gh	47,40	def	2125	7638	0,448
69D -M	201,7	42,0	ghi	53,89	bcde	2273	7860	0,499
+M	185,7	38,6	ghi	49,72	cdef	2245	8412	0,464
76D -M	196,3	41,0	ghi	52,45	bcde	2437	9214	0,441
+M	191,8	44,5	gh	58,81	ab	2620	9585	0,452
83D -M	175,4	34,5	hi	57,15	abc	2778	10920	0,417
+M	190,0	35,2	hi	56,00	abcd	3406	17013	0,338
90D -M	189,1	31,5	i	50,83	bcdef	2518	10724	0,440
+M	184,0	38,5	ghi	63,22	a	3343	14553	0,392
Prob. F	n.s.	< .001		< .05		n.s.	n.s.	n.s.

D: dias após transplante

-M: não inoculado +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)



Tabela 5.9: Matéria fresca de frutos e índice de colheita do tomateiro aos 90 dias após transplante, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Trata- mento	Matéria fresca de frutos (g.pl-1)	Índice de colheita (g.g-1)
P1	809	0,339
P2	875	0,345
Prob. F	n.s.	n.s.
-M	872	0,359 a
+M	813	0,325 b
Prob. F	n.s.	< .05
P1 -M	826	0,349
P1 +M	793	0,329
P2 -M	918	0,369
P2 +M	833	0,320
Prob. F	n.s.	n.s.

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

### **Parâmetros radiculares**

Não verificou-se uma senescência radicular acentuada, e os valores máximos de área e comprimento radiculares ocorreram em 83 DAT. Houve ainda redução contínua do raio radicular médio (Tabela 5.5), pois as plântulas foram transplantadas, com inibição do crescimento da raiz pivotante e a contínua emissão e subdivisão de raízes laterais.

Em P2 houve aumento significativo do raio radicular médio, e seu efeito foi mais intenso nas duas primeiras coletas (Tabelas 5.6 e 5.7). Já a micorriza estimulou o crescimento da raiz, com elevação da matéria seca (Tabela 5.2), volume (particularmente aos 90 DAT) e área radicular, e diminuição do raio radicular médio (Tabelas 5.6 e 5.8).

A leitura fotométrica de área radicular apresenta provável subestimação dos valores, pela dificuldade do aparelho em computar as raízes mais finas. No entanto, foi boa sua sensibilidade para detectar as diferenças entre os tratamentos, e o coeficiente de variação para todo o período experimental não foi muito elevado (34,8 %), particularmente quando comparado ao de matéria seca de raiz (17,9 %). Já o comprimento radicular teve coeficiente de variação maior (59,9 %), pois a fórmula utilizada para seu Cálculo multiplica os erros das leituras de área e volume radiculares (Tabela 5.5).

No caso do método de Tennant (1975), o processo é inverso, calculando-se o comprimento radicular, e daí o raio e área radicular, e os erros multiplicativos incidem na área radicular. A maior demanda de tempo do método de Tennant acaba por restringir sua aplicação mais ampla, e os erros do operador tornam-se maiores (Rossiello et al., no prelo).

### **Teor e conteúdo de P**

Os teores de P nas partes vegetais decaíram continuamente durante o experimento, mas os conteúdos acumulados atingiram seus máximos aos 55 DAT nas folhas, 62 DAT no caule e 90 DAT no fruto, raiz e total (Tabelas 5.10 e 5.14). Observou-se assim que a translocação de P do caule e folhas para os frutos, iniciada aos 55 DAT, foi anterior à translocação de fotossintatos expressa pela matéria seca. Em 90 DAT, cerca de 60 % do conteúdo de P vegetal estava nos frutos (Figura 5.4).

Em P2 houve aumento dos teores de P nas folhas após 27 DAT e no caule após 34 DAT (Tabela 5.12), e do conteúdo de P nas folhas após 41 DAT, total após 48 DAT, no caule e raiz após 55 DAT e nos frutos após 76 DAT (Tabela 5.16). Em P2, a micorriza aumentou os teores de P no caule, folha e fruto (Tabela 5.11). FMVA aumentou o conteúdo de P no caule e, em P2, o conteúdo de P na folha, fruto e total (Tabela 5.15). Sendo assim, a inoculação com *G. etunicatum* teve efeito mais significativo na acumulação de P na dose mais elevada de P.

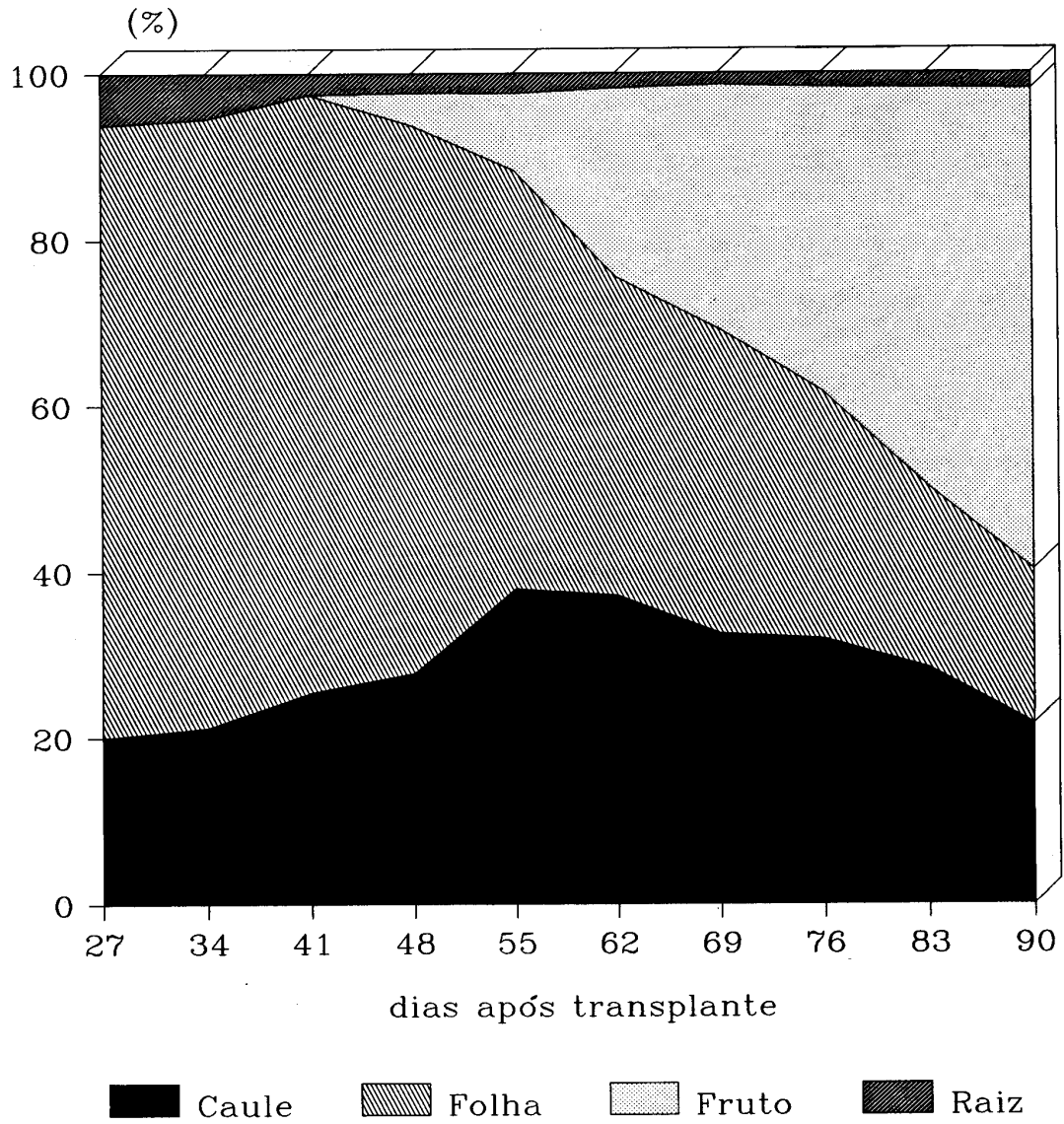


Figura 5.4: Distribuição do conteúdo de P do tomateiro durante o período experimental

Tabela 5.10: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função da época de coleta

Tratamento	Teor de P (mg P.g <sup>-1</sup> )				QU (g.g <sup>-1</sup> P)
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	
27 D	--	6,05 a	--	2,83 a	179,2 g
34 D	4,33 a	5,81 a	--	2,68 a	198,8 fg
41 D	4,53 a	5,28 b	--	1,71 b	209,2 f
48 D	3,57 b	3,71 c	7,14 a	1,43 c	288,5 e
55 D	3,13 c	2,76 d	5,05 b	1,26 c	354,8 d
62 D	2,43 d	1,90 e	4,40 c	0,951 d	443,9 c
69 D	2,02 e	1,69 e	3,44 d	0,785 d	495,9 b
76 D	1,50 f	1,27 f	2,99 e	0,718 d	618,2 a
83 D	1,31 f	1,06 f	2,69 e	0,917 d	640,9 a
90 D	1,04 g	1,02 f	2,73 e	0,946 d	640,4 a
Prob.F	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
CV (%)	12,84	11,83	10,60	23,49	8,36

D: dias após transplante

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.11: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Trata- mento	Teor de P (mg P.g <sup>-1</sup> )				QU (g.g <sup>-1</sup> P)
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	
P1	2,19 b	2,67 b	3,68 b	1,34 b	469,7 a
P2	3,11 a	3,46 a	4,45 a	1,51 a	344,3 b
Prob. F	< .001	< .001	< .001	<.001	< .001
-M	2,58 b	3,00 b	3,99 b	1,41	415,9 a
+M	2,72 a	3,13 a	4,13 a	1,43	398,1 b
Prob. F	< .01	< .02	< .08	n.s.	< .001
P1 -M	2,17 c	2,70 c	3,70 c	1,33	468,4 a
P1 +M	2,21 c	2,64 c	3,66 c	1,34	471,0 a
P2 -M	2,98 b	3,30 b	4,29 b	1,49	363,3 b
P2 +M	3,24 a	3,62 a	4,61 a	1,53	325,2 c
Prob. F	< .06	<.001	< .03	n.s.	< .001

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.12: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P

Tratamento	Teor de P (mg P.g <sup>-1</sup> )				QU (g.g <sup>-1</sup> P)
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	
27D P1	--	5,73 c	--	2,75	190,6 i
P2	--	6,36 ab	--	2,90	167,9 i
34D P1	3,85 c	5,03 d	--	2,46	224,3 h
P2	4,81 a	6,59 a	--	2,91	173,2 i
41D P1	4,21 b	4,70 de	--	1,68	233,0 h
P2	4,85 a	6,06 bc	--	1,75	185,3 i
48D P1	3,19 d	3,02 f	6,51	1,39	334,8 f
P2	3,94 bc	4,40 e	7,76	1,47	242,2 h
55D P1	2,49 e	2,33 g	4,67	1,12	413,2 e
P2	3,76 c	3,20 f	5,43	1,41	296,3 g
62D P1	1,69 fg	1,50 i	4,14	0,94	535,2 bcd
P2	3,16 d	2,29 g	4,67	0,96	352,7 f
69D P1	1,51 gh	1,46 ij	2,99	0,71	569,3 b
P2	2,53 e	1,91 h	3,89	0,86	422,5 e
76D P1	1,06 ij	1,08 jk	2,68	0,63	722,9 a
P2	1,94 f	1,46 ij	3,30	0,81	513,4 d
83D P1	0,86 j	0,93 k	2,34	0,79	754,3 a
P2	1,75 fg	1,19 ijk	3,03	1,04	527,8 cd
90D P1	0,83 j	0,92 k	2,42	0,90	719,3 a
P2	1,24 hi	1,13 ijk	3,04	0,99	561,5 bc
Prob. F	< .001	< .001	n.s.	n.s.	< .001

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      P2: 120 mg.kg<sup>-1</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.13: Teor de P e quociente de utilização de P (QU) no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA

Tratamento	Teor de P (mg P.g <sup>-1</sup> )				QU (g.g <sup>-1</sup> P)
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	
27D -M	--	5,97	--	2,83	179,3
+M	--	6,13	--	2,83	179,1
34D -M	4,11	5,64	--	2,54	202,9
+M	4,55	5,98	--	2,83	194,7
41D -M	4,52	5,45	--	1,81	206,7
+M	4,54	5,32	--	1,62	211,6
48D -M	3,69	3,44	7,08	1,46	298,7
+M	3,44	3,98	7,20	1,41	278,3
55D -M	3,00	2,71	5,12	1,22	358,8
+M	3,25	2,81	4,98	1,31	350,7
62D -M	2,34	1,83	4,38	0,95	456,1
+M	2,51	1,97	4,43	0,95	431,7
69D -M	1,89	1,67	3,29	0,78	510,4
+M	2,16	1,71	3,60	0,79	481,4
76D -M	1,36	1,23	2,87	0,71	638,5
+M	1,64	1,31	3,11	0,73	597,9
83D -M	1,29	1,04	2,59	0,92	666,2
+M	1,33	1,08	2,78	0,91	615,7
90D -M	0,99	0,99	2,62	0,93	640,9
+M	1,09	1,05	2,83	0,97	639,9
Prob. F	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

D: dias após transplante

-M: não inoculado      +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)



Tabela 5.14: Conteúdo de P no tomateiro, em função da época de coleta

Tratamento	Conteúdo de P (mg P.pl <sup>-1</sup> )				
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	Total
27 D	--	9,16 h	--	0,61 g	9,77 h
34 D	7,27 g	25,18 g	--	1,89 f	34,34 g
41 D	20,82 f	59,15 e	--	2,11 f	82,07 f
48 D	36,55 e	86,89 c	5,21 f	3,09 e	131,7 e
55 D	78,22 bc	103,49 a	19,08 e	4,89 bc	205,7 d
62 D	90,38 a	91,34 bc	54,14 d	4,30 cd	240,2 c
69 D	84,46 ab	95,14 b	76,47 c	3,74 de	259,8 b
76 D	73,69 c	68,70 d	84,83 c	3,98 d	231,2 c
83 D	79,63 bc	61,24 e	134,7 b	5,31 ab	280,9 a
90 D	61,25 d	52,99 f	164,2 a	5,67 a	284,2 a
Prob.F	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
CV (%)	20,50	12,13	20,12	27,46	9,96

D: dias após transplante

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.15: Conteúdo de P no tomateiro, em função das doses de P, da inoculação com FMVA e da sua interação

Trata- mento	Conteúdo de P (mg P.pl <sup>-1</sup> )				
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	Total
P1	42,36 b	53,71 b	67,38 b	3,29 b	142,3 b
P2	75,92 a	76,95 a	86,53 a	3,83 a	209,7 a
Prob. F	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001
-M	56,89 b	63,78 b	73,62 b	3,44 b	169,9 b
+M	61,40 a	66,88 a	80,28 a	3,68 a	182,0 a
Prob. F	< .02	< .01	< .02	< .10	< .001
P1 -M	40,89	53,75 c	68,08 c	3,28	141,5 c
P1 +M	43,83	53,66 c	66,68 c	3,30	143,1 c
P2 -M	72,88	73,81 b	79,17 b	3,60	198,4 b
P2 +M	78,96	80,09 a	93,89 a	4,06	220,9 a
Prob. F	n.s.	< .01	< .01	n.s.	< .001

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (doses de P, inoculação com FMVA ou sua interação), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.16: Conteúdo de P no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e doses de P

Tratamento	Conteúdo de P (mg P.pl <sup>-1</sup> )									
	Caule		Folha		Fruto		Raiz		Total	
27D P1	--		9,43	m	--		0,76	j	10,19	m
P2	--		8,89	m	--		0,46	j	9,35	m
34D P1	6,44	j	22,97	l	--		1,82	i	31,23	l
P2	8,10	j	27,38	l	--		1,97	hi	37,45	l
41D P1	20,25	i	52,44	jk	--		2,20	ghi	74,88	k
P2	21,38	i	65,85	gh	--		2,01	hi	89,25	k
48D P1	31,27	hi	75,18	ef	3,95	i	3,02	fgh	113,4	j
P2	41,83	gh	98,60	c	6,48	hi	3,15	fg	150,1	i
55D P1	63,88	de	85,05	d	16,56	hi	4,28	de	169,8	h
P2	92,56	c	121,93	a	21,60	h	5,50	abc	241,6	e
62D P1	56,14	ef	71,21	fg	51,07	g	4,52	cd	182,9	h
P2	124,63	a	111,47	b	57,21	fg	4,09	def	297,4	c
69D P1	58,15	ef	71,22	fg	69,93	e	3,23	efg	202,5	g
P2	110,77	b	119,06	ab	83,02	de	4,24	de	317,1	b
76D P1	48,46	fg	55,91	ij	75,55	e	3,43	ef	183,3	h
P2	98,91	bc	81,49	de	94,12	d	4,53	cd	279,1	d
83D P1	49,58	fg	48,62	jk	118,4	c	4,59	cd	221,3	f
P2	109,69	b	73,86	efg	150,9	b	6,03	ab	340,5	a
90D P1	47,07	fg	45,02	k	136,2	b	5,04	bcd	233,3	ef
P2	75,43	d	60,96	hi	192,3	a	6,30	a	335,0	a
Prob. F	< .001		< .001		< .001		< .02		< .001	

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

Tabela 5.17: Conteúdo de P no tomateiro, em função da interação entre época de coleta e inoculação com FMVA

Tratamento	Conteúdo de P (mg P.pl <sup>-1</sup> )					
	Caule	Folha	Fruto	Raiz	Total	
27D -M	--	8,55 j	--	0,52	9,07	h
+M	--	9,76 j	--	0,70	10,46	h
34D -M	7,07	24,44 i	--	1,79	33,29	g
+M	7,48	25,92 i	--	2,00	35,40	g
41D -M	21,39	61,66 fg	--	2,18	85,22	f
+M	20,24	56,63 gh	--	2,04	78,91	f
48D -M	37,83	84,38 d	4,99 f	3,16	130,4	e
+M	35,26	89,40 cd	5,44 f	3,02	133,1	e
55D -M	76,42	96,48 bc	21,09 f	4,50	198,5	d
+M	80,02	110,50 a	17,07 f	5,29	212,9	d
62D -M	88,49	93,22 bc	54,96 e	4,57	241,2	c
+M	92,27	89,46 cd	53,32 e	4,04	239,1	c
69D -M	81,59	90,11 cd	71,44 d	3,81	247,0	c
+M	87,33	100,16 b	81,50 cd	3,66	272,7	b
76D -M	66,02	66,60 ef	79,65 cd	3,73	216,0	d
+M	81,36	70,80 e	90,02 c	4,24	246,4	c
83D -M	77,34	62,62 efg	119,6 b	5,22	264,7	b
+M	81,93	59,87 fg	149,8 a	5,40	297,0	a
90D -M	55,81	49,74 h	163,7 a	4,92	274,1	b
+M	66,68	56,25 gh	164,8 a	6,43	294,2	a
Prob. F	n.s.	< .01	< .05	n.s.	< .01	

D: dias após transplante

-M: não inoculado +M: inoculado

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna, não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

O quociente de utilização de P elevou-se continuamente durante o experimento, o que deve ser atribuído à diluição de P no tecido vegetal (Jarrell e Beverly, 1981) (Tabela 5.10). Em P2 seu valor foi menor, reduzindo-se ainda mais com a micorriza (Tabela 5.11); em P1, a micorriza trouxe aumento significativo de seu valor em 90 DAT (dados não apresentados da interação tripla significativa entre época de coleta, adubação fosfatada e inoculação). Os valores do índice de utilização de P, proposto por Siddiqi e Glass (1981) apresentaram as mesmas tendências, e portanto não foram aqui apresentados.

#### **Colonização micorrízica**

A percentagem de infecção micorrízica apresenta uma tendência inicial de crescimento, atinge seu máximo em 48 DAT, e decai após; os valores variaram sempre entre 30 e 60 % (Tabela 5.18). O total das raízes infectadas, calculado pelo produto entre a percentagem de infecção e a área ou comprimento de raiz (Bolan, Robson e Barrow, 1984) poderia trazer maiores esclarecimentos sobre a variação ontogenética da simbiose, com utilização inclusive de modelos matemáticos para descrever o processo de infecção (Buwalda et al., 1982; Walker e Smith, 1984)

Já o número de esporos apresentou uma tendência de crescimento até o final do experimento. Não houve efeito significativo da dose de P nesses dois parâmetros (Tabela 5.18).

Tabela 5.18: Percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA e número de esporos de FMVA em 50 cm<sup>3</sup> de solo, em função da época de coleta e das doses de P

Trata- mento	Infecção micorrízica (%)	Número de esporos
27 D	33,24 bc	97 b
34 D	30,92 c	169 ab
41 D	44,33 b	128 ab
48 D	56,94 a	132 ab
55 D	46,57 bc	116 b
62 D	37,79 bc	163 ab
69 D	35,72 bc	147 ab
76 D	43,89 b	164 ab
83 D	33,90 bc	207 a
90 D	31,80 bc	205 a
Prob.F	< .001	< .05
P1	38,52	151
P2	40,50	155
Prob.F	n.s.	n.s.
CV (%)	17,20	24,40

D: dias após transplante

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>

Os dados de infecção micorrízica e de número de esporos são originais, e sofreram respectivamente as transformações  $\text{arc sen } (x/100)^{1/2}$  e  $(x + 1)^{1/2}$  antes da análise estatística

Médias seguidas pela mesma letra, ou desprovidas de letra, dentro da mesma coluna e da mesma fonte de variação (época de coleta ou doses de P), não diferem entre si (teste Duncan, P = 0,05)

### **Modelos matemáticos**

A Figura 5.5 apresenta os coeficientes de variação dos parâmetros originais determinados no transcorrer do experimento, que mantiveram-se em níveis baixos; apenas os dados de área radicular apresentaram coeficientes de variação um pouco mais elevados. Estes pequenos erros amostrais permitem a estimativa dos coeficientes dos modelos exponenciais pelo método dos mínimos quadrados (Ross, 1981), e justificam parcialmente a linearização para a estimativa dos coeficientes dos modelos de Gompertz e Logística (Bell, 1981).

Apesar de Elias e Causton (1976) alertarem que em séries de dados de baixa variabilidade o ajuste dos modelos através de observações individuais (e não de suas Médias) pode induzir à escolha de polinômios de grau elevado, optou-se aqui pelo ajuste através dos dados originais, testando-se modelos apenas até o 3º grau.

Os valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) obtidos para cada modelo matemático, para cada parâmetro avaliado e dentro de cada tratamento, estão apresentados na Tabela 5.19. Verifica-se que todos os coeficientes são elevados e altamente significativos ( $P < 0,001$ ) pelo teste F (dados não apresentados), o que dificulta sua comparação, mas a curva exponencial polinomial de 3º grau apresentou as mais elevadas correlações para matéria seca, área foliar, conteúdo de P e área radicular. Todos os coeficientes da regressão linear obtidos para o modelo exponencial de 3º grau (no caso a, b, c, d) foram altamente significativos ( $P < 0,001$ ) pelo teste t (dados não apresentados).

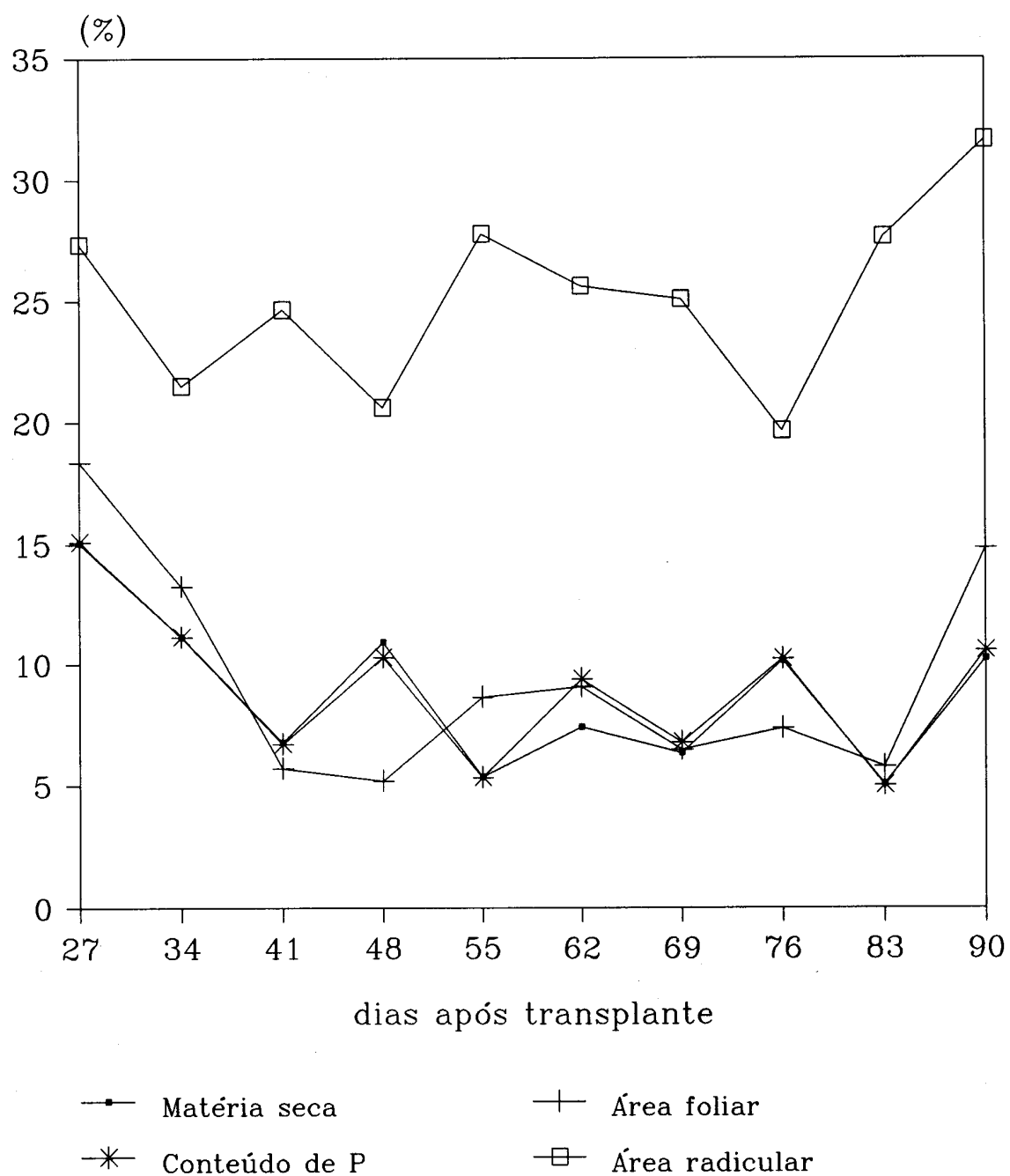


Figura 5.5: Coeficientes de variação dos parâmetros originais durante o período experimental



As Tabelas 5.20, 5.21, 5.22 e 5.23 apresentam os coeficientes das regressões obtidos respectivamente para os modelos exponenciais de 2º e de 3º grau, Gompertz e Logística, para cada parâmetro avaliado e dentro de cada tratamento.

As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam respectivamente os valores de matéria seca e conteúdo de P, estimados através dos diferentes modelos, assim como as Médias experimentais, apenas para o tratamento P2+M. Esta visualização ajuda também na escolha do modelo, indicando o ajuste e a tendência dos dados.

As Figuras 5.8 e 5.9 apresentam respectivamente os valores da TCR e TCA estimados através dos diferentes modelos, e a Figura 5.10 apresenta os valores da TAL, com a matéria seca obtida por cada um dos modelos e a área foliar obtida pelo modelo exponencial de 3º grau. As taxas de acumulação de P seguiram as mesmas tendências, e não são aqui apresentadas. Todos os valores referem-se ao tratamento P2+M. Uma comparação com os valores calculados pelo método integral, coleta a coleta, poderia auxiliar na escolha do modelo, mas não foi aqui efetuada.

#### **Escolha do modelo**

Uma inspeção visual dos dados primários sugere um crescimento exponencial restrito de forma parabólica a partir de cerca de 83 DAT. Entretanto, não há uma queda evidente de matéria seca e conteúdo de P, e a aparente estabilização dos valores após 83 DAT torna plausível a adoção de um modelo de caráter assintótico.

Tabela 5.19: Coeficientes de determinação ( $r^2$ ) de cada modelo testado, para cada parâmetro e tratamento avaliados

Tratamento	Modelo testado	Matéria seca	Área foliar	Conteúdo de P	Área radicular
P1 -M	2o grau	0,991	0,953	0,968	0,962
	3o grau	0,995	0,997	0,988	0,978
	Logística	0,918	0,649	0,831	0,704
	Gompertz	0,980	0,739	0,910	0,793
P1 +M	2o grau	0,992	0,951	0,973	0,952
	3o grau	0,997	0,996	0,990	0,980
	Logística	0,922	0,628	0,814	0,751
	Gompertz	0,988	0,730	0,897	0,854
P2 -M	2o grau	0,994	0,965	0,979	0,974
	3o grau	0,995	0,995	0,985	0,981
	Logística	0,919	0,663	0,841	0,751
	Gompertz	0,984	0,744	0,877	0,840
P2 +M	2o grau	0,993	0,959	0,981	0,964
	3o grau	0,995	0,994	0,989	0,985
	Logística	0,929	0,627	0,866	0,776
	Gompertz	0,985	0,712	0,911	0,907

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>

P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>

-M: não inoculado

+M: inoculado

Tabela 5.20: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo exponencial de 2º grau, para cada parâmetro e tratamento avaliados

Tratamento	Coeficiente	Matéria seca	área foliar	Conteúdo de P	área radicular
P1 -M	a	-5,479665	-0,078375	-2,925073	-3,610389
	b	0,272927	0,287933	0,237460	0,326942
	c	-0,001758	-0,002138	-0,001656	-0,00228
P1 +M	a	-5,38489	-0,042277	-2,924788	-3,250314
	b	0,268652	0,285993	0,236701	0,316540
	c	-0,001716	-0,002120	-0,001644	-0,002195
P2 -M	a	-5,671057	-0,354608	-3,274585	-4,072683
	b	0,275493	0,293670	0,254273	0,328408
	c	-0,001744	-0,002155	-0,001754	-0,002221
P2 +M	a	-5,569123	-0,265787	-3,141406	-3,598258
	b	0,271855	0,293773	0,251552	0,317757
	c	-0,001714	-0,002170	-0,001720	-0,002129

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

Tabela 5.21: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo exponencial de 3º grau, para cada parâmetro e tratamento avaliados

Tratamento	Coeficiente	Matéria seca	área foliar	Conteúdo de P	área radicular
P1 -M	a	-5,937127	-1,331238	-3,686859	-4,537528
	b	0,323157	0,425498	0,321105	0,428743
	c	-3,0251e-3	-5,6076e-3	-3,7654e-3	-4,8477e-3
	d	8,76956e-6	2,4017e-5	1,4603e-5	1,7773e-5
P1 +M	a	-5,874499	-1,297054	-3,637837	-4,473693
	b	0,322412	0,423768	0,314994	0,450898
	c	-3,0716e-3	-5,5950e-3	-3,6185e-3	-5,5823e-3
	d	9,38579e-6	2,4054e-5	1,3669e-5	2,3452e-5
P2 -M	a	-5,958887	-1,406156	-3,747243	-4,723874
	b	0,307097	0,409132	0,306171	0,39991
	c	-2,5412e-3	-5,0664e-3	-3,0631e-3	-4,0243e-3
	d	5,51768e-6	2,0155e-5	9,06085e-6	1,2483e-5
P2 +M	a	-5,918879	-1,415129	-3,668241	-4,706793
	b	0,310258	0,419971	0,309399	0,439475
	c	-2,6822e-3	-5,3526e-3	-3,1791e-3	-5,1987e-3
	d	6,70482e-6	2,2033e-5	1,0099e-5	2,1251e-5

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

Tabela 5.22: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo de Gompertz, para cada parâmetro e tratamento avaliados

Tratamento	Coeficiente	Matéria seca	área foliar	Conteúdo de P	área radicular
P1 -M	a	231,6	15000	289,4	12070
	b	14,324811	4,8560927	8,0896738	8,4823052
	k	4,32239e-2	3,12765e-2	4,22211e-2	2,21004e-2
P1 -M	a	238,8	17200	308,7	6600
	b	14,779045	4,8152584	7,6778486	8,8449163
	k	4,35295e-2	2,77120e-2	3,95915e-2	2,96301e-2
P2 -M	a	249,2	17700	386,9	12800
	b	16,235845	5,4211895	9,6593267	9,8170721
	k	4,54136e-2	3,01274e-2	4,68429e-2	2,35062e-2
P2 +M	a	264,6	19920	463,9	11920
	b	15,584941	5,0411923	10,111029	10,289257
	k	4,36055e-2	2,69198e-2	4,54001e-2	2,65096e-2

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

Tabela 5.23: Coeficientes de regressão obtidos para o modelo da Logística, para cada parâmetro e tratamento avaliados

Tratamento	Coeficiente	Matéria seca	área foliar	Conteúdo de P	área radicular
P1 -M	a	172,45	11020	259,6	4028
	b	3734,5983	107,87372	220,53250	978,95307
	k	0,1340844	0,0893091	0,0934472	0,1010920
P1 +M	a	180,89	11640	270,0	3632
	b	3403,8643	101,20394	202,15249	960,19741
	k	0,1301405	0,0835689	0,0899627	0,1072491
P2 -M	a	197,71	12050	339,7	4672
	b	3895,1769	152,84182	409,29273	2032,4611
	k	0,1294482	0,0919347	0,1083400	0,1059608
P2 +M	a	196,17	12760	400,3	6141
	b	4558,3050	124,23342	493,99032	2161,3114
	k	0,1338695	0,0858041	0,1086728	0,1048308

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

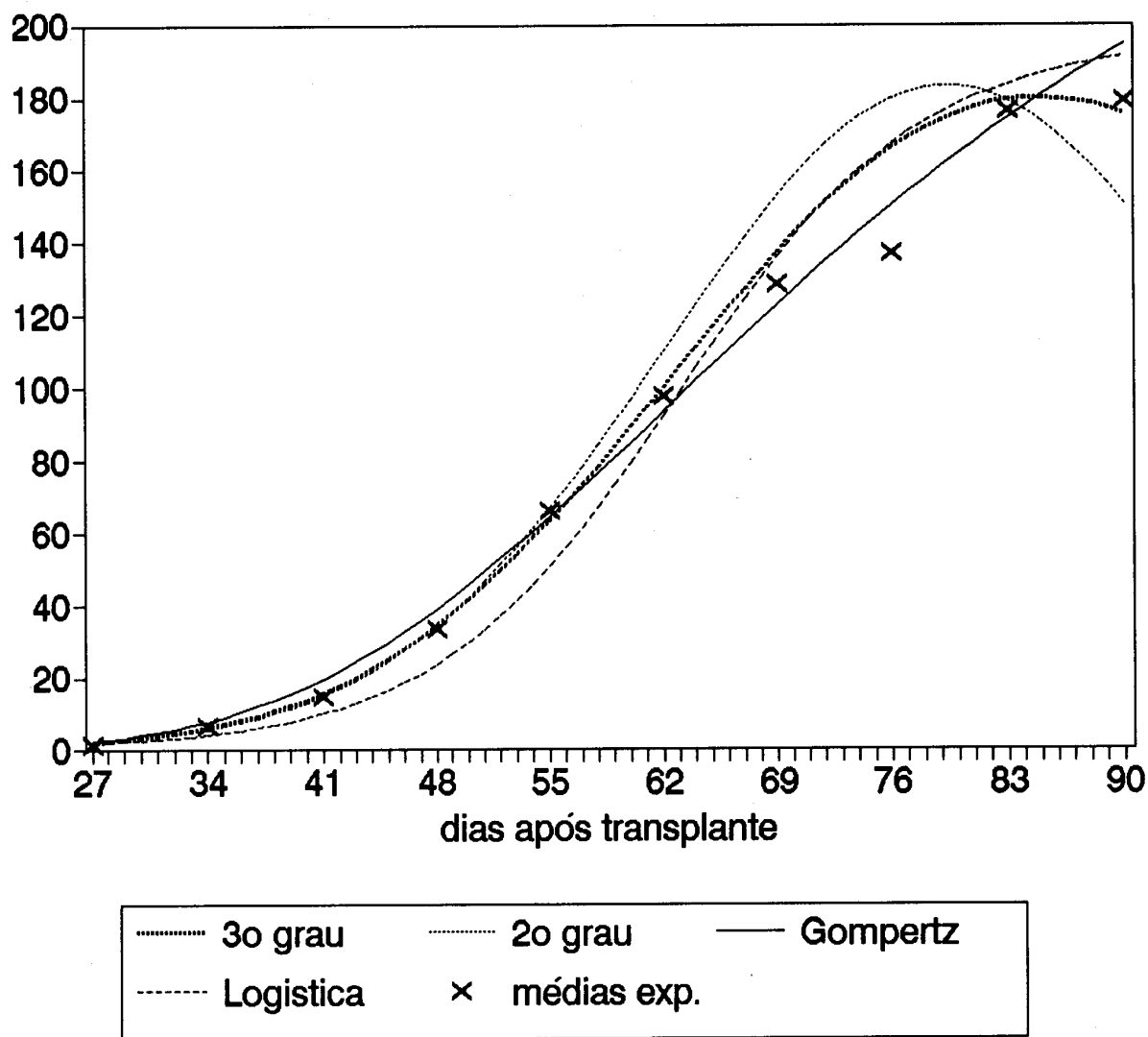


Figura 5.6: Matéria seca do tomateiro (em g pl<sup>-1</sup>), estimada pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P.kg<sup>-1</sup> e inoculação com FMVA)

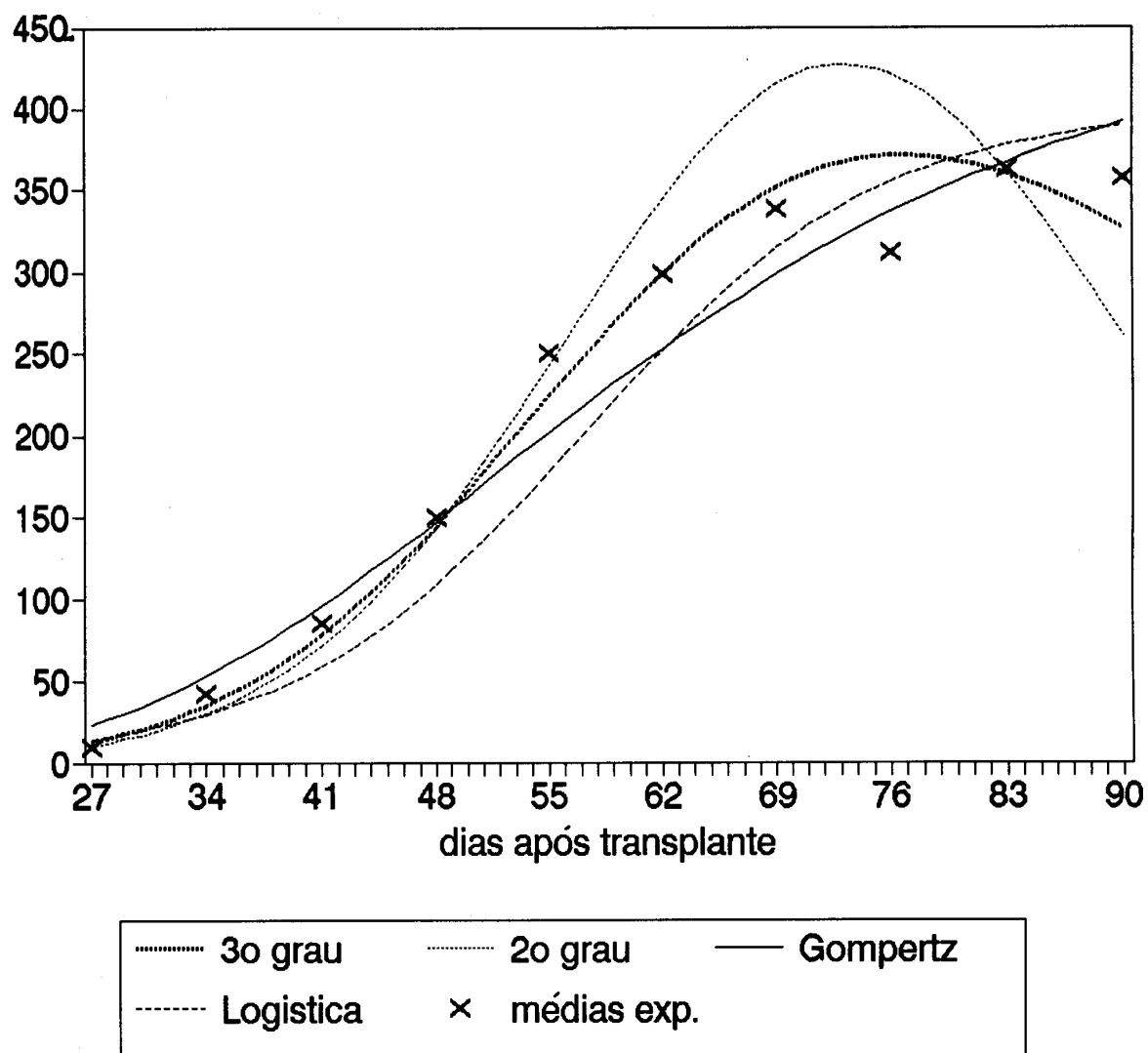


Figura 5.7: Conteúdo de P do tomateiro (em mg P.pl<sup>-1</sup>), estimado pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P.kg<sup>-1</sup> e inoculação com FMVA)

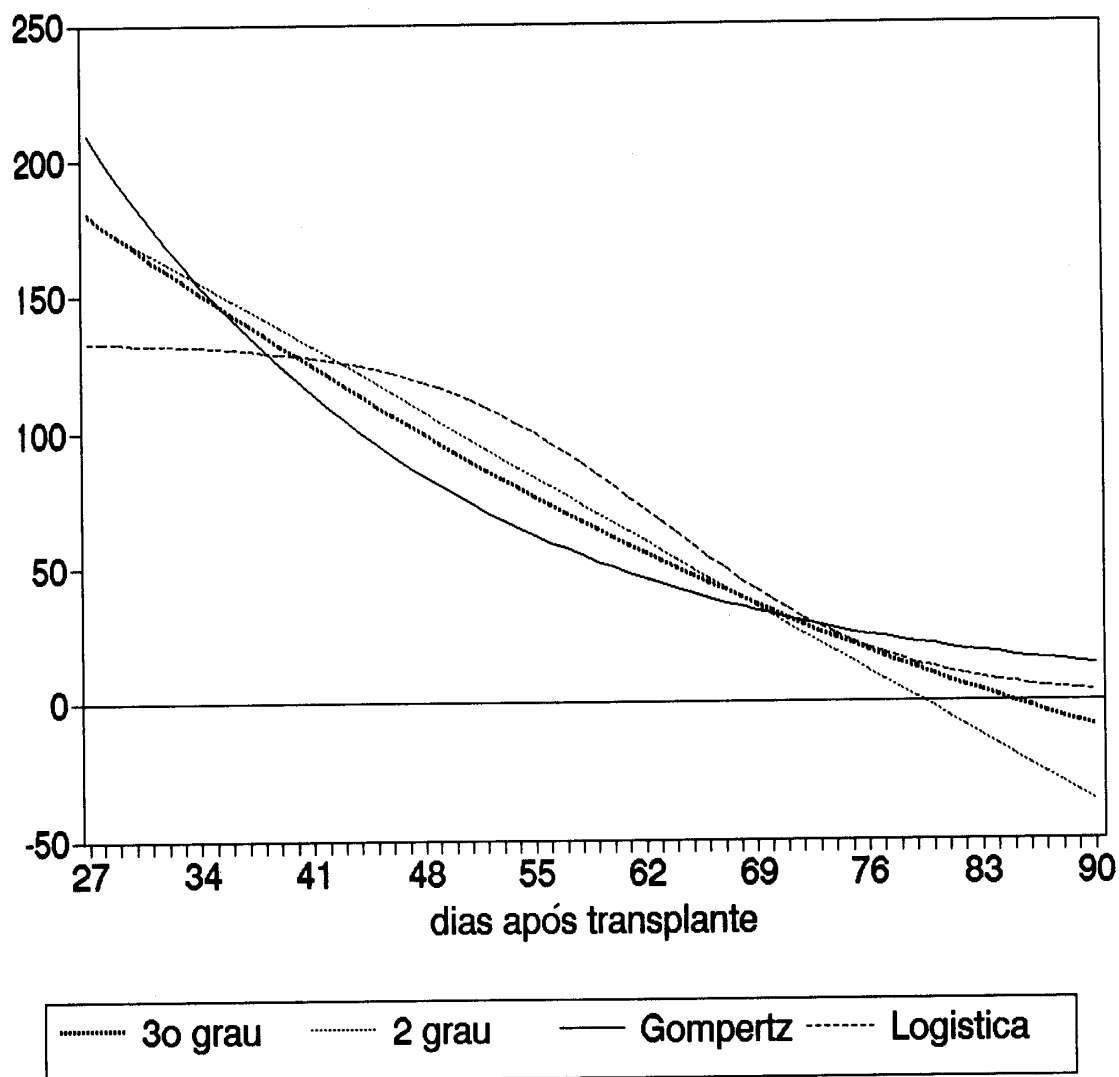


Figura 5.8: Taxa de crescimento relativo do tomateiro (em  $\text{mg.g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ ), estimada pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com  $120 \text{ mg P. kg}^{-1}$  e inoculação com FMVA)

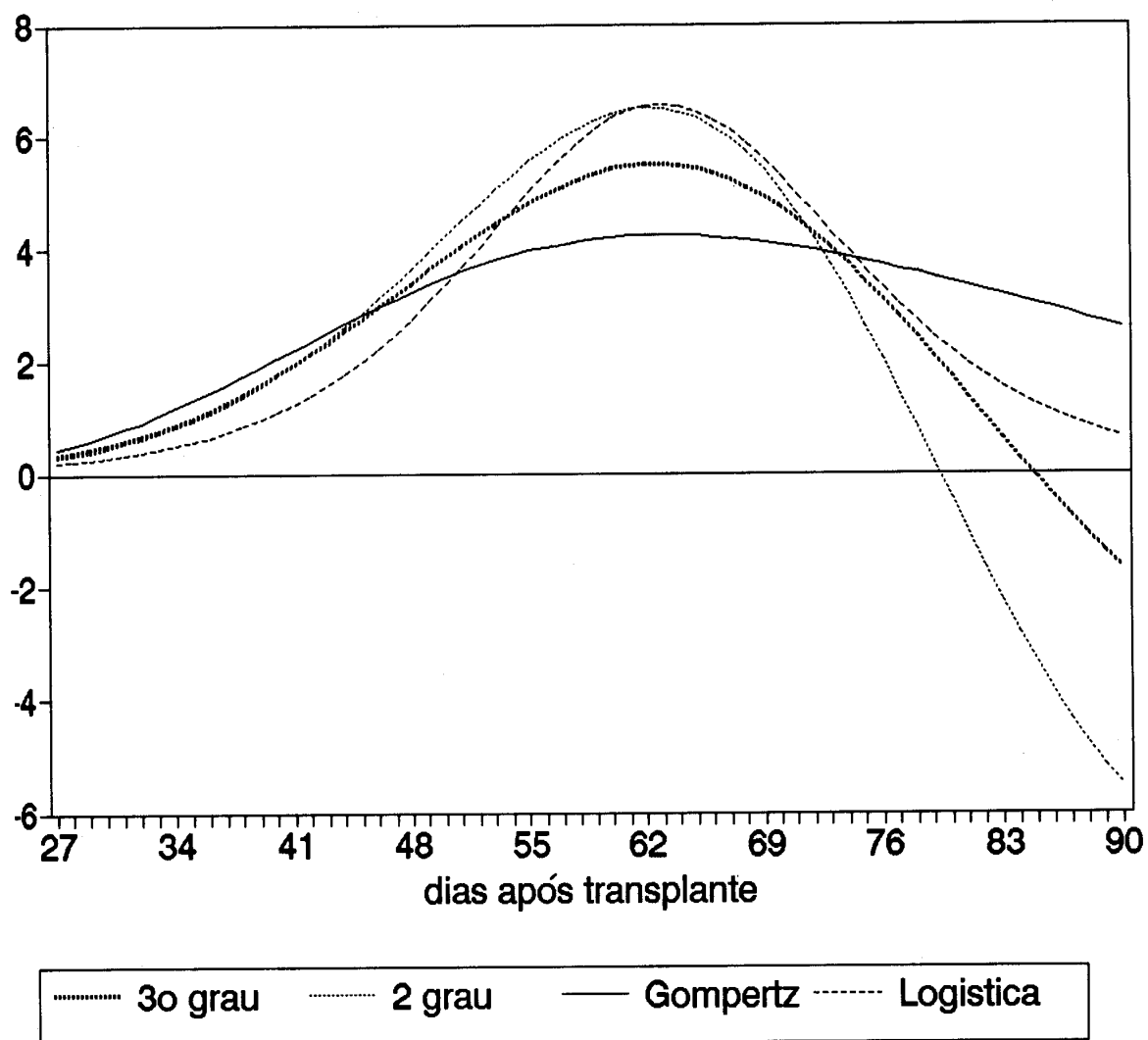


Figura 5.9: Taxa de crescimento absoluto do tomateiro (em g .dia<sup>-1</sup>), estimada pelos diferentes modelos matemáticos (tratamento com 120 mg P. kg<sup>-1</sup> e inoculação com FMVA)



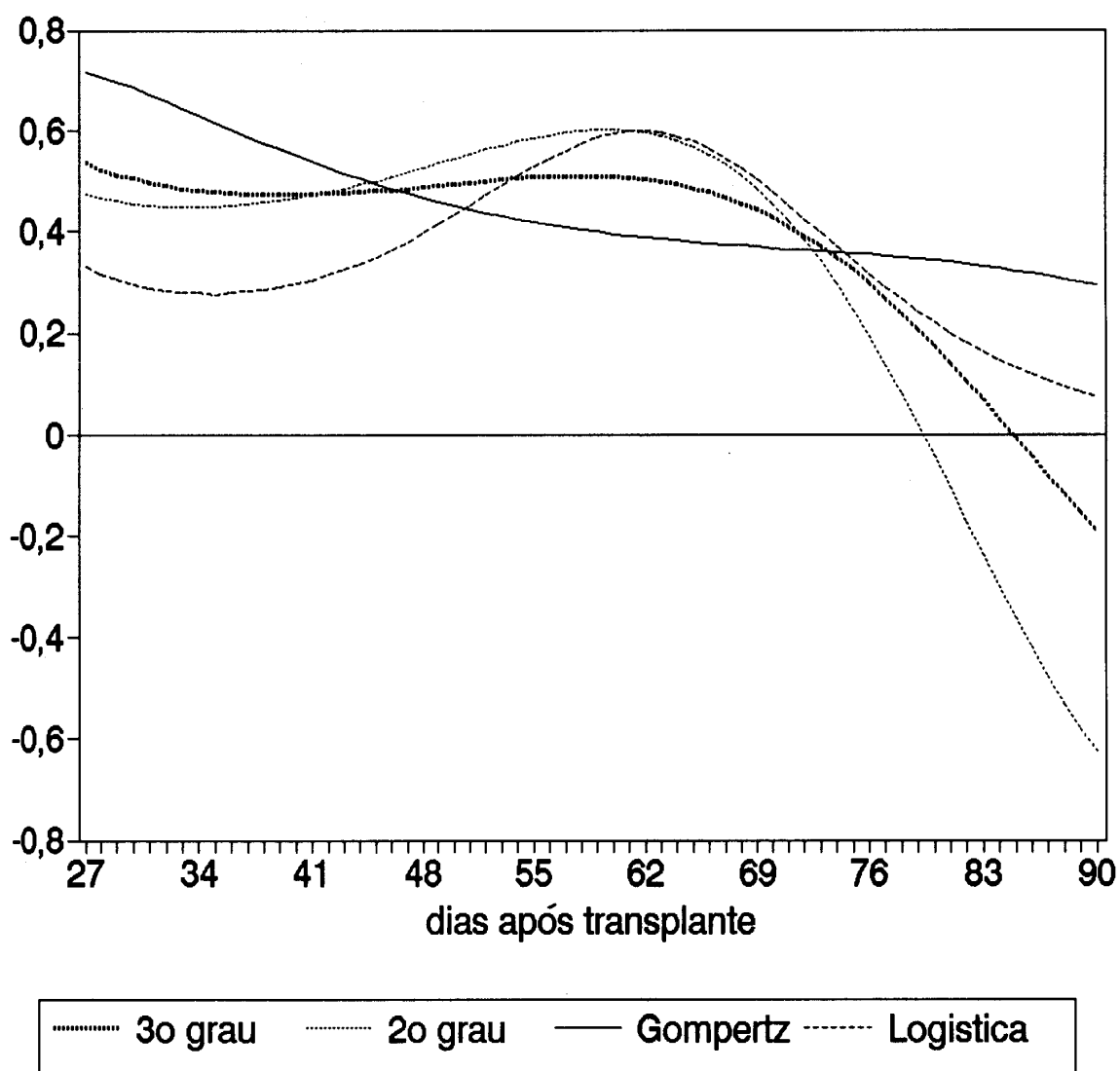


Figura 5.10: Taxa de assimilação líquida do tomateiro (em  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ ), com a matéria seca estimada pelos diferentes modelos matemáticos e a área foliar estimada pelo modelo exponencial de 3º grau (tratamento com  $120 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$  e inoculação com FMVA)

A curva exponencial de 3º grau apresenta valores máximos de matéria seca e conteúdo de P respectivamente em torno de 85 e 75 DAT, com decréscimos após. Em conseqüência, obtiveram-se valores negativos das taxas de crescimento e de acumulação de P ao final do experimento. No caso do modelo de Gompertz, que tem caráter assintótico, foram também elevadas as correlações para matéria seca e conteúdo de P, e as taxas calculadas não apresentam valores negativos em qualquer período experimental.

Mesmo no caso de plantas de crescimento indeterminado, como a variedade de tomateiro utilizada no experimento, é de esperar que haja uma diminuição da matéria seca ao final do ciclo, com a senescência foliar e a translocação de fotossintatos para os frutos. No caso desse experimento, a ocupação pelas raízes do volume de solo nos vasos, o hábito precoce da variedade utilizada e a ausência de adubações de cobertura de outros nutrientes que não N e K, limitaram a continuação da acumulação de matéria seca e nutrientes.

Para dados de área foliar e área radicular, onde observa-se senescência mais acentuada do que para matéria seca, os modelos exponenciais polinomiais são indicados (Hunt, 1981), e seus coeficientes de determinação foram realmente maiores (Tabela 5.19). Os modelos assintóticos fracassaram no ajuste destes parâmetros.

Steiner (1967) identificou as dificuldades no estudo do crescimento do tomateiro, onde o desenvolvimento vegetativo, apesar de restringido com o início da fase reprodutiva, manteve incrementos no período analisado. As diferentes fases do desenvolvimento vegetal podem ser ainda subdivididas, cada uma delas com uma análise individual (Keuls e Garretsen, 1982).

No atual estudo, as pequenas respostas obtidas para a inoculação micorrízica obrigou a utilizar-se um modelo mais sensível, capaz de detectar as variações dos tratamentos, optando-se assim pela exponencial de 3º grau. No período de condução do experimento esta escolha parece ser adequada, pois os valores médios obtidos a partir do conjunto de dados originais aproximam-se bastante dos obtidos com o uso do modelo (Tabela 5.24).

Sendo assim, a Tabela 5.25 apresenta as Médias durante o período experimental das taxas de crescimento, de acumulação e de utilização de P, para cada tratamento, obtidas pelo modelo exponencial de 3º grau. As Figuras 5.11 a 5.21 apresentam a variação durante o período experimental dos parâmetros originais e das taxas de crescimento, de acumulação e de utilização de P para cada tratamento, estimadas pelo modelo exponencial de 3º grau.

#### **Taxas de crescimento**

A TCR diminuiu continuamente durante o experimento, de 180 mg.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> aos 27 DAT até assumir valores negativos em torno de 85 DAT (Figura 5.13). Os valores médios de TCR para as doses P1 e P2 foram de respectivamente 68,6 e 72,1 mg.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, sendo pouco afetados pela micorriza (Tabela 5.25). A TCA aumentou até cerca de 60 DAT, com valores máximos de respectivamente 4,71 e 5,59 g.dia<sup>-1</sup> em P1 e P2, decaindo após (Figura 5.14). Com a micorriza, foi menos acentuado este decréscimo da TCA, ocasionando a elevação de seus valores médios, de 2,37 para 2,54 g.dia<sup>-1</sup> em P1 e de 2,56 para 2,70 g.dia<sup>-1</sup> em P2 (Tabela 5.25). Até 60 DAT em P1 e 70 DAT em P2, a micorriza reduziu o valor da TCA, e posteriormente os elevou (Figura 5.14).

A TAL apresentou três faixas de valores durante o experimento: de queda entre 27 e 42 DAT, de estabilização de 42 a 55 DAT e de decréscimo posterior (Figura 5.15). A micorriza elevou o valor médio da TAL em P1 (de 0,363 para 0,387 mg.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), diminuindo-o ligeiramente em P2 (de 0,383 para 0,379 mg.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) (Tabela 5.25). Novamente observa-se um efeito deletério da micorriza até 60 DAT em P1 e 70 DAT em P2, com estímulo posterior. Apesar da maior média de TAL ter sido observada no tratamento P2-M, a queda de seus valores após 55 DAT foi mais acentuada que nos demais tratamentos.

#### **Taxas de acumulação e de utilização de P**

A TAR também decaiu continuamente durante o experimento, sendo aumentada em P2 (de 45,7 para 51,2 mg P.g<sup>-1</sup> P.dia<sup>-1</sup>) e ligeiramente elevada pela micorriza (de 47,7 para 48,8 mg P.g<sup>-1</sup> P.dia<sup>-1</sup>) (Figura 5.18 e Tabela 5.25). A TAA atingiu seu máximo em torno de 50 DAT, decaindo após, com elevação dos valores médios em P2 (de 3,14 para 4,44 mg P.dia<sup>-1</sup>), e a micorriza aumentou seus valores médios em P2 (de 4,01 para 4,87 mg P.dia<sup>-1</sup>) (Figura 5.19 e Tabela 5.25).

Tabela 5.24: Valores médios dos parâmetros originais, para cada tratamento, obtidos pela média dos dados experimentais ou pelo modelo exponencial de 3º grau

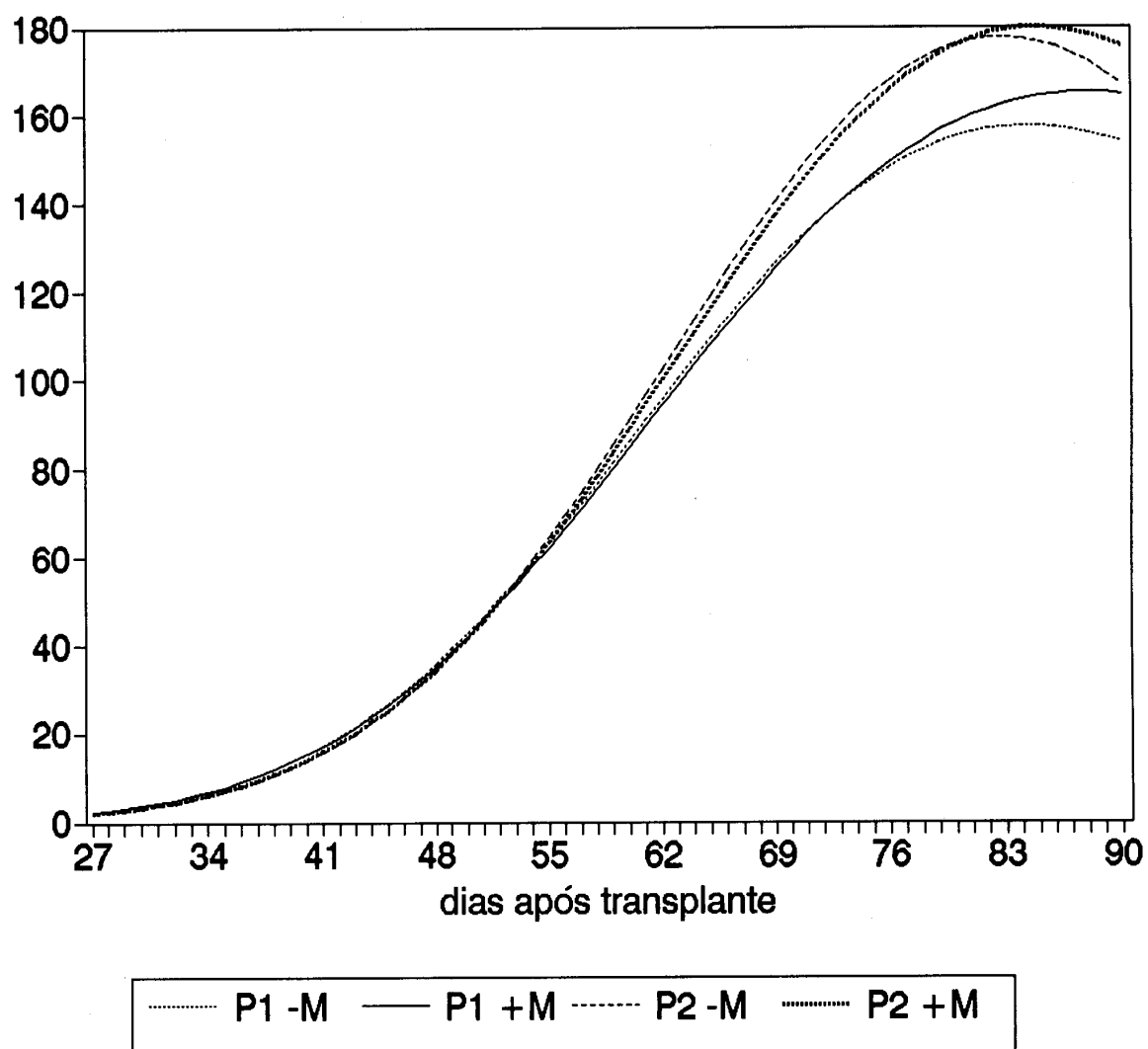
Tratamento		Matéria seca (g.pl-1)	Área foliar (cm <sup>2</sup> .pl-1)	Conteúdo de P (mg P.pl-1)	Área radicular (cm <sup>2</sup> .pl-1)
P1 -M	Médias exp.	80,37	6966	141,5	1576
	3o grau	80,97	7205	143,2	1535
P1 +M	Médias exp.	81,88	6917	143,1	1646
	3o grau	81,88	7131	144,7	1597
P2 -M	Médias exp.	87,19	7277	197,7	1520
	3o grau	88,21	7539	202,8	1492
P2 +M	Médias exp.	87,58	7445	220,1	1805
	3o grau	87,94	7666	225,7	1738

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

Tabela 5.25: Valores médios das taxas de crescimento, de acumulação e de utilização de P, estimadas pelo modelo exponencial de 3º grau

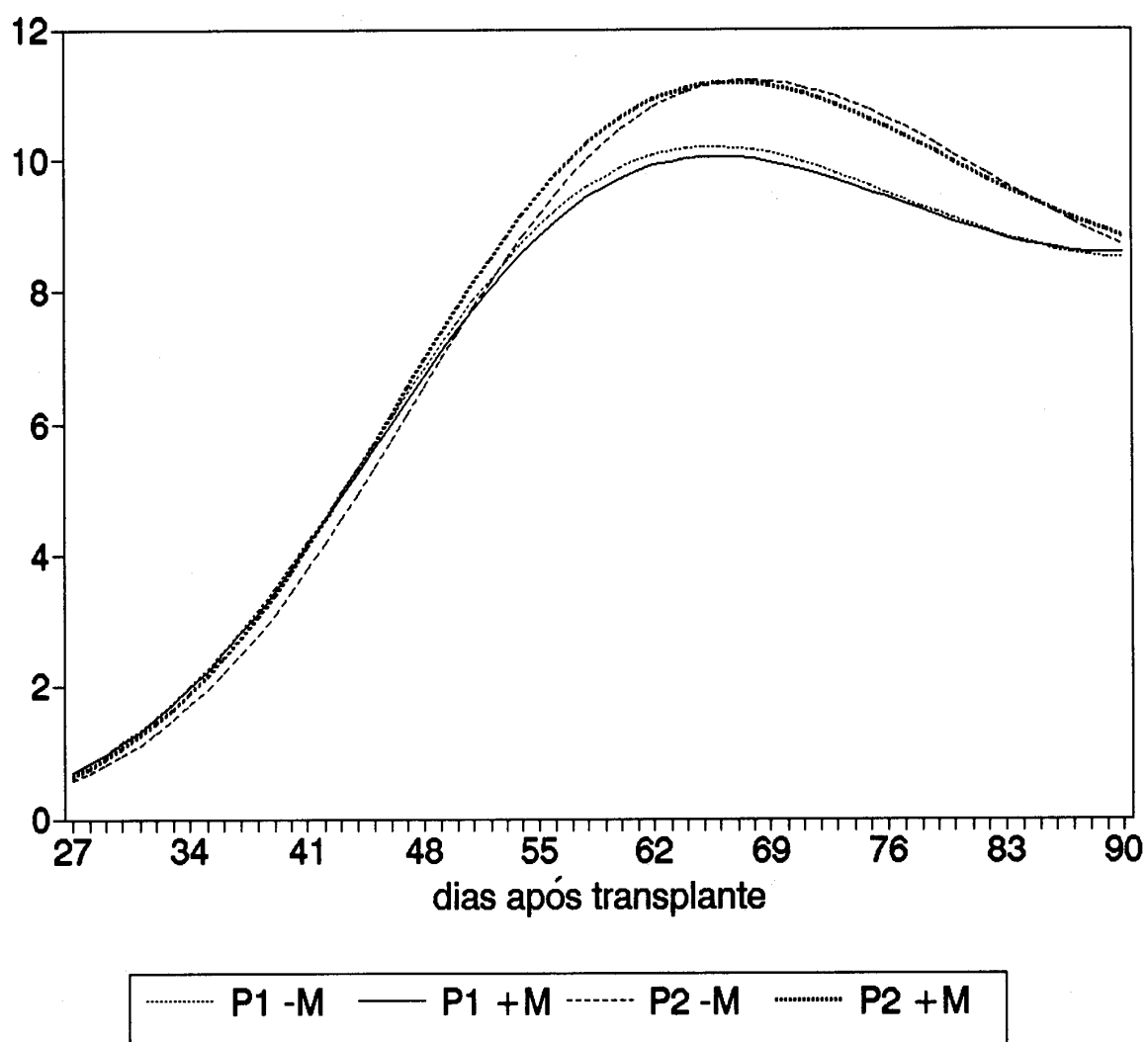
Taxa	Tratamento			
	P1 -M	P1 +M	P2 -M	P2 +M
TCR (mg.g-1.dia-1)	68,2	69,0	72,1	72,1
TCA (g.dia-1)	2,37	2,54	2,56	2,70
TAL (mg.cm-2.dia-1)	0,363	0,387	0,383	0,379
TAR (mg P.g-1 P.dia-1)	45,4	46,0	50,1	51,5
TAA (mg P.dia-1)	3,13	3,16	4,01	4,87
Fp (ug P.cm-2.dia-1)	7,40	6,28	12,96	10,72
TUE (g.g-1 P.dia-1)	21,3	22,1	17,5	16,4

P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado



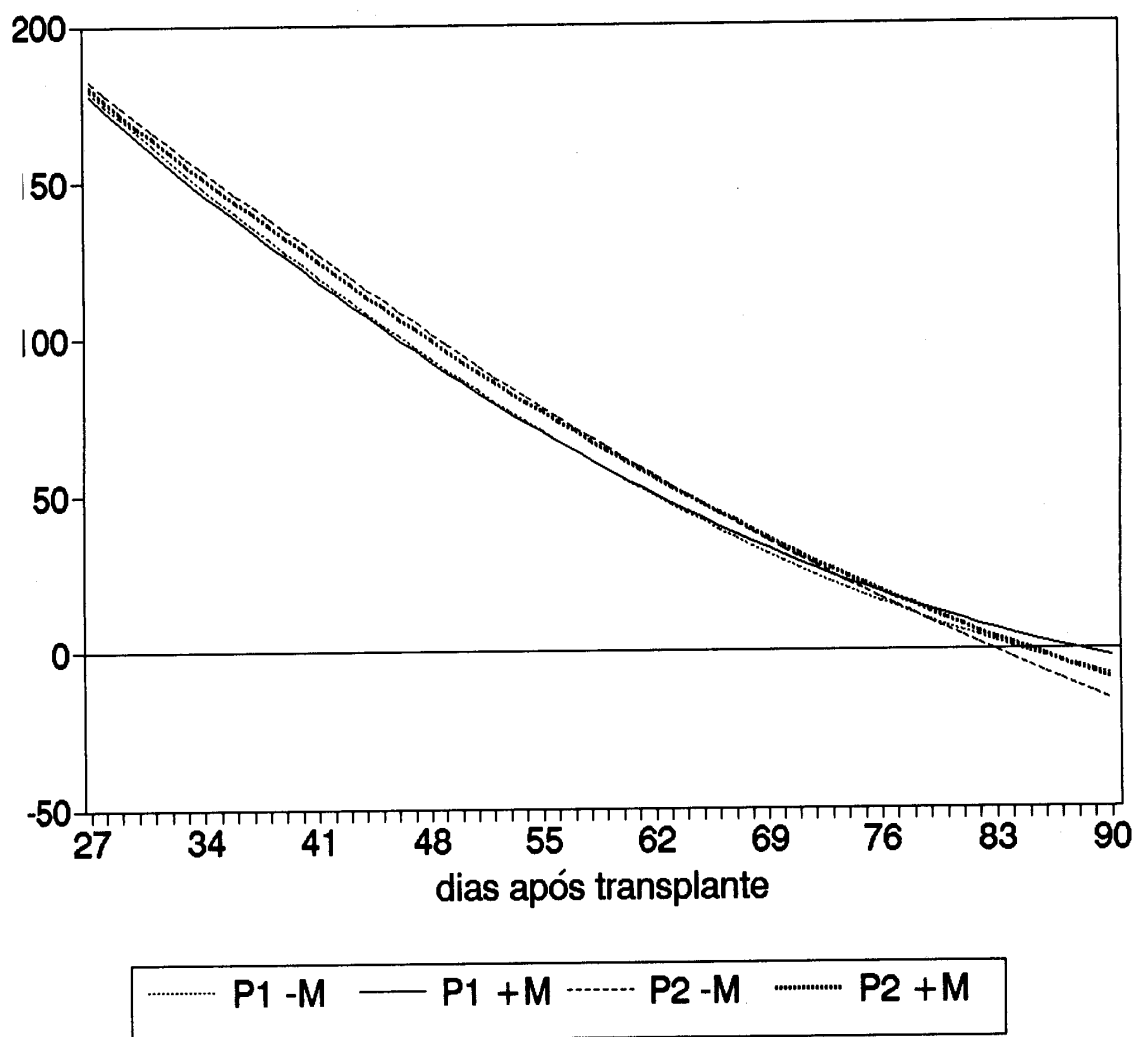
P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Figura 5.11: Matéria seca do tomateiro (em g.pl<sup>-1</sup>), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

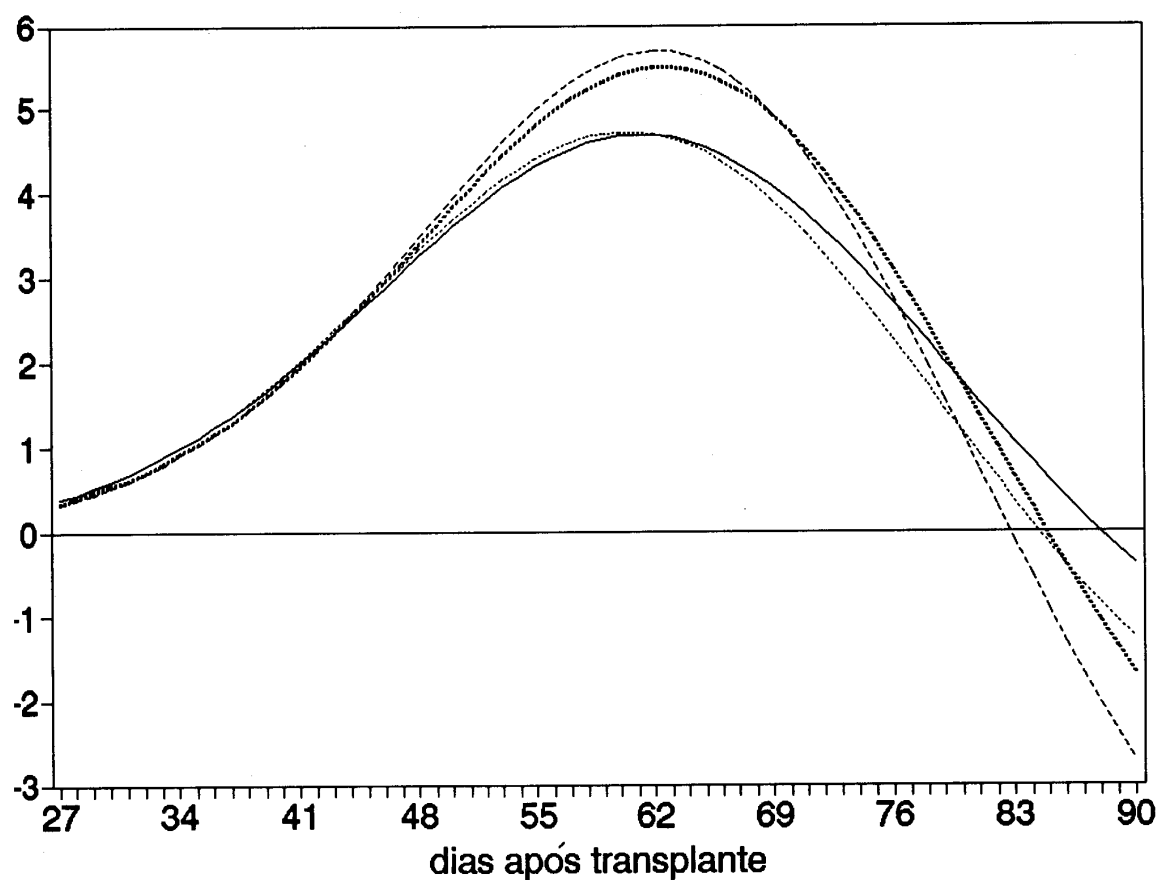
Figura 5.12: Área foliar do tomateiro (em 10<sup>2</sup> cm<sup>2</sup>.pl<sup>-1</sup>), estimada pelo modelo exponencial de 3<sup>o</sup> grau, para cada tratamento



P1:  $60 \text{ mg P.kg}^{-1}$       -M: não inoculado  
P2:  $120 \text{ mg P.kg}^{-1}$       +M: inoculado

Figura 5.13: Taxa de crescimento relativo do tomateiro (em  $\text{mg.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento

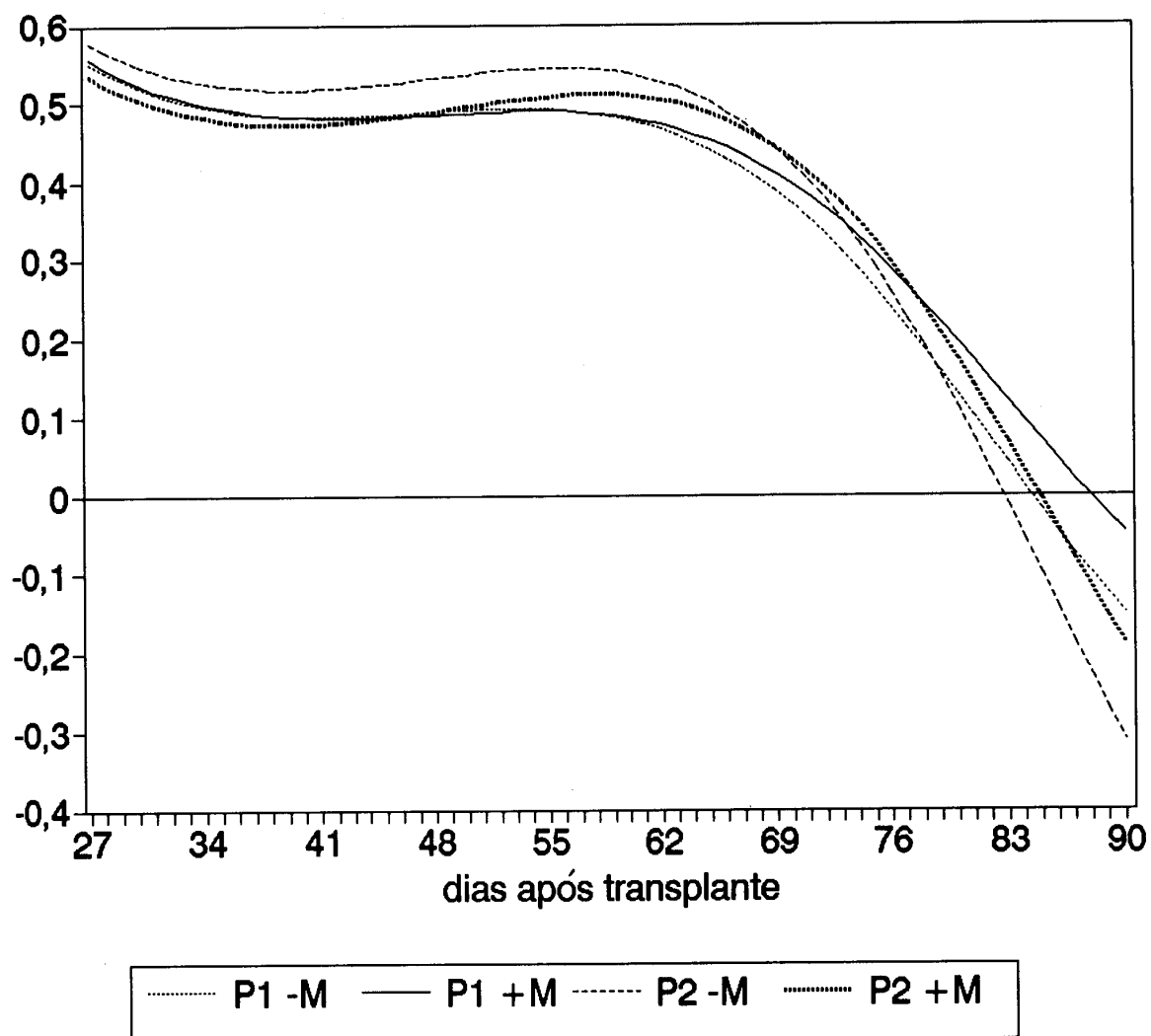




..... P1 -M    — P1 +M    - - - - P2 -M    - · - · - P2 +M

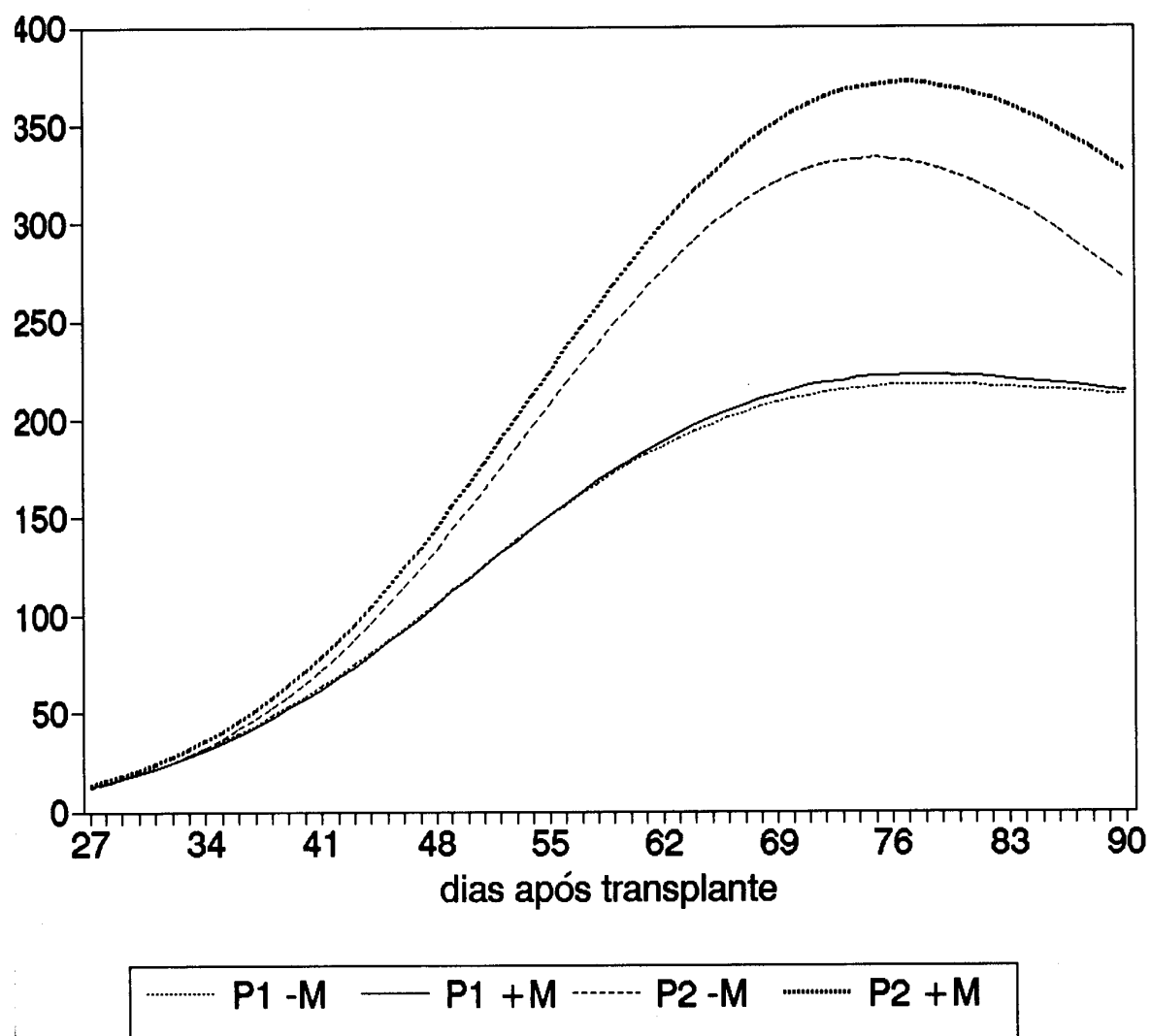
P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>                      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>                      +M: inoculado

Figura 5.14: Taxa de crescimento absoluto do tomateiro (em g.dia<sup>-1</sup>), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



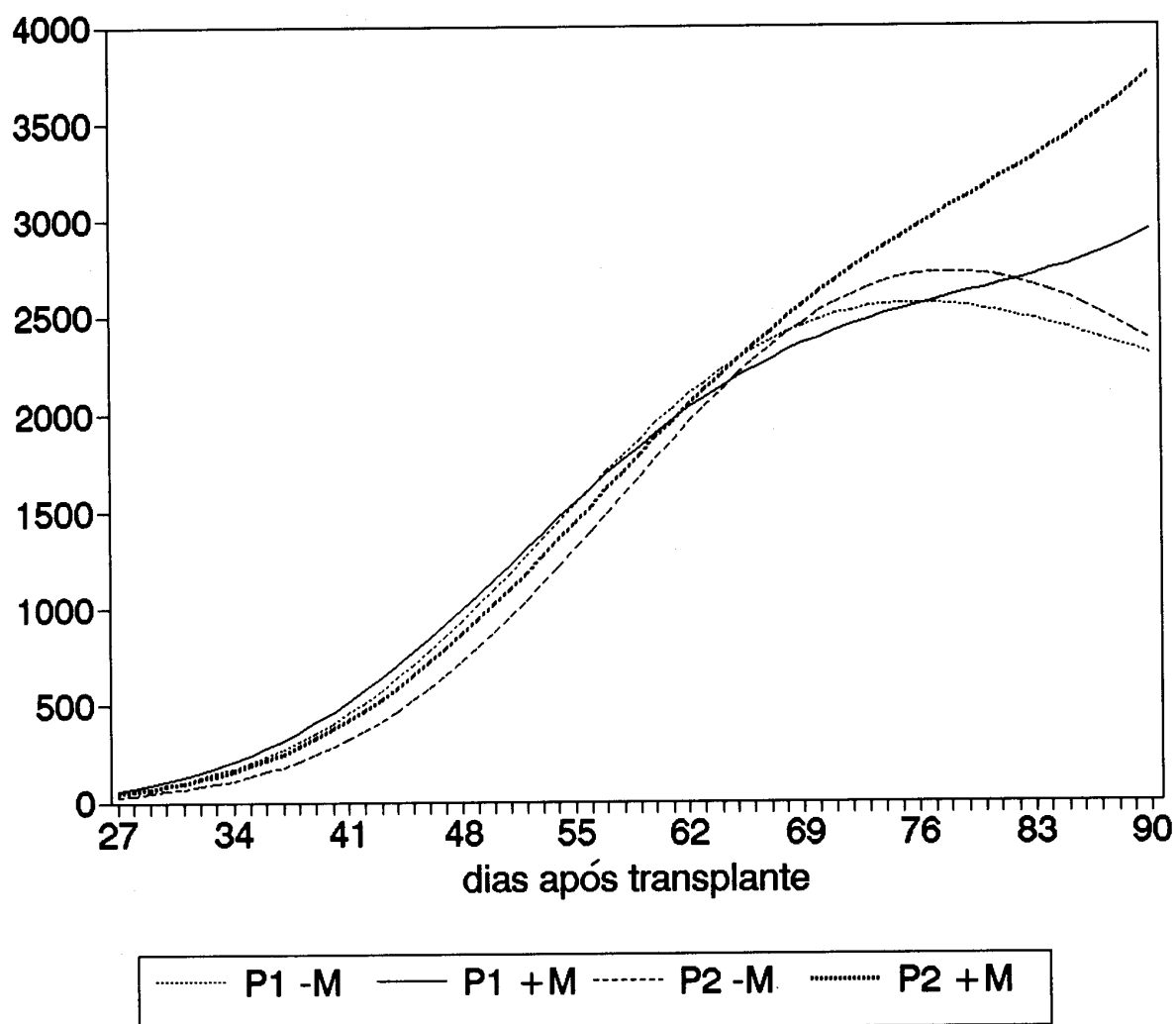
P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Figura 5.15: Taxa de assimilação líquida do tomateiro (em mg .cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), estimada pelo modelo exponencial de 3<sup>o</sup> grau, para cada tratamento



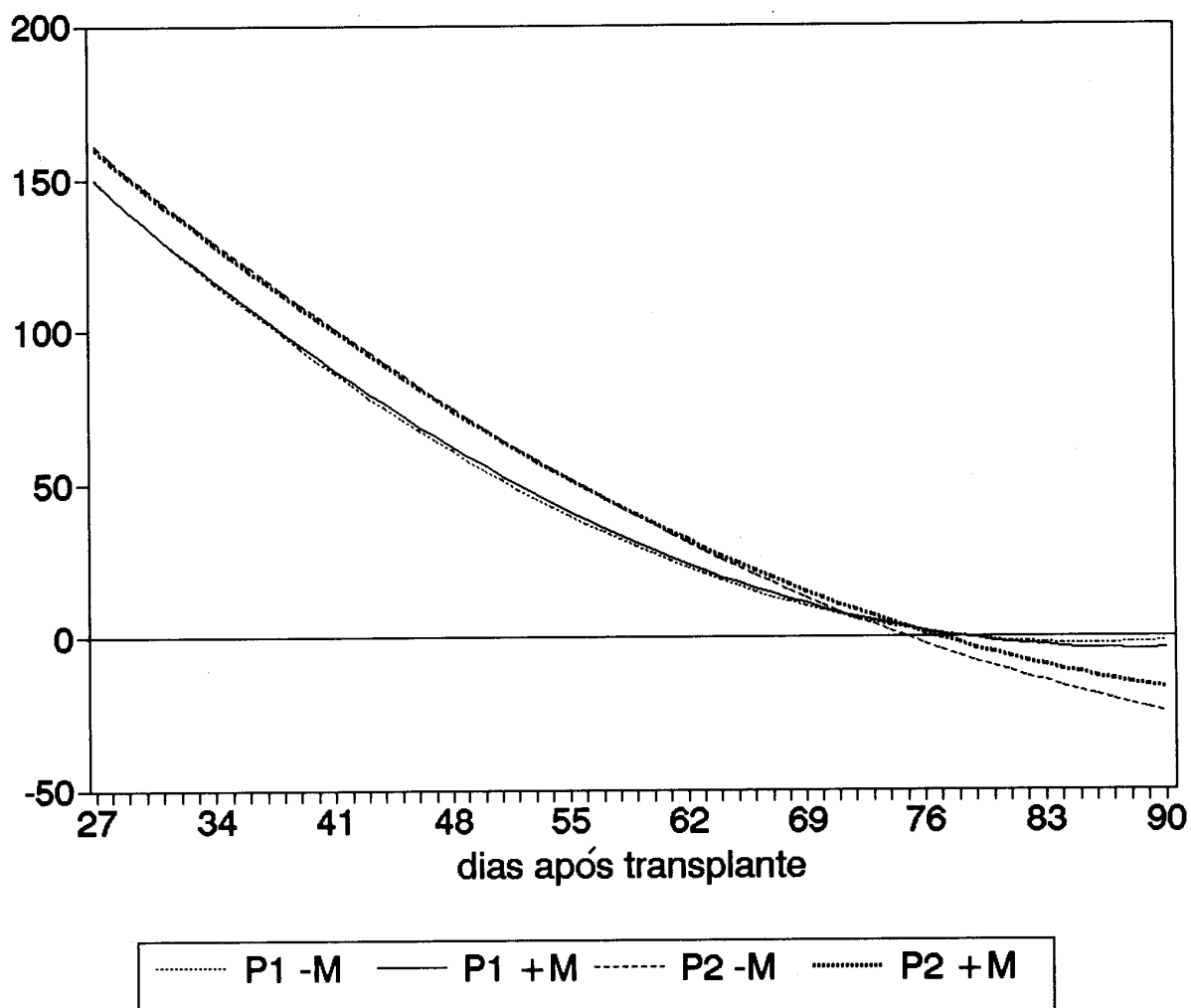
P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Figura 5.16: Conteúdo de P do tomateiro (em mg P pl<sup>-1</sup>), estimado pelo modelo exponencial de 3<sup>o</sup> grau, para cada tratamento



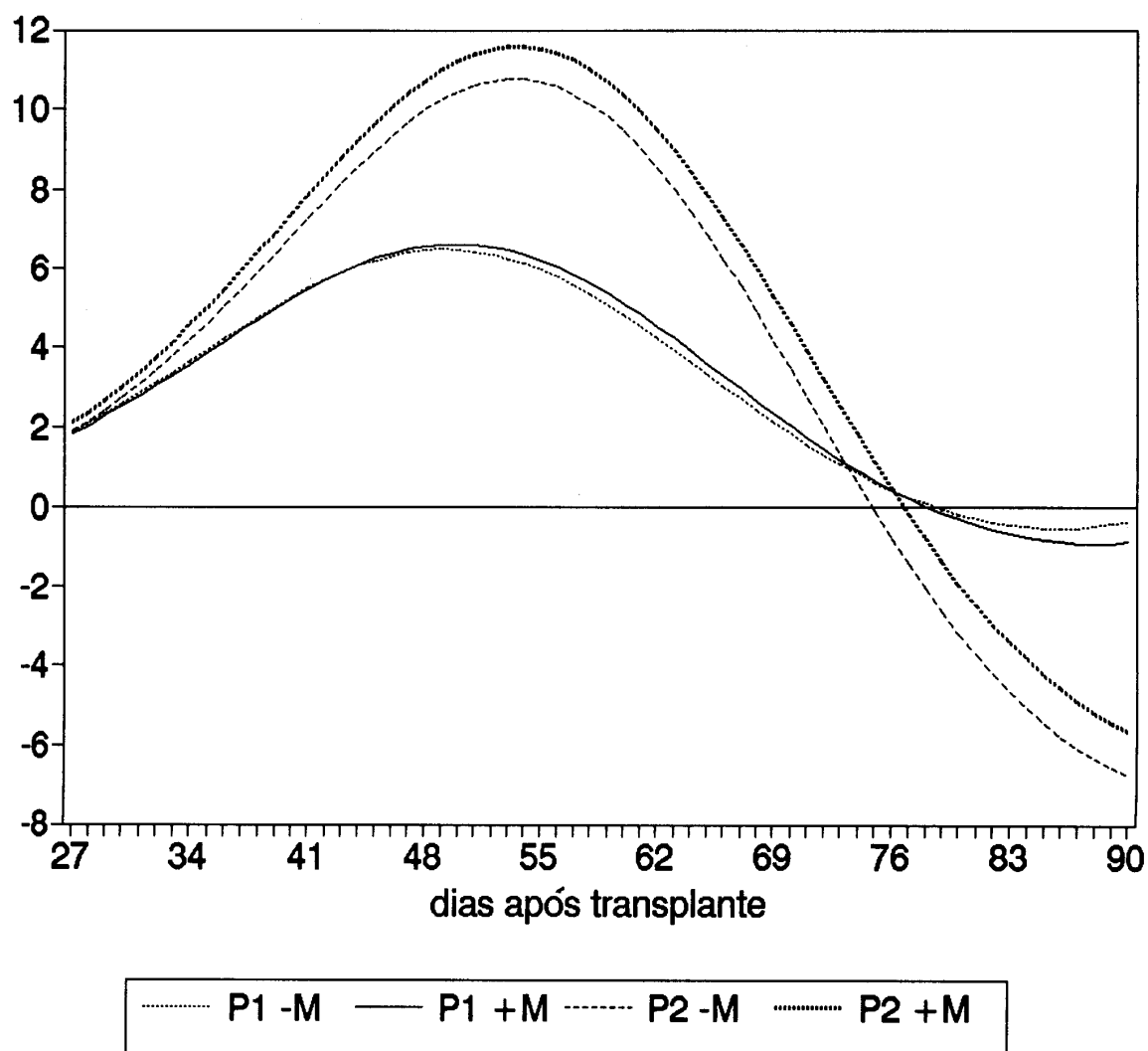
P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Figura 5.17: Área radicular do tomateiro (em  $\text{cm}^2.\text{pl}^{-1}$ ), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



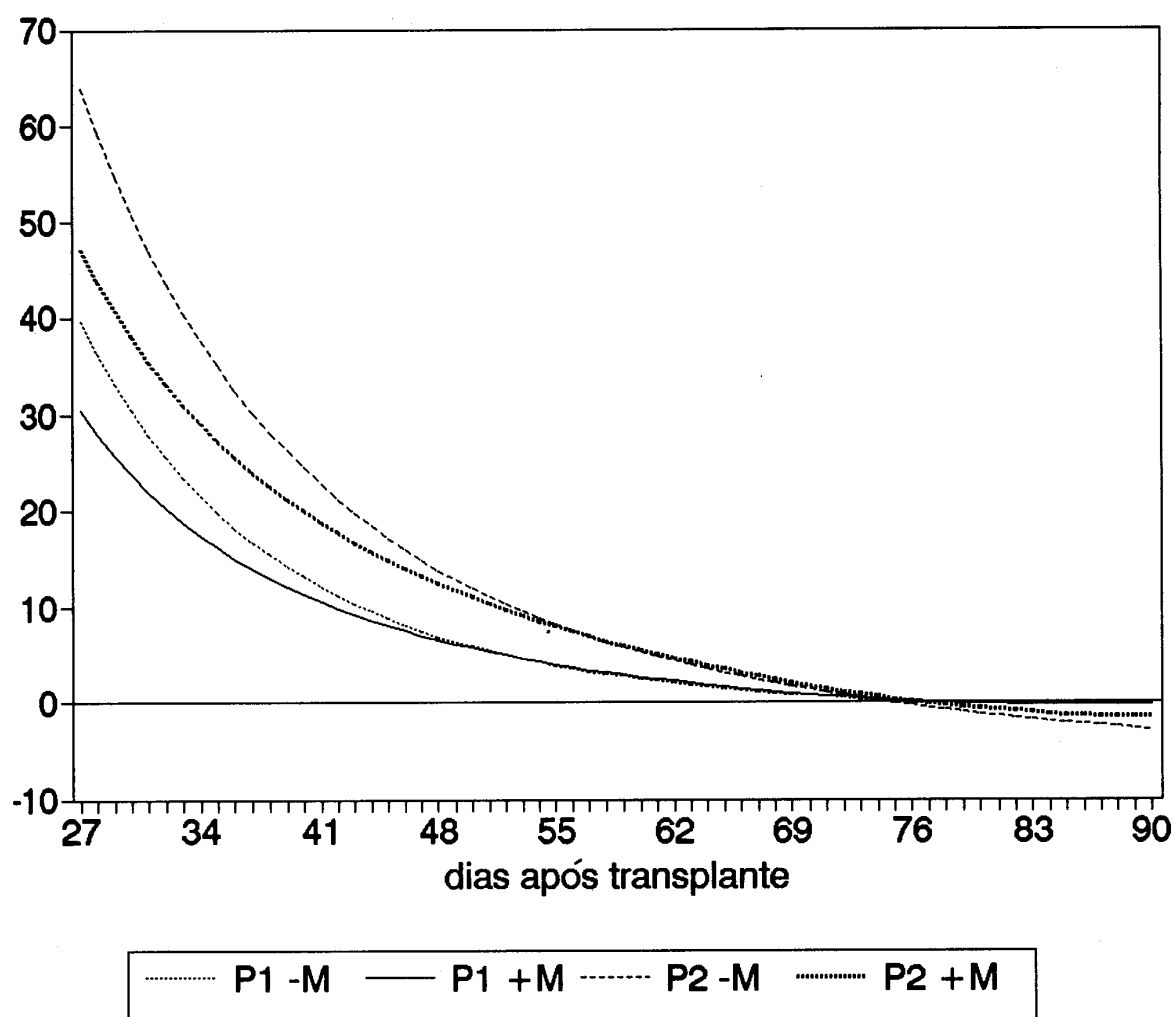
P1:  $60 \text{ mg P.kg}^{-1}$       -M: não inoculado  
P2:  $120 \text{ mg P.kg}^{-1}$       +M: inoculado

Figura 5.18: Taxa de acumulação relativa de P do tomateiro (em  $\text{mg P g}^{-1} \text{ P dia}^{-1}$ ), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



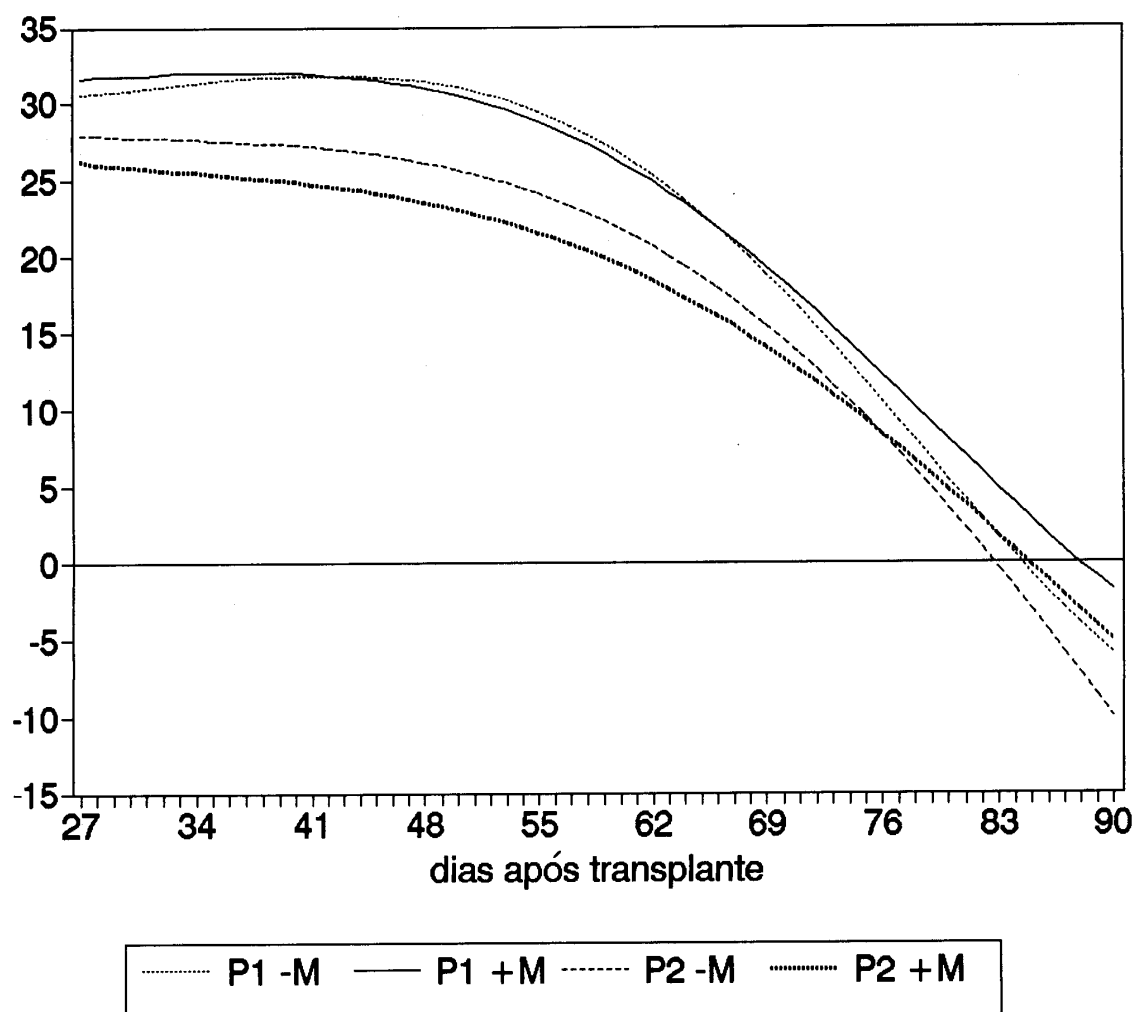
P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>    +M:        inoculado

Figura 5.19: Taxa de acumulação absoluta de P do tomateiro (em mg P.dia<sup>-1</sup>), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



P1: 60  $\text{mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$       -M: não inoculado  
 P2: 120  $\text{mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$       +M: inoculado

Figura 5.20: Fluxo líquido de P do tomateiro (em  $\mu\text{g P}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ ), estimado pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



P1: 60 mg P.kg<sup>-1</sup>      -M: não inoculado  
 P2: 120 mg P.kg<sup>-1</sup>      +M: inoculado

Figura 5.21: Taxa de utilização específica de P do tomateiro (em mg.g<sup>-1</sup> P.dia<sup>-1</sup>), estimada pelo modelo exponencial de 3º grau, para cada tratamento



Os valores de Fp também decaíram continuamente durante o experimento (Figura 5.20). Em P2 foram aumentados os valores médios de FP (de 6,84 para 11,84  $\text{ug P.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ). Com o estímulo ao crescimento das raízes, a micorriza trouxe uma conseqüente diminuição de FP, de 7,40 para 6,28  $\text{ug P.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em P1 e de 12,96 para 10,72  $\text{ug P.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em P2 (Tabela 5.25).

A TUE decaiu continuamente durante o experimento, e seu valor médio foi maior em P1 (Tabela 5.25). A micorriza elevou ligeiramente seu valor médio em P1 e reduziu-o em P2, mas após 65 DAT em P1 e 75 DAT em P2, a micorriza promoveu um aumento da TUE (Figura 5.21).

## 5.5. DISCUSSÃO

### **Comparação de valores de fluxo líquido de P em tomateiro**

A Tabela 5.26 apresenta os valores obtidos por outros autores para os parâmetros morfológicos radiculares e para o fluxo líquido de P para o tomateiro, com a devida compatibilização de unidades. Os valores de fluxo líquido do experimento foram transformados também para influxo líquido (absorção por unidade de comprimento de raiz) para efeito de comparação.

Os valores de raio médio radicular do atual experimento são maiores do que em outros trabalhos, que no entanto utilizaram o método de Tennant (1975) para estimativa do comprimento e, a partir daí, a área e raio radiculares, pelas mesmas fórmulas aqui aplicadas. Os valores agora obtidos aproximam-se mais dos de Rossiello et al. (no prelo) em milho (ou seja, 1,4 mm) usando o mesmo método fotoelétrico. Os valores de área radicular são

assim um pouco menores, e os fluxos calculados um pouco maiores aos de outros trabalhos. Não se pode descartar ainda um fenômeno de engrossamento das raízes devido ao seu confinamento no volume do vaso utilizado no experimento.

Estas diferenças de valores são mais acentuadas para as plantas em 34 DAT, pois a coleta das raízes em vasos com 13 kg de solo tornou-se mais difícil e sujeita a erros. Quando comparamos as Médias de todo o período experimental, as diferenças com resultados de outros autores são bem menores. Este tipo de comparações deve ser feita com a devida cautela, em vista da ampla diversidade das condições de crescimento (dias após transplante versus dias após emergência, solo versus solução nutritiva, níveis variáveis de P disponível, dentre outros), ocasionando certa variabilidade entre os dados apresentados na Tabela 5.26.

Já em vasos com areia, De Willigen e Van Noordwijk (1987) encontraram para o tomateiro aos 80 dias uma relação área foliar:área radicular de cerca de 1,3 (contra 3,0 do atual experimento), com cerca de 1 m<sup>2</sup> de área radicular e relação R:S de 50 mg.g<sup>-1</sup>.

### **Ontogenia**

A diminuição da TCR durante a ontogenia pode ser creditada em parte a um aumento relativo dos tecidos não assimilatórios (Williams, 1946), e um estudo mais detalhado pode ser efetuado com sua partição entre razão de área foliar e TAL. Smeets e Garretsen (1986) atribuíram a diminuição da TCR em genótipos de tomateiro a reduções na razão de área foliar, pois a TAL não sofreu grandes variações com a ontogenia.

Tabela 5.26: Valores de parâmetros morfológicos radiculares e de fluxos e influxos líquidos de P no tomateiro obtidos por outros autores

Condições de crescimento e referência	Matéria seca (g.pl-1)	Raio médio (mm)	Área (cm <sup>2</sup> pl-1)	Comprimento (m.pl-1)	Fluxo	Influxo
Solução 30 DAE (1)	0,36	0,17	830	77	2,7	
Solução 30 DAE (1)	0,67	0,14	1800	219	7,2	
Solo 22 DAT (2)	0,54	0,22		134	6,4	
Solo 49-57 DAE (3)						0,013
Solo 49-57 DAE (3)						0,027
Areia 26 DAT (4)		0,32		187		0,28
Solo 34 DAT (5)	0,68	1,13	185	3	20	0,53
Solo 27-90 DAT (5)	3,5	0,68	1630	62	9,3	0,25

DAE: dias após emergência      DAT: dias após transplante

Valores de fluxo líquido em  $\mu\text{g P}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ ,  
e de influxo líquido em  $\mu\text{g P}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$

- (1) Fontes e Barber (1984)
- (2) Fontes, Barber e Wilcox (1986)
- (3) Föhse, Claassen e Jungk (1988)
- (4) Coltman, Gerloff e Gabelman (1985)
- (5) Atual experimento

A redução dos valores da TAL no transcorrer do experimento pode ser atribuída a um maior auto-sombreamento com a expansão foliar (Araújo et al., 1985) e à perda da eficiência fotossintética com a senescência das folhas inferiores (Manzatto, 1987). Os valores obtidos são bem inferiores aos apresentados por Mendes (1989) para milho, confirmando a diferença de eficiência fotossintética entre plantas C3 e C4. Smeets e Garretsen (1986) registraram em tomateiro, em condições de baixas temperaturas noturnas e intensidade luminosa, valores de TAL variando entre 0,18 e 0,24 mg.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>.

A diminuição da TUE com a ontogenia indica a perda de eficiência da planta na utilização do nutriente (Keay, Biddiscombe e Ozanne, 1970), e esta medida foi mais adequada do que o índice e o quociente de utilização, que apresentaram aumento contínuo devido a efeitos de diluição (Jarrell e Beverly, 1981).

Os valores de fluxo líquido de P foram bem superiores no início do experimento, e as plantas mais jovens foram mais sensíveis às diferenças entre os tratamentos (Figura 5.20). Isto não pode ser atribuído apenas à diminuição dos valores de P disponível no solo, que não foi tão acentuada (Figura 5.2). Ocorreu na verdade uma perda de eficiência de absorção de P com o envelhecimento do sistema radicular (Loneragan e Asher, 1967; Mengel e Barber, 1974; Smith et al., 1986), pois a idade média

das raízes do tomateiro crescido num solo com dose de 100 mg P.kg<sup>-1</sup> foi de apenas 4,5 dias (Föhse, Claassen e Jungk, 1988).

Com a formação de uma zona de depleção de P adjacente às raízes (Barber, 1962), a baixa difusão de P no solo constitui-se no fator limitante à absorção vegetal (Nye e Tinker, 1977). Torna-se assim necessária a produção de novas raízes e pelos radiculares (Howeler, Asher e Edwards, 1982), o que foi agora confirmado pela contínua diminuição do raio radicular com a ontogenia. A simbiose micorrízica, retardando a senescência radicular, pode assumir papel positivo nesse aspecto.

#### **Suprimento de P**

O maior suprimento de P estimulou o crescimento vegetal principalmente pelo aumento da produção de fitomassa foliar, pois não houve grandes variações nos valores médios das taxas fotossintéticas para todo o período experimental, de forma similar aos resultados obtidos por Lynch, Läuchli e Epstein (1991). Diferenças de produção de variedades de soja também foram conseqüências de um maior incremento em área foliar, e não de diferenças na TAL (Clawson, Specht e Blad, 1986). A TCR foi também pouco afetada pelo P, como observado em aveia por White (1973) e soja por Yost e Fox (1982).

Apesar das respostas à maior dose de P, com aumentos inclusive das taxas de acumulação e do fluxo líquido de P, a diminuição da TUE em P2 indica que o suprimento de P já começa a

exceder os requerimentos de crescimento, e outros fatores estariam limitando o máximo crescimento vegetal.

A diminuição da relação R:S na maior dose de P observada no início do experimento pode ser devida a uma resposta mais acentuada da parte aérea a P ou a uma menor sensibilidade das raízes à deficiência de P (Asher e Loneragan, 1967; Fontes e Barber, 1984; Lynch, Läuchli e Epstein, 1991). A diminuição do raio médio radicular em P1, também mais intenso no início do experimento, pode ser um mecanismo compensatório do vegetal para obtenção de maiores conteúdos de P com um menor investimento em matéria seca radicular (Anghinoni e Barber, 1980).

Os resultados reafirmam que estudos de absorção de nutrientes de alta demanda metabólica como o P devem ser executados em tecidos em crescimento, e não em pedaços de raízes, para associá-los ao requerimento vegetal (White, 1973), pois a demanda de nutrientes pela parte aérea é um dos fatores mais importantes no controle da taxa de absorção radicular (Chapin e Bieleski, 1982). A análise funcional de crescimento, associada a avaliações do sistema radicular, mostraram-se ferramentas promissoras para estes estudos.

Nesse experimento, análises da concentração de outros nutrientes no material vegetal poderiam fornecer informações importantes da variação dos fluxos líquidos com a ontogenia, particularmente porque as adubações com Ca, Mg, S e micronutrientes foram efetuadas apenas no plantio, de forma similar às condições usuais num cultivo comercial.

### **Colonização micorrízica**

A simbiose micorrízica sofreu variações ontogenéticas, associadas à relação fonte-dreno. Numa primeira fase, a micorriza reduziu a TCA, a TAL e a TUE, e o endófito estaria funcionando preferencialmente como um dreno, onde a perda de C devida à infecção excederia o ganho advindo da mesma (Koide, 1985). Essa depressão no crescimento, mais acentuada em P2, coincidiria com a fase de crescimento exponencial da cultura, onde maiores são as demandas metabólicas.

Após esta fase, a micorriza estimulou o crescimento vegetal, com aumentos da TCA, TAL e TUE, e início de uma resposta mais acentuada de matéria seca e retardamento da senescência vegetal, tal como observado por Daft e Nicolson (1969). A diminuição da proporção de fotossintatos utilizados pela micorriza durante a ontogenia (Harris, Pacovsky e Paul, 1985) seria uma melhor explicação para o fenômeno do que a diminuição da disponibilidade de P no solo (Bethlenfalvay et al., 1982).

Em P2, a infecção aumentou a absorção de P e sua transferência do fungo para o hospedeiro, num processo não estritamente relacionado com o requerimento da planta, e o crescimento teria sido limitado por outro fator que não P (como sugerido por Smith et al., 1986). A demanda por C das raízes infectadas não foi compensada por estímulos à fotossíntese, aumentando-se em consequência o teor de P nas plantas micorrizadas (Stribley, Tinker e Rayner, 1980) e reduzindo-se a eficiência de utilização do nutriente (Raju et al., 1990).

Os aumentos dos fluxos líquidos de P em raízes micorrizadas estão em geral acompanhados de diminuição da relação R:S (Sanders e Tinker, 1973; Smith, 1982), do comprimento

radicular (Jakobsen, 1986) e do comprimento radicular por unidade de matéria fresca de raiz (Price, Roncadori e Hussey, 1989), que equivaleria a um aumento do raio médio radicular. O aumento do volume de solo explorado pelas hifas fúngicas diminuiria a impedância à difusão de P no solo, aumentando o fluxo líquido de P em raízes micorrizadas (Sanders e Tinker, 1973). Tinker (1975) concluiu que o influxo de P em raízes excedeu o influxo de P em hifas, para uma mesma concentração inicial de P no solo, por um fator raramente superior a 10, o que explicaria a grande eficiência do sistema fúngico. Isto permitiria à planta obter conteúdos de P com uma menor fitomassa radicular, investindo em biomassa fúngica.

Entretanto, nesse experimento a micorriza trouxe estímulo ao crescimento radicular, como observado em tomateiro por Fairweather e Parbery (1982) e em sorgo por Pacovsky, Bethlenfalvay e Paul (1986), com aumento inclusive da relação R:S, também registrado em feijão por Daft e El-Ghiami (1974) e em algumas leguminosas forrageiras por Saif (1987). A micorriza aumentou ainda a área radicular, com conseqüente diminuição do fluxo líquido de P. Nesse caso, o aumento da acumulação de P em plantas micorrizadas não teria sido conseqüência de um efeito do fungo per se, mas sim do estímulo da micorriza ao desenvolvimento radicular, com a possível produção de substâncias estimuladoras do crescimento (Barea e Azcón-Aguilar, 1982).

Parece no entanto que o estímulo ao crescimento radicular veio em detrimento da produção de frutos, com a redução do índice de colheita em 90 DAT, indicando um processo de alocação preferencial de carboidratos das plantas micorrizadas no sistema radicular. Este resultado, que contrasta com a observação de Bethlenfalvay et al. (1982) em soja de estímulo preferencial aos



órgãos reprodutivos, não é no entanto conclusivo, pois espelha uma tendência de uma coleta particular.

Condições de baixa luminosidade podem ainda diminuir o fluxo líquido de P em raízes micorrizadas, sem no entanto afetar plantas não-micorrizadas (Son e Smith, 1988), e a inibição do P à infecção foi mais severa sob baixa luminosidade (Graham, Leonard e Menge, 1982). Em experimentos em casa-de-vegetação sob iluminação natural, como no caso do atual trabalho, é possível a ocorrência de restrições à radiação, deprimindo-se assim o fluxo líquido de P. É importante ressaltar que os processos de absorção e translocação de P pelas micorrizas são ainda dependentes de fatores como as taxas transpiratórias do hospedeiro e a temperatura do solo (Cooper e Tinker, 1981).

A diminuição inicial da TAL observada em P2 em plantas micorrizadas (Figura 5.15) sugere a possibilidade de que o crescimento e atividade dos simbiontes foi limitado pelo suprimento de C (Tester, Smith e Smith, 1985). O aumento da área foliar específica em plantas micorrizadas (Freeden e Terry, 1988; Koide, 1985) pode ser um mecanismo compensatório, permitindo à planta obter uma maior taxa de fixação de C com um menor investimento em fitomassa foliar (Snellgrove et al., 1982).

Verificou-se que a maior demanda metabólica da variedade de tomateiro utilizada correspondeu ao período entre o transplante e cerca de 70 DAT. Com a senescência vegetal e a intensificação da translocação de fotossintatos para os frutos, diminuíram as taxas de crescimento e de acumulação de P. A fase de estabelecimento da simbiose micorrizica, onde o fungo atuaria preferencialmente como um dreno, perdurou até cerca de 60 DAT em P1 a 70 DAT em P2. Desta forma, a contribuição potencial da simbiose tornar-se-ia reduzida em plantas de crescimento rápido.

## 5.6. CONCLUSÕES

- Com a ontogenia, houve diminuição contínua da relação matéria seca de raiz:parte aérea (R:S), da área foliar específica, do raio radicular e do teor de P nas partes vegetais. Diminuíram ainda as taxas de crescimento relativo, de assimilação líquida, de acumulação relativa de P, de utilização específica de P e do fluxo líquido de P.
- Na dose de  $120 \text{ mg P.kg}^{-1}$ , houve aumento da taxa de crescimento relativo, das taxas de acumulação de P e do fluxo líquido de P, e diminuição da taxa de utilização específica de P.
- Numa primeira fase, FMVA reduziu as taxas de crescimento, de assimilação líquida e de utilização de P, mais acentuadamente em  $120 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; depois observou-se aumento dessas taxas e retardamento da senescência vegetal.
- O estímulo de FMVA à produção de raízes acarretou a redução do fluxo líquido de P.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Infectivity of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, 33: 1049-1059, 1982.
- ALLEN, M.F.; SMITH, W.K.; MOORE, T.S., JR.; CHRISTENSEN, M. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-micorrhyzal *Bouteloua gracilis* H.B.K. Lag ex Steud. **New Phytologist**, Oxford, 88: 683-693, 1981.
- AMES, R.N.; REID, C.P.P.; PORTER, L.K.; CAMBARDELLA, C. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two <sup>15</sup>N-labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. **New Phytologist**, Oxford, 95: 381-396, 1983.
- ANGHINONI, I.; BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, Madison, 72: 685-688, 1980.

- ANGHINONI, I.; VOLKART, C.R.; FATTORE, N.; ERNANI, P.R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 13: 355-361, 1989.
- ARAÚJO, G.A.A.; FONTES, L.A.N.; LOPES, N.F.; GALVÃO, J.D.; SEDIYAMA, G.C. Crescimento de plantas e conversão de energia solar em sistemas de cultivos associados e exclusivos de milho e feijão. I. Análise do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, 32: 412-434, 1985.
- ASHER, C.J.; LONERAGAN, J.F. Response of plants to phosphate concentrations in solution culture: I. Growth and phosphorus content. **Soil Science**, Baltimore, 103: 225-233, 1967.
- AZCÓN, R.; OCAMPO, J.A. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. **New Phytologist**, Oxford, 87: 677-685, 1981.
- BAATH, E.; HAYMAN, D.S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XIV. Interactions with *Verticillium* wilt on tomato plant. **New Phytologist**, Oxford, 95: 419-426, 1983.
- BAGYARAJ, D.J.; MANJUNATH, A.; REDDY, D.D.R. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhiza with root knot nematodes in tomato. **Plant and Soil**, The Hague, 51: 397-403, 1979.
- BARBER, S.A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. **Soil Science**, Baltimore, 93: 39-49, 1962.
- BAREA, J.M.; AZCÓN-AGUILAR, C. Production of plant growth-regulating substances by the vesicular-arbuscular mycorrhizal

- fungus *Glomus mosseae*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, 43: 810-813, 1982.
- BAUMGARTNER, J.G.; LANDELL, M.G.A.; MASCA, M.G.C.C.; HIROCE, R.; ARAÚJO, J.A.C. Efeito de doses e de localização do fósforo na cultura do tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill). **Revista Ceres**, Viçosa, 30: 330-344, 1983.
- BELL, C.J. The testing and validation of models. In: ROSE, D.A.; CHARLES-EDWARDS, D.A., eds. **Mathematics and plant physiology**. London: Academic Press, 1981. p.299-309.
- BETHLENFALVAY, G.J.; BAYNE, H.G.; PACOVSKY, R.S. Parasitic and mutualistic associations between a mycorrhizal fungus and soybean: The effect of phosphorus on host plant-endophyte interactions. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 57: 543-548, 1983.
- BETHLENFALVAY, G.J.; BROWN, M.S.; PACOVSKY, R.S. Relationships between host and endophyte development in mycorrhizal soybeans. **New Phytologist**, Oxford, 90: 537-543, 1982.
- BETHLENFALVAY, G.J.; PACOVSKY, R.S.; BROWN, M.S.; FULLER, G. Mycotrophic growth and mutualistic development of host plant and fungal endophyte in an endomycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, The Hague, 68: 43-54, 1982.
- BOLAN, N.S.; ROBSON, A.D.; BARROW, N.J. Increasing phosphorus supply can increase the infection of plant roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 16: 419-420, 1984.
- BREWSTER, J.L.; TINKER, P.B.H. Nutrient flow rates into roots. **Soils and Fertilizers**, Wallingford, 35: 355-359, 1972.

- BROWN, M.S.; BETHLENFALVAY, G.J. The *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis. VII. Photosynthetic nutrient-use efficiency in nodulated, mycorrhizal soybeans. **Plant Physiology**, Bethesda, 86: 1292-1297, 1988.
- BUWALDA, J.G.; ROSS, G.J.S.; STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B. The development of endomycorrhizal root systems. III. The mathematical representation of the spread of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in root systems. **New Phytologist**, Oxford, 91: 669-682, 1982.
- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C.; TORRES, A.C. Comparação de modelos e estratégias para análise de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, 1: 1-7, 1989a.
- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C.; TORRES, A.C. Ajuste de funções não lineares de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, 1: 9-18, 1989b.
- CANNELL, G.H.; BINGHAM, F.T.; ASBELL, C.W. Effects of irrigation and phosphorus on production of field tomatoes. **Agronomy Journal**, Madison, 57: 176-179, 1965.
- CANNELL, G.H.; BINGHAM, F.T.; GARBER, M.J. Effects of irrigation and phosphorus on vegetative growth and nutrient composition of tomato leaves. **Soil Science**, Baltimore, 89: 53-60, 1960.
- CANNELL, G.H.; BINGHAM, F.T.; LINGLE, J.C.; GARBER, M.J. Yield and nutrient composition of tomatoes in relation to soil temperature, moisture, and phosphorus levels. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 27: 560-565, 1963.
- CARLING, D.E.; RIEHLE, W.G.; BROWN, M.F.; JOHNSON, D.R. Effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on nitrate

- reductase and nitrogenase activities in nodulating and non-nodulating soybeans. **Phytopatology**, St. Paul, 68: 1590-1596, 1978.
- CARON, M.; FORTIN, J.A.; RICHARD, C. Influence of substrate on the interaction of *Glomus intraradices* and *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* on tomatoes. **Plant and Soil**, The Hague, 87: 233-239, 1985.
- CERLIGIONE, L.J.; LIBERTA, A.E.; ANDERSON, R.C. Effects of soil moisture and soil sterilization on vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and growth of little bluestem (*Schizachyrium scoparium*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, 66: 757-761, 1988.
- CHANTER, D.O. The use and misuse of linear regression methods in crop modelling. In: ROSE, D.A.; CHARLES-EDWARDS, D.A., eds. **Mathematics and plant physiology**. London: Academic Press, 1981. p.253-267.
- CHAPIN, F.S., III; BIELESKI, R.L. Mild phosphorus stress in barley and a related low-phosphorus-adapted barleygrass: Phosphorus fractions and phosphate absorption in relation to growth. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 54: 309-317, 1982.
- CLARKE, C.; MOSSE, B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XII. Field inoculation responses of barley at two soil P levels. **New Phytologist**, Oxford, 87: 695-703, 1981.
- CLAWSON, K.L.; SPECHT, J.E.; BLAD, B.L. Growth analysis of soybean isolines differing in pubescence density. **Agronomy Journal**, Madison, 78: 164-172, 1986.

- COLTMAN, R.R.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Differential tolerance of tomato strains to maintained and deficient levels of phosphorus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, 110: 140-144, 1985.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 3ª aproximação**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1978. 80p.
- COOPER, A.J. Partitioning of dry matter by the tomato. **Journal of Horticultural Science**, Ashford Kent, 47: 137-140, 1972.
- COOPER, K.M.; TINKER, P.B. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. IV. Effect of environmental variables on movement of phosphorus. **New Phytologist**, Oxford, 88: 327-339, 1981.
- CRESS, W.A.; THRONEBERRY, G.O.; LINDSEY, D.L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. **Plant Physiology**, Bethesda, 64: 484-487, 1979.
- CROXTON, F.E.; COWDEN, D.J. **Estatística geral e aplicada**. Rio de Janeiro: IBGE, 1952. 1096p. Tradução de: Applied general statistics.
- DAFT, M.J.; EL-GIAHMI, A.A. Effect of arbuscular mycorrhiza on plant growth. VIII. Effects of defoliation and light on selected hosts. **New Phytologist**, Oxford, 80: 365-372, 1978.
- DAFT, M.J.; EL-GIAHMI, A.A. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. VII. Influence of infection on the growth and nodulation in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **New Phytologist**, Oxford, 73: 1139-1147, 1974.



- DAFT, M.J.; NICOLSON, T.H. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. **New Phytologist**, Oxford, 65: 343-350, 1966.
- DAFT, M.J.; NICOLSON, T.H. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. III. Influence of inoculum concentration on growth and infection in tomato. **New Phytologist**, Oxford, 68: 953-963, 1969.
- DAFT, M.J.; NICOLSON, T.H. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. IV. Quantitative relationships between the growth of the host and the development of the endophyte in tomato and maize. **New Phytologist**, Oxford, 71: 287-295, 1972.
- DAFT, M.J.; OKUSANYA, B.O. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. V. Influence of infection on the multiplication of viruses in tomato, petunia and strawberry. **New Phytologist**, Oxford, 72: 975-983, 1973a.
- DAFT, M.J.; OKUSANYA, B.O. Effect of *Endogone* mycorrhiza on plant growth. VI. Influence of infection on the anatomy and reproductive development in four hosts. **New Phytologist**, Oxford, 72: 1333-1339, 1973b.
- DAVIES, J.N. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the non-volatile organic acids of tomato fruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, 15: 665-673, 1964.
- DAVIES, J.N.; WINSOR, G.W. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and liming on the composition of tomato fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, 18: 459-466, 1967.

- DAVIS, E.A.; YOUNG, J.L.; ROSE, S.L. Detection of high-phosphorus tolerant VAM-fungi colonizing hops and peppermint. **Plant and Soil**, The Hague, 81: 29-36, 1984.
- DE WILLIGEN, P.; VAN NOORDWIJK, M. **Roots, plant production and nutrient use efficiency**. Wageningen: Agricultural University, 1987. 282p. PhD Thesis.
- DE-POLLI, H. (Coord.). **Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí: Universidade Rural, 1988. 179p.
- DEHNE, H.W. Influence of VA mycorrhizae on host plant physiology. In: MYCORRHIZAE: PHYSIOLOGY AND GENETICS, 1<sup>st</sup> ESM, 1985, Dijon. Paris: INRA, 1986. p.431-435.
- DEHNE, H.W. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. **Phytopathology**, St. Paul, 72: 1115-1119, 1982.
- DEHNE, H.W.; SCHÖNBECK, F. The influence of endotrophic mycorrhiza on plant diseases. 1. Colonisation of tomato plants by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Phytopathologische Zeitschrift**, Berlin, 95: 105-110, 1979.
- ELIAS, C.O.; CAUSTON, D.R. Studies on data variability and the use of polynomials to describe plant growth. **New Phytologist**, Oxford, 77: 421-430, 1976.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. n.p.
- FAIRWEATHER, J.V.; PARBERY, D.G. Effects of four vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth of tomato.

- Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, 79: 151-153, 1982.
- FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 14: 41-48, 1990.
- FARIA, C.M.B.; PEREIRA, J.R.; MORGADO, L.B. Disponibilidade de fósforo no solo e estimativa de doses adequadas de adubação fosfatada para o tomateiro no sub-médio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 21: 111-116, 1986.
- FERNANDES, A.B.; SIQUEIRA, J.O.; MENEZES, M.A.L.; GUEDES, G.A.A. Efeito diferenciado do fósforo sobre o estabelecimento e efetividade da simbiose endomicorrízica em milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 11: 101-108, 1987.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. Effects of  $\text{NH}_4^+$  and a nitrification inhibitor on soil pH and phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.). **Cereal Research Communications**, Budapest, 6: 183-191, 1978.
- FERNANDES, P.D.; CHURATA-MASCA, M.G.C.; OLIVEIRA, G.D.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de hortaliças. XXVII- Absorção de nutrientes pelo tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), em cultivo rasteiro. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, 32: 595-608, 1975.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de olericultura**. Cultura e comercialização de hortaliças. Volume II. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. p.233-300.

- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNCK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, The Hague, 110: 101-109, 1988.
- FONTES, P.C.R. Distribuição de fósforo no solo afetando o desenvolvimento e absorção de fósforo pelo tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 22: 367-372, 1987.
- FONTES, P.C.R.; BARBER, S.A. Crescimento do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo pelo tomateiro afetados por concentrações de fósforo na solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 19: 1203-1210, 1984.
- FONTES, P.C.R.; BARBER, S.A.; WILCOX, G.E. Prediction of phosphorus uptake by two tomato cultivars growing under insufficient and sufficient phosphorus soil conditions using a mechanistic mathematical model. **Plant and Soil**, The Hague, 94: 87-97, 1986.
- FONTES, R.R.; MONNERAT, P.H.; CASALI, V.W.D.; CAMPOS, J.P. Efeitos de seis métodos de produção de mudas no crescimento inicial das plantas e na produção do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Revista de Olericultura**, Campinas, 16: 216-217, 1976.
- FOX, R.L.; KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 34: 902-907, 1970.
- FREDEEN, A.L.; TERRY, N. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and soil phosphorus level on growth and

- carbon metabolism of soybean. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, 66: 2311-2316, 1988.
- FRIIS-NIELSEN, B. Interpretation of chemical plant analyses and control of nutrient status of growing plants exemplified by the tomato plant. **Plant and Soil**, The Hague, 30: 183-209, 1969.
- GARCIA-GARRIDO, J.M.; OCAMPO, J.A. Interaction between *Glomus mosseae* and *Erwinia carotovora* and its effects on the growth of tomato plants. **New Phytologist**, Oxford, 110: 551-555, 1988.
- GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro. **Bragantia**, Campinas, 22: 693-714, 1963.
- GARRETSEN, F.; KEULS, M. Functions of time for growth characters, their evaluation and approximation to examine differences between genotypes. **Euphytica**, Wageningen, 35: 11-15, 1986.
- GAUNT, R.E. Inoculation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on onion and tomato seeds. **New Zealand Journal of Botany**, Wellington, 16: 69-71, 1978.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, 46: 235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Oxford, 84: 489-500, 1980.

- GRAHAM, J.H.; LEONARD, R.T.; MENGE, J.A. Interaction of light intensity and soil temperature with phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. **New Phytologist**, Oxford, 91: 683-690, 1982.
- GRAHAM, J.H.; SYVERTSEN, J.P. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. **New Phytologist**, Oxford, 101: 667-676, 1985.
- GREENWAY, H.; HUGHES, P.B.; KLEPPER, B. Effects of water deficit on phosphorus nutrition of tomato plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 22: 199-207, 1969.
- GREENWAY, H.; KLEPPER, B. Phosphorus transport to the xylem and its regulation by water flow. **Planta**, New York, 83: 119-136, 1968.
- GREENWAY, H.; KLEPPER, B. Relation between anion transport and water flow in tomato plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, 22: 208-219, 1969.
- HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G. D.; BARBOSA, V.; SILVA NETO, J. M. Nutrição mineral de hortaliças. XXXII. Marcha de absorção dos nutrientes pelo tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) destinado ao processamento industrial. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, 35: 243-269, 1978.
- HALOS, P.M.; ZORILLA, R.A. Vesicular-arbuscular mycorrhizae increase growth and yield of tomatoes and reduce infection by *Pseudomonas solanacearum*. **Philippine Agriculturist**, Laguna, 62: 309-315, 1979.

- HARRIS, D.; PACOVSKY, R.S.; PAUL, E.A. Carbon economy of soybean-*Rhizobium-Glomus* associations. **New Phytologist**, Oxford, 101: 427-440, 1985.
- HAYMAN, D.S. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., eds. **Endomycorrhizas**. London: Academic Press, 1975. p.495-509.
- HAYMAN, D.S.; TAVARES, M. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. **New Phytologist**, Oxford, 100: 367-377, 1985.
- HIPP, B.W. Phosphorus requirements for tomatoes as influenced by placement. **Agronomy Journal**, Madison, 62: 203-206, 1970.
- HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; GALLO, J.R.; CAMPOS, H.R. Amostragem em tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., cultivar Santa Cruz IAC-2731) para fins de análise química foliar. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 24: 242-246, 1972.
- HOGUE, E.; WILCOX, G.E.; CANTLIFFE, D.J. Effect of soil phosphorous levels on phosphate fractions in tomato leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, 95: 174-176, 1970.
- HOWELER, R.H.; ASHER, C.J.; EDWARDS, D.G. Establishment of an effective endomycorrhizal association on cassava in flowing solution culture and its effects on phosphorus nutrition. **New Phytologist**, Oxford, 90: 229-238, 1982.
- HOWELER, R.H.; CADAVID, L.F.; BURCKHARDT, E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in

- greenhouse and field experiments. **Plant and Soil**, The Hague, 69: 327-339, 1982.
- HUNT, R. The fitted curve in plant growth studies. In: ROSE, D.A.; CHARLES-EDWARDS, D.A., eds. **Mathematics and plant physiology**. London: Academic Press, 1981. p.283-298.
- INFORZATO, R.; CAMPOS, H.R.; CAMARGO, L.S. Desenvolvimento do sistema radicular de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) em plantas com diferentes idades. **Bragantia**, Campinas, 29: 105-113, 1970.
- ISRAEL, D.W.; RUFTY, JR., T.W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological responses in soybean. **Crop Science**, Madison, 28: 954-960, 1988.
- JAKOBSEN, I. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in field-grown crops. III. Mycorrhizal infection and rates of phosphorus inflow in pea plants. **New Phytologist**, Oxford, 104: 573-581, 1986.
- JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, 34: 197-223, 1981.
- JOHNSON, C.R.; JARRELL, W.M.; MENGE, J.A. Influence of ammonium:nitrate ratio and solution pH on mycorrhizal infection, growth and nutrient composition of *Chrysanthemum morifolium* var. Circus. **Plant and Soil**, The Hague, 77: 151-157, 1984.



- KARUNARATNE, R.S.; BAKER, J.H.; BARKER, A.V. Phosphorus uptake by mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of soybean. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 9: 1303-1313, 1986.
- KEAY, J.; BIDDISCOMBE, E.F.; OZANNE, P.G. The comparative rates of phosphate absorption by eight annual pasture species. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, 21: 33-44, 1970.
- KEULS, M.; GARRETSEN, F. Statistical analysis of growth curves in plant breeding. **Euphytica**, Wageningen, 31: 51-64, 1982.
- KIRKBY, E.A.; MENGEL, K. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. **Plant Physiology**, Bethesda, 42: 6-14, 1967.
- LOCASCIO, S.J.; WARREN, G.F. Interaction of soil temperature and phosphorus on growth of tomatoes. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, 75: 601-610, 1960.
- LOCASCIO, S.J.; WARREN, G.F.; WILCOX, G.E. The effect of phosphorus placement on uptake of phosphorus and growth of direct-seeded tomatoes. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, 76: 503-514, 1960.
- LONERAGAN, J.F.; ASHER, C.J. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. **Soil Science**, Baltimore, 103: 311-318, 1967.
- LONERAGAN, J.F.; GROVE, T.S.; ROBSON, A.D.; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus

- interactions in plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 43: 966-972, 1979.
- LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 7: 1-19, 1983.
- LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. **Crop Science**, Madison, 31: 380-387, 1991.
- MACFARLANE, M.; WALMSLEY, D. Effect of soil solution phosphorus in volcanic ash soils on the response of tomato (*Lycopersicon esculentum*) to added phosphate. **Plant and Soil**, The Hague, 47: 547-558, 1977.
- MANJUNATH, A.; HABTE, M. Establishment of soil solution P levels for studies involving vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, 21: 557-566, 1990.
- MANZATTO, C.V. **Acumulação de matéria seca e nutrientes em quatro híbridos de milho (*Zea mays* L.)**. Itaguaí: UFRRJ, 1987. 157p. Tese de Mestrado.
- MARTIN, W.E.; McLEAN, J.G.; QUICK, J. Effect of temperature on the occurrence of phosphorus-induced zinc deficiency. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 29: 411-416, 1965.
- McCOOL, P.M.; MENGE, J.A. Influence of ozone on carbon partitioning in tomato: Potential role of carbon flow in

- regulation of the mycorrhizal symbiosis under conditions of stress. **New Phytologist**, Oxford, 94: 241-247, 1983.
- McCOOL, P.M.; MENGE, J.A. Interaction of ozone and mycorrhizal fungi on tomato as influenced by fungal species and host variety. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 16: 425-427, 1984.
- McCOOL, P.M.; MENGE, J.A.; TAYLOR, O.C. Effect of ozone injury and light stress on response of tomato to infection by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatus*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, 107: 839-842, 1982.
- McGRAW, A.C.; SCHENCK, N.C. Effects of two species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the development of *Fusarium* wilt of tomato. **Phytopathology**, St. Paul, 71: 894, 1981.
- MEDINA, O.A.; SYLVIA, D.M.; KRETSCHMER, JR., A.E. Response of siratro to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: II. Efficacy of selected vesicular-arbuscular fungi at different phosphorus levels. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 52: 420-423, 1988.
- MENDES, A.M. **Análise de crescimento e absorção de NPK em quatro híbridos de milho (*Zea mays* L.) cultivados em solução nutritiva**. Itaguaí: UFRRJ, 1989. 142p. Tese de Mestrado.
- MENGE, J.A. Effect of soil fumigants and fungicides on vesicular-arbuscular fungi. **Phytopathology**, St. Paul, 72: 1125-1132, 1982.
- MENGE, J.A.; STIERLE, D.; BAGYARAJ, D.J.; JOHNSON, E.L.V.; LEONARD, R.T. Phosphorus concentrations in plants responsible

- for inhibition of mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Oxford, 80: 575-578, 1978.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, 66: 399-402, 1974.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, New York, 33: 59-111, 1980.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MINAMI, K.; HAAG, H.P. **O tomateiro**. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 397p.
- MOHANDAS, S. Field response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill "Pusa Ruby") to inoculation with a VA mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatum* and with *Azotobacter vinelandii*. **Plant and Soil**, The Hague, 98: 295-297, 1987.
- MOSSE, B. Specificity in VA mycorrhizas. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., eds. **Endomycorrhizas**. London: Academic Press, 1975. p.469-484.
- MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, 27: 31-36, 1962.
- NAKAGAWA, J.; CONCEIÇÃO, F.A.D. Efeito de cinco fertilizantes orgânicos na cultura do tomateiro (*Lycopersicum esculentum*, Mill) estaqueado. **Revista de Olericultura**, Campinas, 15: 94-96, 1975.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Homewood: Richard D. Irwin, 1974. 842p.

- NICHOLLS, A.O.; CALDER, D.M. Comments on the use of regression analysis for the study of plant growth. **New Phytologist**, Oxford, 72: 571-581, 1973.
- NISHIMOTO, R.K.; FOX, R.L.; PARVIN, P.E. Response of vegetable crops to phosphorus concentrations in soil solution. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, 102: 705-709, 1977.
- NYE, P.H.; FOSTER,, W.N.M. A study of the mechanism of soil phosphate uptake in relation to plant species. **Plant and Soil**, The Hague, 9: 338-352, 1958.
- NYE, P.H.; TINKER, P.B. **Solute movement in the soil-root system**. Oxford: Blackwell, 1977. 342p.
- O'TOOLE, J.C.; BLAND, W.L. Genotypic variation in crop plant root systems. **Advances in Agronomy**, New York, 41: 91-145, 1987.
- OJALA, J.C.; JARRELL, W.M. Hydroponic sand culture systems for mycorrhizal research. **Plant and Soil**, The Hague, 57: 297-303, 1980.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 21: 144-149, 1957.
- PACOVSKY, R.S. Micronutrient uptake and distribution in mycorrhizal or phosphorus-fertilized soybeans. **Plant and Soil**, The Hague, 95: 379-388, 1986.

- PACOVSKY, R.S.; BETHLENFALVAY, G.J.; PAUL, E.A. Comparisons between P-fertilized and mycorrhizal plants. **Crop Science**, Madison, 26: 151-156, 1986.
- PACOVSKY, R.S.; FULLER, G. Development of two endomycorrhizal symbioses on soybean and comparison with phosphorus fertilization. **Plant and Soil**, The Hague, 95: 361-377, 1986.
- PANDITA, M.L.; ANDREW, W.T. A correlation between phosphorus content of leaf tissue and days to maturity in tomato and lettuce. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, 91: 544-549, 1967.
- PATTANAIAK, S.; LATHWELL, D.J. A study of the available phosphorus status of soils by phosphorus-deficient tomato seedlings. **Plant and Soil**, The Hague, 6: 305-312, 1955.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O. Efeitos da umidade do solo sobre a simbiose endomicorrízica em soja: II. Crescimento, nutrição e relação água-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 11: 289-293, 1987.
- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 33p. (Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, 114).
- PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A.; FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. **Plant and Soil**, The Hague, 70: 199-209, 1983a.
- PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A.; FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P fertility. II. Soil fumigation induced stunting of plants

corrected by reintroduction of the wild endomycorrhizal flora.

**Plant and Soil**, The Hague, 70: 211-217, 1983b.

PLENCHETTE, C.; FURLAN, V.; FORTIN, J.A. Responses of endomycorrhizal plants grown in a calcined montmorillonite clay to different levels of soluble phosphorus. II. Effect on nutrient uptake. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, 61: 1384-1391, 1983.

POND, E.C.; MENGE, J.A.; JARRELL, W.M. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline soils. **Mycologia**, New York, 76: 74-84, 1984.

POSS, J.A.; POND, E.; MENGE, J.A.; JARRELL, W.M. Effect of salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without additional phosphate. **Plant and Soil**, The Hague, 88: 307-319, 1985.

POWELL, C.L. Development of mycorrhizal infections from Endogone spores and infected root segments. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, 66: 439-445, 1976.

PRICE, N.S.; RONCADORI, R.W.; HUSSEY, R.S. Cotton root growth as influenced by phosphorus nutrition and vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, Oxford, 111: 61-66, 1989.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae - their use and abuse. **Crop Science**, Madison, 7: 171-175, 1967.

RAIJ, B. VAN (Coord.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1985. 107p. (Instituto Agronômico de Campinas, Boletim Técnico, 100).

- RAIJ, B. VAN; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil - apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J.; LOUREN O, S.; GOEDERT, W.J., eds. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 1982. p.9-28.
- RAJU, P.S.; CLARK, R.B.; ELLIS, J.R.; DUNCAN, R.R.; MARANVILLE, J.W. Benefit and cost analysis and phosphorus efficiency of VA mycorrhizal fungi colonizations with sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes grown at varied phosphorus levels. **Plant and Soil**, The Hague, 124: 199-204, 1990.
- RHODES, L.H.; GERDEMANN, J.W. Influence of phosphorus nutrition on sulfur uptake by vesicular-arbuscular mycorrhizae of onion. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 10: 361-364, 1978.
- RHODES, L.H.; GERDEMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. **New Phytologist**, Oxford, 75: 555-561, 1975.
- RIAZI-HAMADAMI, A.; PARBERY, D.G.; BEILHARZ, V.C. Vesicular-arbuscular mycorrhizal nodules on tomato. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, 68: 138-140, 1977.
- ROSS, G.J.S. The use of non-linear regression methods in crop modelling. In: ROSE, D.A.; CHARLES-EDWARDS, D.A., eds. **Mathematics and plant physiology**. London: Academic Press, 1981. p.269-282.
- ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S.; FLORES, J.P.O. Efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e a acumulação de carboidratos solúveis de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 16: 561-566, 1981.



- ROSSIELLO, R.O.P.; MANZATTO, C.V.; MENDES, A.M.; FERNANDES, M.S. Determinação de área, comprimento e raio radicular: Comparação de Métodos e Aplicações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, (no prelo).
- SAIF, S.R. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. **Plant and Soil**, The Hague, 97: 25-35, 1987.
- SAIF, S.R. The influence of stage of host development on vesicular-arbuscular mycorrhizae and Endogonaceous spore population in field-grown vegetable crops. I. Summer-grown crops. **New Phytologist**, Oxford, 79: 341-348, 1977.
- SANDERS, F.E.; TINKER, P.B. Phosphate flow into mycorrhizal roots. **Pesticide Science**, Oxford, 4: 385-395, 1973.
- SANNI, S.O. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some Nigerian soils and their effect on the growth of cowpea (*Vigna unguiculata*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and maize (*Zea mays*). **New Phytologist**, Oxford, 77: 667-671, 1976.
- SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 43: 880-883, 1979.
- SCHUBERT, A.; HAYMAN, D.S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XVI. Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. **New Phytologist**, Oxford, 103: 79-90, 1986.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient

- utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 4: 289-302, 1981.
- SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 371p.
- SIEVERDING, E.; HOWELER, R.H. Influence of species of VA mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. **Plant and Soil**, The Hague, 88: 213-221, 1985.
- SILVA, F.L.I.M.; MAGALHÃES, J.R. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados na simulação de absorção de fósforo pelo tomateiro, com o modelo matemático de Cushman-Barber. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 13: 315-320, 1989.
- SILVEIRA, A.P.D. Micorrizas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P., eds. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.257-282.
- SIQUEIRA, J.O.; MAHMUD, A.W.; HUBBELL, D.H. Comportamento diferenciado de fungos formadores de micorrizas vesicular-arbusculares em relação à acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 10: 11-16, 1986.
- SMEETS, L.; GARRETSEN, F. Growth analyses of tomato genotypes grown under low night temperatures and low light intensity. **Euphytica**, Wageningen, 35: 701-715, 1986.
- SMITH, S.E. Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate. **New Phytologist**, Oxford, 90: 293-303, 1982.

- SMITH, S.E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular mycorrhizal plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, 39: 221-244, 1988.
- SMITH, S.E.; St. JOHN, B.J.; SMITH, F.A.; BROMLEY, J.-L. Effects of mycorrhizal infection on plant growth, nitrogen and phosphorus nutrition in glasshouse-grown *Allium cepa* L. **New Phytologist**, Oxford, 103: 359-373, 1986.
- SNELLGROVE, R.C.; SPLITTSTOESSER, W.E.; STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B. The distribution of carbon and the demand of the fungal symbiont in leek plants with vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, Oxford, 92: 75-87, 1982.
- SOARES, J.M.; FARIA, C.M.B. Métodos de irrigação e adubação na cultura do tomate industrial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 18: 281-286, 1983.
- SOBULO, R.A.; AGBOOLA, A.A.; FAYEMI, A.A. Effect of P placement on yield of tomatoes in Southwestern Nigeria. **Agronomy Journal**, Madison, 70: 521-524, 1978.
- SON, C.L.; SMITH, S.E. Mycorrhizal growth responses: Interactions between photon irradiance and phosphorus nutrition. **New Phytologist**, Oxford, 108: 305-314, 1988.
- STEINER, A.A. Growth curves of tomato plants. **Plant and Soil**, The Hague, 26: 189-192, 1967.
- STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B.; RAYNER, J.H. Relation of internal phosphorus concentration and plant weight in plants infected by vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, Oxford, 86: 261-266, 1980.

- SURESH, C.K.; BAGYARAJ, D.J.; REDDY, D.D.R. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on survival, penetration and development of root-knot nematode in tomato. **Plant and Soil**, The Hague, 87: 305-308, 1985.
- SWIADER, J.M.; MORSE, R.D. Phosphorus solution concentrations for production of tomato, pepper, and eggplant in minesoils. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, 107: 1149-1153, 1982.
- SYLVIA, D.M.; NEAL, L.H. Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. **New Phytologist**, Oxford, 115: 303-310, 1990.
- SYLVIA, D.M.; SCHENCK, N.C. Application of superphosphate to mycorrhizal plants stimulates sporulation of phosphorus-tolerant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Oxford, 95: 655-661, 1983.
- TANAKA, T.; FREITAS, L.M.M.; TYLER, K.B. Efeito da adubação no crescimento, no nível de nutrientes analisados nas folhas e na produção de plantas de tomate cultivadas num Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 5: 117-123, 1970.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, 63: 995-1001, 1975.
- TESTER, M.; SMITH, F.A.; SMITH, S.E. Phosphate inflow into *Trifolium subterraneum* L.: Effects of photon irradiance and mycorrhizal infection. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 17: 807-810, 1985.

- TINKER, P.B. Soil chemistry of phosphorus and mycorrhizal effects on plant growth. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., eds. **Endomycorrhizas**. London: Academic Press, 1975. p.353-371.
- TOKESHI, H.; CARVALHO, P.C.T. Doenças do tomateiro - *Lycopersicum esculentum* Mill. In: GALLI, F., ed. **Manual de fitopatologia. Doenças das plantas cultivadas**. Volume II. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p.511-552.
- WALKER, N.A.; SMITH, S.E. The quantitative study of mycorrhizal infection. II. The relation of rate of infection and speed of fungal growth to propagule density, the mean length of the infection unit and the limiting value of the fraction of the root infected. **New Phytologist**, Oxford, 96: 55-69, 1984.
- WARD, G.M. Greenhouse tomato nutrition - a growth analysis study. **Plant and Soil**, The Hague, 21: 125-133, 1964.
- WARD, G.M. Growth and nutrient absorption in greenhouse tomato and cucumber. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, 80: 335-341, 1967.
- WATERER, D.R.; COLTMAN, R.R. Phosphorus concentration and application interval influence growth and mycorrhizal infection of tomato and onion transplants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, 113: 704-708, 1988.
- WHITE, R.E. Studies on mineral ion absorption by plants. II. The interaction between metabolic activity and the rate of phosphorus uptake. **Plant and Soil**, The Hague, 38: 509-523, 1973.

- WILCOX, G.E. Effect of phosphorus fertilization on tomato seedling growth rate. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, 90: 330-334, 1967.
- WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. **Annals of Botany**, London, 10: 41-72, 1946.
- WOOLEY, J.T.; BROYER, T.C. Foliar symptoms of deficiency of inorganic elements in tomato. **Plant Physiology**, Bethesda, 32: 148-151, 1957.
- YOST, R.S.; FOX, R.L. Influence of mycorrhizae on the mineral contents of cowpea and soybean grown in an Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, 74: 475-481, 1982.

## 7. ANEXOS

### 7.1. GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS

- a,b,c - coeficientes do modelo exponencial polinomial de 2º grau  
a,b,c,d- coeficientes do modelo exponencial polinomial de 3º grau  
a,b,k - coeficientes dos modelos de Gompertz ou Logística  
AF - área foliar (em cm<sup>2</sup>)  
AFE - área foliar específica, ou relação entre área foliar e  
matéria seca de folha (em cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>)  
AR - área radicular (em cm<sup>2</sup>)  
CV - coeficiente de variação (em %)  
DAT - dias após transplante  
FMVA - fungos micorrízicos vesículo-arbusculares  
Fp - fluxo líquido de P (em ug P.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>)  
IU - índice de utilização de P, ou relação entre o quadrado  
da matéria seca e conteúdo de P na matéria seca (em  
g<sup>2</sup>.mg<sup>-1</sup> P)

Km	- constante da cinética de Michaelis-Menten, que corresponde a uma medida de afinidade da raiz pelo nutriente
pl	- planta (quando usada como unidade, como $\text{g.pl}^{-1}$ )
QU	- quociente de utilização de P, ou relação entre matéria seca e conteúdo de P na matéria seca (em $\text{g.g}^{-1}$ P)
R:S	- relação entre matéria seca de raiz e parte aérea (em $\text{mg.g}^{-1}$ )
RAF	- razão de área foliar, ou relação entre área foliar e matéria seca total (em $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ )
t	- tempo (em dia)
TAA	- taxa de acumulação absoluta de P (em $\text{mg P.dia}^{-1}$ )
TAL	- taxa de assimilação líquida (em $\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )
TAR	- taxa de acumulação relativa de P (em $\text{mg P.mg}^{-1}$ P.dia $^{-1}$ )
TCA	- taxa de crescimento absoluto (em $\text{g.dia}^{-1}$ )
TCR	- taxa de crescimento relativo (em $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ )
TUE	- taxa de utilização específica de P (em $\text{g.g}^{-1}$ P.dia $^{-1}$ )
Up	- conteúdo de P na matéria seca total (em $\text{mg P.pl}^{-1}$ )
Vmax	- taxa de absorção máxima de nutriente, oriunda da cinética de Michaelis-Menten
W	- matéria seca total (em g).

## 7.2. GLOSSÁRIO DE TERMOS

área foliar específica - relação entre área foliar e matéria seca de folha (em  $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ )

capacidade infectiva - capacidade de FMVA de infectar as raízes do hospedeiro



colonização - presença da micorriza na raiz do hospedeiro, correspondendo à percentagem do comprimento de raízes finas infectadas com FMVA, ou percentagem de infecção

conteúdo - quantidade do nutriente na matéria seca (em  $\text{mg.pl}^{-1}$ )

dependência micorrízica - necessidade do hospedeiro da presença da micorriza para apresentar crescimento em solo desinfestado

dose - quantidade aplicada do nutriente ou fertilizante (em  $\text{g.pl}^{-1}$ ,  $\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $\text{kg.ha}^{-1}$ )

efetividade - capacidade de FMVA de elevar a matéria seca ou conteúdo de P do hospedeiro

fluxo líquido - taxa de acumulação de nutriente por unidade de área radicular (em  $\text{ug.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )

índice de colheita - relação entre matéria seca de fruto e matéria seca total (em  $\text{g.g}^{-1}$ )

índice de utilização - relação entre o quadrado da matéria seca e o conteúdo do nutriente na matéria seca (em  $\text{g}^2.\text{mg}^{-1}$ )

infecção - presença de estruturas micorrízicas na raiz do hospedeiro, usado como sinônimo de percentagem de raízes finas colonizadas com FMVA ou percentagem de infecção

influxo líquido - taxa de acumulação de nutriente por unidade de comprimento radicular (em  $\text{ug.cm}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ )

inoculação - aplicação de inóculo de FMVA (suspensão de esporos ou inóculo misto) junto ao hospedeiro

micorriza - simbiose entre FMVA e hospedeiro

nível - quantidade disponível do nutriente presente no solo ou solução nutritiva (em  $\text{ug.g}^{-1}$  ou  $\text{ug.ml}^{-1}$ )

razão de área foliar - relação entre área foliar e matéria seca total (em  $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ )

teor - concentração do nutriente na matéria seca (em  $\text{mg.g}^{-1}$ ).

### 7.3. PERIÓDICOS E LIVROS CITADOS

#### Artigos em periódicos

New Phytologist .....	41
Plant and Soil .....	26
Agronomy Journal .....	7
Pesquisa Agropecuária Brasileira .....	7
Revista Brasileira de Ciência do Solo .....	7
Journal of the American Society for Horticultural Science ....	6
Proceedings of the American Society for Horticultural Science	6
Soil Biology and Biochemistry .....	5
Crop Science .....	4
Physiologia Plantarum .....	4
Plant Physiology .....	4
Soil Science .....	4
Soil Science Society of America Proceedings .....	4
Transactions of the British Mycological Society .....	4
Advances in Agronomy .....	3
Canadian Journal of Botany .....	3
Euphytica .....	3
Phytopathology .....	3
Soil Science Society of America Journal .....	3
Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ....	2
Australian Journal of Agricultural Research .....	2

Bragantia .....	2
Journal of Plant Nutrition .....	2
Journal of the Science of Food and Agriculture .....	2
Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal .....	2
Revista de Olericultura .....	2
Analytica Chimica Acta .....	1
Annals of Botany .....	1
Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology	1
Applied and Environmental Microbiology .....	1
Cereal Research Communications .....	1
Ciência e Cultura .....	1
Communications in Soil Science and Plant Analysis .....	1
Journal of Ecology .....	1
Journal of Horticultural Science .....	1
Mycologia .....	1
Mycological Research .....	1
New Zealand Journal of Botany .....	1
Pesticide Science .....	1
Philippine Agriculturist .....	1
Phytopathologische Zeitschrift .....	1
Planta .....	1
Soils and Fertilizers .....	1

### **Artigos em livros**

Mathematics and plant physiology .....	4
Endomycorrhizas .....	3
Adubação fosfatada no Brasil .....	1
Manual de fitopatologia - doenças das plantas cultivadas .....	1
Microbiologia do solo .....	1

### **Artigos em congressos e simpósios**

Mycorrhizae: physiology and genetics .....	1
--	---

### **Livros e publicações**

Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais	
Applied linear statistical models	
Estatística geral e aplicada	
Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro	
Manual de métodos de análise de solos	
Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças	
O tomateiro	
Principles of plant nutrition	
Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo	
Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais	
Solute movement in the soil-root system	

Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical  
agrosystems

### **Teses**

Acumulação de matéria seca e nutrientes em quatro híbridos de  
milho

Análise de crescimento e absorção de NPK em quatro híbridos de  
milho cultivados em solução nutritiva

Roots, plant production and nutrient use efficiency

### **7.4. AUTORES MAIS CITADOS**

Menge, J.A. ....	9
Tinker, P.B. ....	8
Daft, M.J. ....	7
Pacovsky, R.S. ....	7
Barber, S.A. ....	6
Smith, S.E. ....	6
Bethlenfalvay, G.J. ....	5
Jarrell, W.N. ....	5
Nicolson, T.H. ....	4
Siqueira, J.O. ....	4
Wilcox, G.E. ....	4